

ИЗВѢСТІЯ

ТОМСКАГО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА

Императора Николая II.

Книжка вторая.

ТОМСКЪ.

Паровая типо-литографія П. И. Макушина, Благовѣщ. пер., собств. д.

1903.



ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стран.
1. Къ теоріи параллельной работы альтернаторовъ. Проф. <i>А. А. Потеня</i>	1—72
2. Металлографія и ея задачи. Проф. <i>Т. И. Тихонова</i>	1—27
3. Восемнадцатифунтовый рельсъ и его служба на Сибирской дорогѣ. Инженера <i>Л. Н. Любимова</i>	1—80
4. Къ вопросу о разчетѣ мостовъ системы Resal'я. Инж. <i>Н. Некрасова</i>	1—26

П р и л о ж е н і е:

5. Отчетъ о дѣятельности и состояніи Томскаго Технологическаго Института Императора Николая II-го за 1902 годъ.	1—21
---	------

ИЗВѢСТІЯ

ТОМСКАГО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА

Императора Николая II.

Книжка вторая.

ТОМСКЪ.



Паровая типо-литографія П. И. Макушина, Благовъщ. пер., собств. д.

1903.

.....
Печатано по постановленію Совѣта Томскаго Технологич. Института Императора Николая II-го.
Редакторъ, и. д. экстраординарнаго профессора *А. Ефимовъ*.
.....

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стран.
1. Къ теоріи параллельной работы альтернаторовъ. Проф. <i>А. А. Потемня</i>	1—72
2. Металлографія и ея задачи. Проф. <i>Т. И. Тихонова</i>	1—27
3. Восемнадцатифунтовый рельсъ и его служба на Сибирской дорогѣ. Инженера <i>Л. Н. Любимова</i>	1—80
4. Къ вопросу о разчетѣ мостовъ системы Resal'я. Инж. <i>Н. Некрасова</i>	1—26

Приложение:

5. Отчетъ о дѣятельности и состояніи Томскаго Технологическаго Института Императора Николая II-го за 1902 годъ.	1—21
---	------

А. Потебня.

Къ теоріи

ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

АЛЬТЕРНАТОРОВЪ.

ТОМСКЪ.

Паровая типо-литографія П. И. Макушина, Благовѣщ. пер., соб. д.
1903.



Теоріи параллельной работы альтернаторовъ за послѣднія два десятилѣтія въ электротехнической литературѣ былъ посвященъ цѣлый рядъ статей. Началомъ этого ряда можно считать статью I. Гопкинсона, помѣщенную въ 1884 году въ Jour. Soc. telegr. Engin., въ которой авторъ впервые указываетъ вліяніе самоиндукціи на успѣшность параллельнаго соединенія машинъ переменнаго тока и приходитъ къ наиболѣе выгодному соотношенію между омическимъ сопротивленіемъ и реакціей самоиндукціи обмотки якоря альтернатора:

$$r : \omega L = 1,$$

гдѣ r —омическое сопротивленіе, L —коэффициентъ самоиндукціи, $\omega = 2\pi\infty$, ∞ —число періодовъ въ секунду.

Идеи Гопкинсона вызвали между электриками оживленные споры относительно вліянія самоиндукціи. Явились сторонники какъ возможнаго увеличенія самоиндукціи въ машинахъ, такъ и уменьшенія ея до предѣла указаннаго Гопкинсономъ.

Дальнѣйшая практика показала, однако, что относительная величина самоиндукціи играетъ далеко не первую роль въ явленіяхъ происходящихъ при параллельномъ соединеніи альтернаторовъ, и что на успѣшность ихъ работы вліяетъ цѣлый рядъ другихъ причинъ, и главнымъ образомъ возбужденіе обѣихъ динамомашинъ, степень равномерности хода машинъ двигателей и соотношеніе моментовъ инерціи вращающихся массъ относительно оси вращенія.

Новѣйшія работы, трактующія интересующій насъ вопросъ, касаются главнымъ образомъ изслѣдованія относительныхъ колебаній, совершаемыхъ вращающимися частями соединенныхъ параллельно машинъ. Еще въ 1892 году Boucherot ¹⁾ далъ формулу

¹⁾ „La. Lum. El.“ Т. 45 стр. 265.

для опредѣленія продолжительности этихъ колебаній. Въ томъ-же году подобное-же изслѣдованіе далъ Blondel ¹⁾. Онъ также даетъ формулу для вычисленія періода относительныхъ колебаній, разлагая эти колебанія въ рядъ Фурье. Оба автора указываютъ на опасность интерференціи колебаній движущей машины и собственныхъ колебаній вращающихся частей альтернатора. При этомъ Блондель особенное вниманіе обращаетъ на величину момента инерціи, тогда какъ Бушери приписываетъ ему сравнительно незначительную роль. Тогда-же Hutin и Leblanc ²⁾ предложили свое приспособленіе для успокоенія колебаній. Математической теоріи успокоенія ни одинъ изъ названныхъ авторовъ не даетъ.

Въ 1899 году G. Karr ³⁾ далъ очень простой методъ расчета періода колебаній работающихъ параллельно машинъ переменнаго тока. Главную трудность параллельнаго соединенія альтернаторовъ онъ видитъ въ интерференціи колебаній. Въ 1900 году Görges ⁴⁾ въ статьѣ „Ueber das Verh. parall. gesch. Wechselstrommaschinen“ даетъ простой графическій способъ представленія явленій, происходящихъ при параллельномъ включеніи альтернаторовъ, и, предполагая напряженіе на клеммахъ всѣхъ параллельно включенныхъ альтернаторовъ постояннымъ, выводитъ дифференціальное уравненіе колебанія каждой группы (машины двигателя съ соответственнымъ альтернаторомъ) въ отдѣльности. Интегрируя его, онъ опредѣляетъ періодъ колебанія и условія устойчивости движенія. Наконецъ въ 1899 году Dettmar ⁵⁾ указываетъ на нѣкоторыя затрудненія при параллельномъ включеніи альтернаторовъ приводимыхъ въ движеніе газовыми двигателями и на средства избѣжать ихъ, и Meyer ⁶⁾ въ 1901 г. пытается изъ опытныхъ данныхъ установить предѣльныя величины синхронизирующаго тока.

Частнымъ случаемъ разсматриваемой задачи является работа синхроничнаго двигателя въ цѣпи переменнаго тока. Изучая явленія параллельной работы альтернаторовъ не трудно убѣдиться, какъ теоретически, такъ и экспериментально въ обратимости машинъ переменнаго тока, т. е. въ возможности пользоваться од-

¹⁾ „La. Lum. El.“ Т. 45 и 46.

²⁾ „La. Lum. El.“ Т. 46 стр. 601.

³⁾ „E. T. Z.“ 1899 г. стр. 134.

⁴⁾ „E. T. Z.“ 1900 г. стр. 188.

⁵⁾ „E. T. Z.“ 1899 г. стр. 728.

⁶⁾ „E. T. Z.“ 1901 г. стр. 905.

нимъ и тѣмъ-же альтернаторомъ какъ генераторомъ или какъ двигателемъ по желанію, подъ условіемъ чтобы двигатель былъ предварительно приведенъ къ скорости соотвѣтствующей тому-же числу періодовъ, какое имѣетъ питающій его генераторъ.

Изъ числа появившихся за послѣднее время изслѣдованій по теоріи синхроничныхъ двигателей можно указать: G. Ossana E. T. Z. 1896 и P. Steinmetz „Theory of the Synchronous motor (Trans. of the Amer. Inst. E. E. 17 okt. 1894 г. и 18 июня 1902 г.). Кромѣ этого очень полно даетъ теорію синхроничнаго двигателя книжка А. Blondel'я „Moteurs Synchrones à courants alternatifs“ 1901 г.

Не смотря на то, что какъ видно изъ приведеннаго перечня, теорія параллельной работы альтернаторовъ уже всесторонне разработана, я позволяю себѣ выступить съ предлагаемой статьёй во первыхъ, потому, что въ русской технической литературѣ вопросъ этотъ затрогивался сравнительно мало, а во вторыхъ потому, что при выводѣ нѣкоторыхъ формулъ я старался избѣжать допущенія постоянства напряженія на клеммахъ, которое положено въ основаніе разсужденій Görges'a и другихъ, вслѣдствіе чего предлагаемыя здѣсь формулы носятъ болѣе общій характеръ.

I. Выводъ основныхъ формулъ.

1. Въ послѣднее время задача параллельнаго соединенія альтернаторовъ получила особенно важное значеніе, во первыхъ вслѣдствіе все большаго распространенія переменнаго тока сравнительно съ постояннымъ, во вторыхъ вслѣдствіе стремленія примѣнять на центральныхъ станціяхъ возможно большія единицы изъ экономическихъ соображеній, въ третьихъ вслѣдствіе болѣе и болѣе входящаго въ употребленіе непосредственнаго соединенія динамо и паровой машины, при чемъ очевидно неправильности хода машины двигателя гораздо сильнѣе отзываются на колебаніяхъ электродвижущей силы, чѣмъ при ременной или канатной передачѣ, и наконецъ, въ четвертыхъ вслѣдствіе распространенія непрямого распредѣленія энергіи при помощи вращающихся трансформаторовъ (особенно для цѣлей электрической тяги), преобразующихъ переменный токъ въ постоянный, и представляющихъ

со стороны переменнаго тока ни что иное, какъ синхроничные двигатели.

Основное условіе возможности параллельной работы машинъ переменнаго тока есть равенство чиселъ періодовъ.

Условіе это вызываетъ требованіе къ машинамъ, движущимъ альтернаторы: передача силы отъ двигателей къ динамомашинамъ должна происходить такъ, чтобы при равенствѣ чиселъ періодовъ не происходило скольженія ремней, и чтобы ни ремни, ни соотвѣтствующіе органы передачи не подвергались чрезмѣрному напряженію.

Жесткое механическое соединеніе машинъ переменнаго тока между собою не можетъ считаться хорошимъ средствомъ синхронизаціи, такъ какъ не допускаетъ взаимнаго регулированія фазъ между машинами. Такое соединеніе какъ-бы обращаетъ весь рядъ соединенныхъ между собою машинъ въ одну динамомашину. Такъ какъ измѣненіе угла фазъ при такомъ соединеніи невозможно, то неодинаковость возбужденія, а слѣдовательно разница между электродвижущими силами машинъ вызовутъ чрезмѣрные паразитные токи. Такое устройство можно встрѣтить только на очень старыхъ установкахъ, на примѣръ на городской станціи въ Vevey—Montreux въ Швейцаріи, устроенной въ 1887 году.

Второе важное условіе удовлетворительной работы параллельно включенныхъ альтернаторовъ есть равномерная скорость вращенія, т. е. постоянство чиселъ періодовъ.

Вообразимъ два альтернатора, вращаемые двумя независимыми одна отъ другой одноцилиндровыми паровыми машинами. Если ихъ кривошпы случайно станутъ подъ угломъ 90° , вращательный моментъ одной машины будетъ достигать наибольшей величины, въ то время какъ поршень другой будетъ находиться въ мертвомъ положеніи, и наоборотъ. Вслѣдствіе этого одинъ альтернаторъ начинаетъ вращаться быстрѣе, въ то время какъ вращеніе другого замедляется. Если маховыя колеса не достаточно тяжелы, то получается замѣтное колебательное движеніе, а въ силу этого миганіе лампъ включенныхъ въ цѣпь, соотвѣтственно періоду вращенія паровой машины, вслѣдствіе перехода части нагрузки отъ одного альтернатора къ другому. Явленіе это можетъ принять такіе размѣры, что дальнѣйшая совмѣстная работа машинъ сдѣлается невозможною.

Очевидно, изъ различныхъ типовъ современныхъ двигателей лучше всего удовлетворяютъ второму условію турбины, водяныя и паровыя и водяныя колеса, а хуже всего — термическіе двигатели, работающіе взрывами.

Разсматривая явленія, происходящія при параллельной работѣ машинъ переменнаго тока нужно различать два періода: періодъ неустановившагося движенія, когда къ ряду уже работающихъ машинъ привключается новая машина, или случайно одна изъ работающихъ параллельно машинъ получаетъ возмущеніе, выводящее ее изъ синхронизма съ другими, и рабочій періодъ, когда всѣ машины находятся въ синхронизмѣ.

Какъ извѣстно, передъ соединеніемъ двухъ альтернаторовъ параллельно, они должны быть приведены къ приблизительно равной періодичности и равнымъ электродвижущимъ силамъ, и затѣмъ включаются въ моментъ приближительнаго совпаденія фазъ, о чемъ судятъ по фазовымъ лампамъ или по указанію другихъ аналогичныхъ приборовъ.

При современной конструкціи машинъ равенство электродвижущихъ силъ далеко не такъ важно, какъ одинаковая періодичность. Благодаря обратимости альтернаторовъ полное совпаденіе фазъ въ моментъ включенія тоже не имѣетъ очень важнаго значенія. При разности фазъ между обѣими машинами, кромѣ рабочаго тока, устанавливается еще токъ, не выходящій во внѣшнюю цѣпь. Токъ этотъ ускоряетъ движеніе одной машины и тормозитъ другую, пока не установится полное равенство фазъ и періодичности.

Въ современныхъ альтернаторахъ съ желѣзомъ въ якорѣ этотъ обмѣнъ энергіи почти никогда, даже при сильномъ отклоненіи отъ синхронизма, не достигаетъ опасныхъ размѣровъ. Синхронизирующій токъ ослабляется реакціей самоиндукціи.

Въ машинахъ съ очень малой реакціей якоря передъ включеніемъ нужно съ гораздо большей тщательностью удостовѣриться въ равенствѣ періодичности, возбужденія и фазъ, иначе обмѣнъ тока достигаетъ такой величины, что машина подвергается опасности порчи вслѣдствіе толчка. Машины безъ желѣза въ якорѣ иногда оказываются настолько чувствительными въ указанномъ отношеніи, что приходится отказаться отъ ихъ параллельнаго соединенія.

Разъ приведенные въ синхронизмъ, почти всѣ типы работаютъ удовлетворительно. Тѣмъ не менѣе въ современныхъ машинахъ

стараятся, чтобы величина реакціи якоря оставалась въ нѣкоторыхъ предѣлахъ *).

Если реакція якоря слишкомъ слаба, то въ случаѣ какого либо несчастія (короткаго замыканія, внезапнаго размыканія внѣшней цѣпи и т. п.) машина можетъ получить серіозныя поврежденія. Если реакція якоря очень велика, то движущая сила должна быть весьма постоянна, такъ какъ синхронизирующая сила динамомашинъ будетъ недостаточна для компенсаціи неравномѣрности хода машинъ-двигателей.

Изложивъ, вкратцѣ сущность явленій происходящихъ при параллельной работѣ альтернаторовъ, перейдемъ къ ихъ аналитическому изслѣдованію, которое и составляетъ цѣль статьи.

2. При послѣдующихъ разсужденіяхъ мы будемъ предполагать какъ токи, такъ и электродвижущія силы синусоидальными.

Векторы, представляющіе эти величины, будемъ изображать символически комплексными величинами, при чемъ ось вещественныхъ значеній будемъ считать положительною вправо, а ось мнимыхъ значеній вверхъ. Фактору $j = \sqrt{-1}$ припишемъ свойство вращать множащійся на него векторъ на уголъ $\frac{\pi}{2}$ противъ движенія часовой стрѣлки и въ ту же сторону будемъ считать положительными углы разности фазъ и аргументы векторовъ.

Тогда электродвижущая сила или, напряженіе представится въ видѣ

$$E = e + je',$$

а токъ

$$J = i + ji',$$

гдѣ e , i суть проекціи соотвѣтствующихъ векторовъ на ось абсциссъ, а i' , e' —на ось ординатъ.

Кажущееся сопротивление представится тоже векторомъ

$$Z = r + js,$$

гдѣ r —омическое сопротивление, а s реакція самоиндукціи и емкости:

*) Въ новѣйшихъ машинахъ $\omega L = (2-10) r$.

$$s = 2\pi \infty L - \frac{1}{2\pi \infty C}$$

гдѣ ∞ —число периодовъ, L и C коэффициентъ самоиндукціи и емкости.

Примѣчаніе. Выраженіе кажущагося сопротивленія въ видѣ вектора $r + js$ предложено Штейнмецомъ и видоизмѣнено Guilbert'омъ (Lum. El. Т. 50 с. 451) Штейнмецъ предложилъ форму $r - js$. Однако нѣтъ никакихъ основаній брать второй членъ со знакомъ ($-$), такъ какъ при умноженіи вектора тока на s мы получимъ векторъ электродвижущей силы самоиндукціи, находящійся *впереди* вектора тока на уголъ 90° , и если векторъ тока будетъ совпадать съ *положительнымъ* направленіемъ вещественной оси, то произведеніе этого вектора на s будетъ векторъ, совпадающій по направленію съ *положительной* осью мнимыхъ значеній.

Представляя синусоидальныя функціи, вводимыя нами въ формулы, въ видѣ $x + jy$, гдѣ $\sqrt{x^2 + y^2}$ есть амплитуда волны, мы предполагаемъ періодичность всѣхъ функцій одинаковою, и всѣ x , y постоянными. Но тѣмъ же представленіемъ можно пользоваться и при различныхъ числахъ периодовъ, входящихъ въ разсмотрѣніе функцій, если обусловимъ извѣстнымъ образомъ примѣненіе комплексныхъ величинъ, и будемъ смотрѣть на x и y какъ на функціи времени.

Пусть имѣемъ двѣ синусоидальныя функціи

$$\alpha = A \sin (\omega_1 t + \gamma_1)$$

$$\beta = B \sin (\omega_2 t + \gamma_2)$$

гдѣ

$$\omega_1 = 2\pi \infty_1, \quad \omega_2 = 2\pi \infty_2$$

а γ_1, γ_2 —положительные или отрицательные углы опереженія этихъ функцій относительно нѣкоторой синусоиды, направленіе вектора который мы приняли за начало отсчета угловъ.

Мгновенное значеніе результирующей функции есть

$$c = A \sin (\omega_1 t + \gamma_1) + B \sin (\omega_2 t + \gamma_2).$$

Второй членъ правой части напомнимъ такъ:

$$B \sin (\omega_2 t + \gamma_2) = B \sin [\omega_1 t + (\omega_2 - \omega_1) t + \gamma_2]$$

т. е. представимъ волну β имѣющей ту же періодичность, и слѣдовательно ту же угловую скорость ω_1 какъ и волна α но перемѣнный уголъ опереженія

$$\gamma' = \gamma_2 + (\omega_2 - \omega_1) t.$$

Тогда

$$c = [A \cos \gamma_1 + B \cos \gamma'] \sin \omega_1 t + [A \sin \gamma_1 + B \sin \gamma'] \cos \omega_1 t,$$

т. е. съ формальной стороны результирующая волна представится такъ же, какъ и въ случаѣ $\omega_1 = \omega_2 = \omega$, только, конечно, это уже не будетъ синусоида, такъ какъ выраженія въ скобкахъ зависятъ отъ времени.

Сказанное имѣетъ слѣдующій геометрической смыслъ: если представимъ синусоиды α и β , имѣющія различную періодичность въ видѣ векторовъ, отнеся ихъ къ одной и той же системѣ осей, то векторъ β будетъ вращаться по направленію возрастанія положительныхъ угловъ со скоростью $\omega_2 - \omega_1$, а мгновенное значеніе результирующей функции будетъ равно значенію синусоиды

съ періодомъ $T = \frac{1}{\omega_2 - \omega_1}$, представляемой въ данный моментъ геометрической суммой векторовъ α и β .

Поясимъ сказанное примѣромъ. На фиг. 1 показанъ случай сложения векторовъ въ предположеніи, что направленіе вектора α принято за ось, и что оба вектора постоянны по величинѣ. Тогда значеніе результирующей функции для момента t будетъ равно значенію для того же момента синусоиды, представленной векторомъ ON , гдѣ точка N есть пересѣченіе окружности описанной радиусомъ β изъ конца O_1 вектора α , съ прямой $O_1 N$ проведенной

подъ угломъ $\angle NO_1 X = \gamma_2 + (\omega_2 - \omega_1)t$ къ оси OX , т. е. для каждаго момента будетъ

$$c = ON \sin(\omega_1 t + \angle NO_1 X).$$

Принимая во вниманіе все сказанное, мы можемъ пользоваться символическимъ изображеніемъ электродвижущихъ силъ и токовъ такъ же и въ случаѣ не одинаковой періодичности вводимыхъ въ вычисленіе величинъ, помня, что получаемыя формулы представляютъ не постоянныя, а мгновенныя значенія.

Представленный на фиг. 1 случай предполагаетъ постоянство амплитудъ синусоидъ α и β ; если бы амплитуды эти были функциями времени, то геометрическое мѣсто точки N было бы не кругъ, а нѣкоторая а priori не извѣстная кривая, которую однако для каждаго даннаго случая можно построить.

3. Пусть имѣемъ n машинъ переменнаго тока, работающих параллельно на одну общую внѣшнюю цѣпь (фиг. 2). Найдемъ соотношенія между электродвижущими силами альтернаторовъ, напряженіемъ на сборныхъ шинахъ, токами доставляемыми каждымъ изъ альтернаторовъ и токомъ идущимъ по сборнымъ шинамъ во внѣшнюю цѣпь, въ зависимости отъ омическихъ сопротивленій и самоиндукціи якорей машинъ и внѣшней цѣпи.

Пусть E_1, E_2, \dots, E_n —векторы, представляющіе электродвижущія силы альтернаторовъ, J_1, J_2, \dots, J_n —токи, протекающіе черезъ ихъ обмотки, Z_1, Z_2, \dots, Z_n —кажущіяся сопротивления ихъ якорныхъ обмотокъ, E_0 —векторъ, представляющій разность потенциаловъ на сборныхъ шинахъ, J_0, Z_0 —векторы тока и кажущагося сопротивления внѣшней цѣпи.

Тогда какъ извѣстно

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_0 + J_1 Z_1 \\ E_2 &= E_0 + J_2 Z_2 \\ \dots &\dots \dots \dots \\ E_n &= E_0 + J_n Z_n \\ E_0 &= J_0 Z_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

т. е. векторы электродвижущихъ силъ альтернаторовъ равны геометрическимъ суммамъ вектора напряженія на сборныхъ шинахъ и вектора электродвижущей силы, теряемой вслѣдствіе кажуща-

гося сопротивленія обмотки якоря, а векторъ напряженія на сборныхъ шинахъ равенъ электродвижущей силѣ, теряемой вслѣдствіе кажущагося сопротивленія внѣшней цѣпи.

Между величинами $J_0, J_1 \dots J_n$ существуетъ зависимость

$$J_0 = J_1 + J_2 + \dots + J_n \quad (1)$$

т. е. векторъ тока, протекающаго во внѣшнюю цѣпь, равенъ геометрической суммѣ векторовъ токовъ, протекающихъ черезъ обмотки альтернаторовъ.

Представляя всѣ перечисленные векторы символически въ видѣ комплексныхъ величинъ будемъ имѣть

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= e_0 + je'_0, & E_1 &= e_1 + je'_1, & \dots & \dots & E_n &= e_n + je'_n \\ J_0 &= i_0 + ji'_0, & J_1 &= i_1 + ji'_1, & \dots & \dots & J_n &= i_n + ji'_n \\ Z_0 &= r_0 + js_0, & Z_1 &= r_1 + js_1, & \dots & \dots & Z_n &= r_n + js_n \end{aligned} \right\} (2)$$

Относительно значенія всѣхъ этихъ величинъ нужно сказать слѣдующее: выраженія $\sqrt{e_k^2 + e'_k{}^2}$ и $\sqrt{i_k^2 + i'_k{}^2}$ мы будемъ, чтобы не вводить поправочнаго множителя, считать равными *дѣйствующимъ* напряженіямъ и токамъ. Кроме того величины $\sqrt{e_k^2 + e'_k{}^2}$ будемъ предполагать зависящими только отъ числа оборотовъ машины и силы тока въ возбуждающей обмоткѣ магнитовъ, и не зависящими отъ размагничивающаго дѣйствія якоря.

Въ дѣйствительности s_k есть сумма реакціи самоиндукціи и члена зависящаго отъ размагничивающаго дѣйствія якоря, такъ что

$$s_k = 2\pi \infty L_k + K_k \sin (E_k J_k)$$

гдѣ K_k коэффициентъ зависящій отъ конструктивныхъ особенностей машины *), Дѣлая второе предположеніе мы пренебрегаемъ вторымъ членомъ въ выраженіи для s_k .

Всѣ эти выраженія и всѣ послѣдующія разсужденія относятся къ однофазнымъ машинамъ или къ одной фазѣ многофазныхъ машинъ.

*) См. G. Karr. Dyn. f. Gl. und Wechs 3-te Aufl § 103.

Вставляя выражения (2) въ уравнения (1) и (1'), и приравнявая отдѣльно вещественныя и мнимыя части получимъ систему $2n + 4$ уравненій:

$$\left. \begin{aligned}
 e_0 + i_1 r_1 - i'_1 s_1 &= e_1 \\
 e_0 + i_1 s_1 + i'_1 r &= e'_1 \\
 \dots & \\
 e_0 + i_n r_n - i'_n s_n &= e_n \\
 e_0 + i_n s_n + i'_n r_n &= e'_n \\
 e_0 - i_0 r_0 + i'_0 s_0 &= 0 \\
 e'_0 - i_0 s_0 - i'_0 r_0 &= 0 \\
 i'_0 - \sum_1^n i_k &= 0 \\
 i'_0 - \sum_1^n i'_k &= 0
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Наибольшій практическій интересъ представляетъ случай, когда къ ряду уже находящихся въ установившемся синхроническомъ движеніи $n-1$ машинъ привключается новая n -я динамомашина.

Мы можемъ представить себѣ совокупность раньше находившихся въ работѣ $n-1$ машинъ одной фиктивной машиной, сопротивленіе которой R и реакція якоря S опредѣляются уравненіями

$$\frac{1}{R} = \sum_1^{n-1} \frac{1}{r_k}, \quad \frac{1}{S} = \sum_1^{n-1} \frac{1}{s_k}.$$

Эта фиктивная машина очевидно должна доставлять токъ $A = a + ja'$ равный суммѣ токовъ доставляемыхъ $n-1$ дѣйствительными машинами, а потому

$$a = \sum_1^{n-1} i_k, \quad a' = \sum_1^{n-1} i'_k. \quad (4)$$

Электродвижущая сила фиктивной машины $E = \varepsilon + j\varepsilon'$ должна быть равна геометрической суммѣ дѣйствительнаго напряженія на

сборныхъ шинахъ $e_0 + je'_0$ и электродвижущей силы, теряемой вследствие прохождения фиктивного тока $a + ja$ по арматурѣ съ фиктивнымъ кажущимся сопротивленіемъ $R + jS$, т. е.

$$\begin{cases} \varepsilon = e_0 + aR - a'S \\ \varepsilon' = e'_0 + aS + a'R \end{cases} \quad (5)$$

Послѣднія 6 уравненій системы (3) и уравненія (7) достаточны для опредѣленія $e_0, e'_0, a, a', i'_n, i'_n$ въ зависимости отъ величинъ $\varepsilon, \varepsilon', e_0, e'_0$.

Распределеніе токовъ между всѣми $n - 1$ альтернаторами найдемъ изъ 2 $(n - 1)$ первыхъ уравненій системы (3) и уравненій (4), задаваясь величинами электродвижущихъ силъ каждаго альтернатора.

4. На основаніи сказаннаго, а также въ виду сложности формулъ, получающихся при рѣшеніи полной системы уравненій (3), мы ограничимся изслѣдованіемъ системы уравненій для случая двухъ параллельно включенныхъ альтернаторовъ.

Система эта, состоящая изъ восьми уравненій, кромѣ величинъ $r_0, r_1, r_2, s_0, s_1, s_2$; которыя мы можемъ считать постоянными, содержитъ двѣнадцать переменныхъ

$$e_1, e'_1, e_2, e'_2, i_1, i'_1, i'_2, i'_2, e_0, e'_0, i_0, i'_0$$

и имѣеть видъ

$$\left. \begin{aligned} e_0 + i_1 r_1 - i'_1 s_1 &= e_1 \\ e'_0 + i_1 s_1 + i'_1 r_1 &= e'_1 \\ e_0 + i_2 r_2 - i'_2 s_2 &= e_2 \\ e'_0 + i_2 s_2 + i'_2 r_2 &= e'_2 \\ e_0 - i_0 r_0 + i'_0 s_0 &= 0 \\ e'_0 - i_0 s_0 - i'_0 r_0 &= 0 \\ i_0 - i_1 - i_2 &= 0 \\ i'_0 - i'_1 - i'_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Изъ двѣнадцати переменныхъ входящихъ въ эти уравненія величины e_1, e'_1, e_2, e'_2 являются фактически произвольными: только ихъ мы можемъ по произволу мѣнять, измѣняя возбуждающій токъ

или скорость вращения. Въ функции этихъ четырехъ величинъ мы и выразимъ остальные 8 неизвѣстныхъ.

Опредѣлитель системы уравненій (6) есть

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & r_1 - s_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & s_1 & r_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & r_2 - s_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & s_2 & r_2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_0 - s_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_0 & r_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$= S (r_0^2 + s_0^2) (r_2^2 + s_2^2) + 2S (s_1 s_2 + r_1 r_2) (r_0^2 + s_0^2) \quad (7)$$

(гдѣ S есть знакъ суммы трехъ членовъ, получаемыхъ одинъ изъ другого круговой перестановкой индексовъ 0, 1, 2, напримѣръ

$$S s_1 s_2 = s_1 s_2 + s_2 s_0 + s_0 s_1)$$

Для величинъ проекцій векторовъ тока J_1 на оси координатъ будемъ имѣть выраженія

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= e_1 \frac{\Delta_{31} + e_1' \Delta_{32} + e_2 \Delta_{33} + e_2' \Delta_{34}}{\Delta} \\ i_1' &= e_1 \frac{\Delta_{41} + e_1' \Delta_{42} + e_3 \Delta_{43} + e_2' \Delta_{44}}{\Delta} \end{aligned} \right\}$$

и подобныя же выраженія для проекцій i_2, i_2' тока J_2 , гдѣ $\Delta_{\alpha\beta}$ есть опредѣлитель миноръ, соответствующій α -му столбцу и β -й строкѣ.

Разсматривая опредѣлитель Δ не трудно найти, что

$$\begin{aligned} \Delta_{31} &= \Delta_{42} = A_1 \\ \Delta_{32} &= -\Delta_{41} = B_1 \\ \Delta_{33} &= \Delta_{44} = \Delta_{51} = \Delta_{62} = -C \\ \Delta_{34} &= -\Delta_{43} = \Delta_{52} = -\Delta_{61} = -D \\ \Delta_{53} &= \Delta_{64} = A_2 \\ \Delta_{54} &= -\Delta_{63} = B_2 \end{aligned}$$

гдѣ

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= (r_1 + r_2) (r_0^2 + s_0^2) + (r_0 + r_1) (r_2^2 + s_2^2) + 2r_1 (r_0 r_2 + s_0 s_2) \\ B_1 &= (s_1 + s_2) (r_0^2 + s_0^2) + (s_0 + s_1) (r_2^2 + s_2^2) + 2s_1 (r_0 r_2 + s_0 s_2) \\ A_2 &= (r_1 + r_2) (r_0^2 + s_0^2) + (r_0 + r_2) (r_1^2 + s_1^2) + 2r_2 (r_0 r_1 + s_0 s_1) \\ B_2 &= (s_1 + s_2) (r_0^2 + s_0^2) + (s_0 + s_2) (r_1^2 + s_1^2) + 2s_2 (r_0 r_1 + s_0 s_1) \\ C &= (r_1 + r_2) (r_0^2 + s_0^2) + r_0 (r_1 r_2 - s_1 s_2) + s_0 (r_1 s_2 + s_1 r_2) \\ D &= (s_1 + s_2) (r_0^2 + s_0^2) + s_0 (s_1 s_2 - r_1 r_2) + r_0 (r_1 s_2 + s_1 r_2) \end{aligned} \right\} (8)$$

и выраженія для величинъ i_1, i_1', i_2, i_2' окончательно напишутся такъ:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \frac{e_1 A_1 + e_1' B_1 - e_2 C - e_2' D}{\Delta} \\ i_1' &= \frac{-e_1 B_1 + e_1' A_1 + e_2 D - e_2' C}{\Delta} \\ i_2 &= \frac{-e_1 C - e_1' D + e_2 A_2' + e_2' B_2}{\Delta} \\ i_2' &= \frac{e_1 D - e_1' C - e_2 B_2 + e_2' A_2}{\Delta} \end{aligned} \right\} (9)$$

Изъ послѣднихъ двухъ уравненій группы (6) будемъ имѣть

$$\left. \begin{aligned} i_0 &= \frac{e_1 M_1 + e_1' N_1 + e_2 M_2 + e_2' N_2}{\Delta} \\ i_0' &= \frac{-e_1 N_1 + e_1' M_1 - e_2 N_2 + e_2' M_2}{\Delta} \end{aligned} \right\} (10)$$

гдѣ для краткости

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= A_1 - C = (r_0 + r_1) (r_2^2 + s_2^2) + r_0 (r_1 r_2 + s_1 s_2) + s_1 (r_1 s_2 - s_1 r_2) \\ N_1 &= B_1 - D = (s_0 + s_1) (r_2^2 + s_2^2) - r_0 (r_1 s_2 - s_1 r_2) + s_0 (r_1 r_2 + s_1 s_2) \\ M_2 &= A_2 - C = (r_0 + r_2) (r_1^2 + s_1^2) + r_0 (r_1 r_2 + s_1 s_2) - s_0 (r_1 s_2 - s_1 r_2) \\ N_2 &= B_2 - D = (s_0 + s_2) (r_1^2 + s_1^2) + r_0 (r_1 s_2 - s_1 r_2) + s_0 (r_1 r_2 + s_1 s_2) \end{aligned} \right\} (11)$$

Вставляя въ уравненія пятое и шестое группы (6) значенія i_0 и i_0' изъ (10) и полагая для краткости

$$\left. \begin{aligned}
 K_1 &= M_1 r_0 + N_1 s_0 = (r_0 r_1 + s_0 s_1) (r_2^2 + s_2^2) + (r_0^2 + s_0^2) (r_2^2 + s_2^2) + \\
 &\quad + (r_0^2 + s_0^2) (r_1 r_2 + s_1 s_2) \\
 L_1 &= M_1 s_0 - N_1 r_0 = (s_0 r_1 - r_0 s_1) (r_2^2 + s_2^2) + (r_1 s_2 - s_1 r_2) (r_0^2 + s_0^2), \\
 K_2 &= M_2 r_0 + N_2 s_0 = (r_0 r_2 + s_0 s_2) (r_1^2 + s_1^2) + (r_0^2 + s_0^2) (r_1^2 + s_1^2) + \\
 &\quad + (r_0^2 + s_0^2) (r_1 r_2 + s_1 s_2) \\
 L_2 &= M_2 s_0 - N_2 r_0 = (s_0 r_2 - r_0 s_2) (r_1^2 + s_1^2) - (r_1 s_2 - s_1 r_2) (r_0^2 + s_0^2),
 \end{aligned} \right\} (12)$$

получимъ проекцію вектора напряженія на сборныхъ шинахъ

$$\left. \begin{aligned}
 e_0 &= \frac{e_1 K_1 - e_1' L_1 + e_2 K_2 - e_2' L_2}{\Delta} \\
 e_0' &= \frac{e_1 L_1 + e_1' K_1 + e_2 L_2 + e_2' K_2}{\Delta}
 \end{aligned} \right\} (13)$$

При помощи уравненій (9) мы можемъ выразить мощности обоихъ альтернаторовъ въ функціи проекцій векторовъ ихъ электродвижущихъ силъ на двѣ взаимно перпендикулярныя оси; если W_1 и W_2 эти мощности, то

$$\left. \begin{aligned}
 W_1 &= e_1 i_1 + e_1' i_1' = \frac{(e_1^2 + e_1'^2) A_1 - C (e_1 e_2 + e_1' e_2') - D (e_1 e_2' - e_2 e_1')}{\Delta} \\
 W_2 &= e_2 i_2 + e_2' i_2' = \frac{(e_2^2 + e_2'^2) A_2 - C (e_1 e_2 + e_1' e_2') + D (e_1 e_2' - e_2 e_1')}{\Delta}
 \end{aligned} \right\} (14)$$

Уравненія (9), (10), (13) и (14) представляютъ величины, характеризующія разсматриваемое соединеніе альтернаторовъ, при чемъ формулы эти имѣютъ постоянное значеніе если періодичность электродвижущихъ силъ обоихъ альтернаторовъ одинакова, (e_1, e_1', e_2, e_2' постоянны), или временное, только для даннаго мгновенія, если E_1, E_2 имѣютъ различную періодичность (всѣ или нѣкоторыя изъ величинъ e_1, e_1', e_2, e_2' переменны). См. § 2.

5. Въ „Electrical Revue. London 1893“ Whitwell помѣстилъ статью*), содержащую выводъ формулъ для токовъ и мощностей двухъ параллельно включенныхъ альтернаторовъ въ предположеніи

*) in extenso въ Handb. d. El. v. Heinke B. IV. S. 186 (Niethammer).

тождественности машинъ и равенства амплитудъ электродвижущихъ силъ E_1 и E_2 .

Видъ формулъ Whitwell'я иной, чѣмъ полученный нами, но послѣ нѣкоторыхъ преобразованій ихъ не трудно получить какъ частный случай изъ формулъ (9) и (14).

Пріймемъ за направленіе оси вещественныхъ значеній направленіе одного изъ векторовъ электродвижущихъ силъ, напр. E_1 ; тогда, если γ уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ, очевидно въ формулахъ (9) и (14) нужно положить

$$\begin{aligned} e_1 &= E_1, e_1' = 0 \\ e_2 &= E_2 \cos \gamma, e_2' = E_2 \sin \gamma \end{aligned}$$

и мы будемъ имѣть

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \frac{E_1 A_1 - E_2 (C \cos \gamma + D \sin \gamma)}{\Delta} \\ i_1' &= \frac{-E_1 B + E_2 (D \cos \gamma - C \sin \gamma)}{\Delta} \\ i_2 &= \frac{E_2 (A_2 \cos \gamma + B_2 \sin \gamma) - E_1 C}{\Delta} \\ i_2' &= \frac{E_2 (A_2 \sin \gamma - B_2 \cos \gamma) + E_1 D}{\Delta} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Далѣе, изъ уравненій (7) и (8) не трудно видѣть что,

$$\begin{aligned} C^2 + D^2 &= (r_0^2 + s_0^2) \Delta, \\ A_1^2 + B_1^2 &= \{ (r_0 + r_2)^2 + (s_0 + s_2)^2 \} \Delta, \\ A_2^2 + B_2^2 &= \{ (r_0 + r_1)^2 + (s_0 + s_1)^2 \} \Delta, \end{aligned}$$

По этому, если ввести новыя величины ψ_1, ψ_2, ψ_3 , полагая

$$\operatorname{tg} \psi_1 = \frac{C}{D}, \operatorname{tg} \psi_2 = \frac{A_1}{B_1}, \operatorname{tg} \psi_3 = \frac{A_2}{B_2},$$

будемъ имѣть изъ (15)

$$\left. \begin{aligned}
 i_1 &= E_1 \frac{\sqrt{(r_0 + r_2)^2 + (s_0 + s_2)^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin \psi_2 - E_2 \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin(\gamma + \psi_1) \\
 i_1' &= -E_1 \frac{\sqrt{(r_0 + r_2)^2 + (s_0 + s_2)^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos \psi_2 + E_2 \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos(\gamma + \psi_1) \\
 i_2 &= E_2 \frac{\sqrt{(r_0 + r_1)^2 + (s_0 + s_1)^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin(\gamma + \psi_3) - E_1 \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin \psi_1 \\
 i_2' &= -E_2 \frac{\sqrt{(r_0 + r_1)^2 + (s_0 + s_1)^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos(\gamma + \psi_3) + E_1 \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos \psi_1
 \end{aligned} \right\} (16)$$

Мощность первой машины есть

$$W_1 = E_1^2 \frac{\sqrt{(r_0 + r_2)^2 + (s_0 + s_2)^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin \psi_2 - E_1 E_2 \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin(\gamma + \psi_1) \quad (17)$$

Мощность второй:

$$W_2 = E_2^2 \frac{\sqrt{(r_0 + r_1)^2 + (s_0 + s_1)^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin \psi_3 + E_1 E_2 \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin(\gamma - \psi_1) \quad (17 \text{ bis})$$

Уголъ отставанія тока отъ электродвижущей силы въ первомъ альтернаторѣ будетъ $\alpha = \text{arctg} \frac{i_1'}{i_1}$, а во второмъ $\gamma + \beta$, гдѣ

$$\beta = \text{arctg} \frac{i_2'}{i_2}$$

Для машинъ тождественныхъ и одинаково возбужденныхъ будемъ имѣть

$$E_1 = E_2 = E, \quad \psi_2 = \psi_3 = \psi$$

$$r_1 = r_2 = r, \quad s_1 = s_2 = s$$

$$\Delta = (r^2 + s^2) \{ r^2 + s^2 + 4(r_0^2 + s_0^2) + 4(rr_0 + ss_0) \}$$

Предполагая, что электродвижущая сила первого альтернатора опережает по фазѣ электродвижущую силу второго, т. е. считая въ формулахъ (16) уголъ γ отрицательнымъ, получимъ для мгновенныхъ значенийъ силы тока опережающей машины выражение

$$J_1 = \sqrt{2} E \sqrt{X_1^2 + Y_1^2} \sin(\omega t - \varepsilon),$$

отстающей

$$J_2 = \sqrt{2} E \sqrt{X_2^2 + Y_2^2} \sin(\omega t - \xi)$$

гдѣ

$$X_1 = \frac{\sqrt{(r_0 + r)^2 + (s_0 + s)^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin \psi - \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin(\psi_1 - \gamma)$$

$$Y_1 = \frac{\sqrt{(r_0 + r)^2 + (s_0 + s)^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos \psi - \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos(\psi_1 - \gamma)$$

$$X_2 = \frac{\sqrt{(r_0 + r)^2 + (s_0 + s)^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin(\psi - \gamma) - \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \sin \psi_1$$

$$Y_2 = \frac{\sqrt{(r_0 + r)^2 + (s_0 + s)^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos(\psi - \gamma) - \frac{\sqrt{r_0^2 + s_0^2}}{\sqrt{\Delta}} \cos \psi_1$$

и

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{Y_1}{X_1}, \quad \operatorname{tg} \xi = \frac{Y_2}{X_2}$$

Выраженія (17) и (17^{bis}) примутъ тогда видъ:
для опережающей машины,

$$W_1 = E^2 X_1,$$

при чемъ токъ остается отъ электродвижущей силы на уголъ ϵ , и для отстающей

$$W_2 = E^2 (X_2 \cos \gamma - Y_2 \sin \gamma)$$

при углѣ отставанія тока $\gamma + \xi$.

Въ такомъ видѣ выраженія для J_1, J_2, W_1 и W_2 получены въ цитированной статьѣ Whitewell'емъ. Особенной выгоды формы эти сравнительно съ полученными нами не имѣютъ, и выводъ ихъ приведенъ здѣсь только потому, что теорія Whitewell'я помѣщена какъ образецъ математической теоріи параллельной работы альтернаторовъ въ указанномъ выше изданіи V. Heinke, получающемъ большое распространеніе между электротехниками.

II. Графическое изслѣдованіе.

6. Уравненія (14) представляютъ зависимость двухъ величинъ W_1 и W_2 отъ векторовъ электродвижущихъ силъ, или отъ ихъ проекцій на взаимно перпендикулярныя оси. Изслѣдовать эту зависимость удобнѣе представивъ ее геометрически.

Пріймемъ, какъ и въ предыдущемъ параграфѣ направление вектора E_1 за ось вещественныхъ значеній, и предположимъ, что по величинѣ этотъ векторъ остается постояннымъ. Тогда уравненія (14) обратятся въ

$$\left. \begin{aligned} \triangle W_1 &= A_1 E_1^2 - CE_1 e_2 - DE_1 e'_2 \\ \triangle W_2 &= A_2 (e_2^2 + e'_2{}^2) - CE_1 e_2 + DE_1 e'_2 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Уравненія эти очевидно суть уравненія геометрическихъ мѣстъ, на которыхъ долженъ оставаться конецъ вектора $E_2 = e_2 + j e'_2$ для заданныхъ величинъ W_1 и W_2 . Эти геометрическія мѣста мы будемъ называть *линіями мощности* перваго и втораго альтернатора.

Первое уравненіе представляетъ при переменномъ параметрѣ W_1 пучекъ параллельныхъ прямыхъ наклоненныхъ къ оси X (фиг. 3) подъ угломъ KOX, опредѣленнымъ изъ уравненія

$$\operatorname{tg} KOX = - \frac{C}{D} \quad (19)$$

Второе уравнение (18) есть уравнение круга, координаты центра N котораго суть

$$\xi = \frac{E_1 C}{2 A_2}, \eta = -\frac{E_1 D}{2 A_2} \quad (20)$$

и радиусъ

$$\rho = \frac{1}{2 A_2} \sqrt{(C^2 + D^2) E_1^2 + 4 A_2 \Delta W_2} \quad (21)$$

Координаты центра отъ W_2 не зависятъ, и слѣдовательно, всѣ круги соответствующіе различнымъ W_2 концентричны.

Общій центръ лежитъ, какъ видно изъ уравненій (20) на пересѣченіи перпендикуляра NS къ оси OX , возставленнаго изъ точки S лежащей на разстояніи

$$OS = \frac{C E_1}{A_2 2}$$

отъ начала координатъ, вправо если $\frac{C}{A_2} > 0$, и влѣво когда $\frac{C}{A_2} < 0$, и наклонной къ OX проведенной изъ точки O подъ угломъ G_2 OX , который найдемъ изъ условія

$$\operatorname{tg} G_2 OX = -\frac{D}{C} \quad (22)$$

Выведенныя нами формулы относятся, какъ было упомянуто выше, къ самому общему случаю параллельной работы двухъ альтернаторовъ, заключающему въ себѣ какъ случай двухъ работающих параллельно на внѣшнюю цѣпь генераторовъ, такъ и случай передачи энергіи при помощи двухъ альтернаторовъ, изъ которыхъ одинъ служитъ двигателемъ, а другой генераторомъ.

Въ первомъ случаѣ оба альтернатора доставляютъ во внѣшнюю цѣпь электрическую энергію, въ обоихъ уголъ между векторами электродвижущей силы и тока будетъ меньше $\frac{\pi}{2}$, и слѣдовательно въ этомъ случаѣ

$$W_1 > 0, W_2 > 0.$$

Во второмъ случаѣ одинъ альтернаторъ (положимъ первый) развиваетъ электрическую энергію поглощая механическую, и питаетъ внѣшнюю цѣпь и другой альтернаторъ, поглощающій электрическую энергію и развивающій механическую. Во второмъ альтернаторѣ, какъ извѣстно, уголъ между векторами электродвижущей силы и тока будетъ больше $\frac{\pi}{2}$, и слѣдовательно въ этомъ случаѣ будемъ имѣть

$$W_1 > 0, W_2 < 0.$$

На діаграммѣ знаки W_1 и W_2 опредѣлятся слѣдующимъ образомъ.

Кругъ соотвѣтствующій мощности $W_2 = 0$ имѣетъ радіусъ

$$\rho_0 = \frac{\sqrt{C^2 + D^2} E_1}{A_2} 2$$

и проходитъ черезъ начало координатъ. Радіусы круговъ отрицательныхъ мощностей W_2 , т. е. круговъ соотвѣтствующихъ случаю когда второй альтернаторъ работаетъ какъ двигатель, поглощая энергію развиваемую первымъ альтернаторомъ, будутъ очевидно меньше величины ρ_0 , такъ какъ A_2 существенно положительно, и слѣдовательно круги мощностей $W_2 < 0$ будутъ лежать внутри круга $W_2 = 0$. Круги положительныхъ мощностей, W_2 соотвѣтствующіе случаямъ, когда или оба альтернатора работаютъ какъ генераторы, или второй альтернаторъ питаетъ кромѣ внѣшней цѣпи первый—работающій какъ двигатель, будутъ лежать внѣ круга ρ_0 .

Наибольшаго абсолютнаго значенія для случая когда второй альтернаторъ работаетъ какъ двигатель, мощность W_2 достигается при $\rho = 0$. Тогда

$$W_2 = -\frac{C^2 + D^2}{4 A_2 \Delta} E_1^2 = -\frac{r_0^2 + s_0^2}{4 A^2} E_1^2 ;$$

это есть наибольшая мощность, которую можетъ развить двигатель включенный параллельно съ внѣшней цѣпью имѣющей кажущееся сопротивление $r_0 + j s_0$, когда электродвижущая сила питающаго альтернатора есть E_1 .

Обратимся къ прямымъ мощности перваго альтернатора. Прямая проходящая черезъ начало координатъ соотвѣтствуетъ

$$W_1 = \frac{A_1}{\Delta} E_1^2 ;$$

это величина всегда положительная. Прямая мощности $W_1 = 0$ пересѣчетъ ось X —въ въ разстояніи отъ начала координатъ

$$\xi = \frac{A_1}{C} E_1.$$

Знакъ ξ зависитъ отъ знака C ; если $C < 0$ прямая мощности идутъ въ порядкѣ возрастающей мощности слѣва на-право; когда $C > 0$, — справа на-лѣво. Знакъ коэффициента C зависитъ главнымъ образомъ отъ величины r_0 ; обыкновенно эта величина сравнительно съ s_1, s_2 не значительна, и членъ $(-r_0 s_1 s_2)$ въ выраженіи C въ уравненіяхъ (8) получаетъ преобладающее значеніе, т. е. $C < 0$. Для случая $r_0 = \infty$, т. е. для случая передачи энергіи двумя альтернаторами безъ отвлѣтвленія тока во внѣшнюю цѣпь, $\xi = E_1$.

7. Построивъ для данныхъ $s_0, s_1, s_2, r_0, r_1, r_2$ и даннаго напряженія, т. е. предполагая скорость вращенія постоянною, для даннаго возбужденія одного изъ альтернаторовъ, сѣтъ прямыхъ и круговъ мощностей, мы легко найдемъ мощность каждаго изъ альтернаторовъ, зная возбужденіе втораго альтернатора и уголъ разности фазъ ихъ электродвижущихъ силъ.

На фиг. 3 построены для примѣра (*) линіи мощности двухъ параллельно включенныхъ альтернаторовъ для случая

$$E_1 = 2500 \text{ вольтъ}$$

$$r_1 = r_2 = 1, s_1 = s_2 = 10, r_0 = 0,6, s_0 = 0,8.$$

$$\text{Тогда } \sqrt{r_0^2 + s_0^2} = 1$$

$$A_1 = A_2 = 180,8$$

$$C = -41,4$$

$$D = 111,2$$

*) Примѣръ взятъ изъ книги С. Р. Steinmetz'a Т. II. В. d. W. стр 291.

Мы будем называть нормальной мощностью ту, которую будут имѣть альтернаторы при совпадении по величинѣ и направлению векторовъ ихъ электродвижущихъ силъ. По формулѣ (14) найдемъ $W_1 = W_2 \text{ норм.} = 99 \text{ KW}$. На диаграммѣ начерчены круги нормальной мощности W_2 , $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ ея. Выбравъ масштабъ напряжения 25 вольтъ = $1^{\text{мм}}$, по формулѣ 21 найдемъ:

$$\text{при } W_2 \text{ норм.} = 99 \text{ KW } \rho = 116^{\text{мм.}}$$

$$\text{при } 0,75 W_2 \text{ норм.} \quad \rho = 102^{\text{мм.}}$$

$$\text{при } 0,5 W_2 \text{ норм.} \quad \rho = 87^{\text{мм.}}$$

$$\text{при } 0,25 W_2 \text{ норм.} \quad \rho = 65,8^{\text{мм.}}$$

Для мощности W_1 начерчены прямая нормальной мощности 0,75 и 0,50 ея. Эти прямая построимъ зная

$$\text{tg KOX} = -\frac{C}{D} = 0,372$$

и вычисливъ по уравненію прямой мощности разстоянія точекъ пересѣченія этой прямой съ осью ординатъ отъ начала координатъ:

$$OF_1 = -38^{\text{мм.}}, OF_2 = 12,2^{\text{мм.}}, OF_3 = 62,3^{\text{мм.}}$$

Положеніе вектора E_2 на чертежѣ соотвѣтствуетъ нѣкоторымъ величинамъ W_1 и W_2 , опредѣляющимся прямою и кругомъ мощностей проходящими черезъ точку ϵ_2 .

Вообразимъ, что мы уменьшаемъ притокъ энергіи къ машинѣ движущей второй альтернаторъ, оставляя электродвижущія силы E_1 и E_2 постоянными по величинѣ, т. е. оставляя постояннымъ возбужденіе обоихъ альтернаторовъ. Тогда очевидно мощность второго альтернатора уменьшится и точка ϵ_2 принуждена будетъ перейти на кругъ меньшаго радіуса, соотвѣтствующаго нѣкоторой величинѣ мощности $W_2 - \delta W_2$, гдѣ δW_2 измѣненіе мощности, и занять положеніе ϵ'_2 . Мощность перваго альтернатора при этомъ увеличится до величины $W_1 + \delta W_1$, опредѣляемой прямой мощности, проходящей черезъ точку ϵ'_2 . Уголь разности фазъ электродвижущихъ силъ при этомъ, какъ видно изъ діаграммы, увеличится. Продолжая уменьшать притокъ энергіи къ машинѣ двигателю

второго альтернатора мы увидимъ, что точка ϵ_2 вектора $O\epsilon_2$ будетъ двигаться по кругу $G_1\epsilon_2G_2$ по направленію движенія часовой стрѣлки, при чемъ мощность перваго альтернатора будетъ возрастать, и слѣдовательно долженъ увеличиваться притокъ энергіи къ машинѣ двигателю перваго альтернатора. Мощность W_1 будетъ возрастать при увеличеніи угла разности фазъ электродвижущихъ силъ пока точка ϵ_2 не прійдетъ въ точку G_1 , въ которой кругъ $G_2\epsilon_2G_1$ касателенъ къ прямой мощности проходящей черезъ эту точку. Если будемъ далѣе увеличивать уголь разности фазъ электродвижущихъ силъ, мощность W_2 очевидно начнетъ уменьшаться, и равновѣсіе между движущей силой и электрической энергіей нарушится. Прямая OG_1 на діаграммѣ будетъ границей устойчивости движенія параллельно включенныхъ альтернаторовъ.

Если, исходя изъ положенія вектора $O\epsilon_2$ на діаграммѣ, предположимъ притокъ энергіи къ машинѣ двигателю втораго альтернатора увеличивающимся, мы подобнымъ же образомъ увидимъ, что мощность W_1 будетъ убывать, а мощность W_2 возрастать, пока точка ϵ_2 , двигаясь по кругу $G_2\epsilon_2G_1$ противъ направленія движенія часовой стрѣлки, не прійдетъ въ точку G_2 , въ которой кругъ этотъ касателенъ къ кругу мощности, проходящему черезъ эту точку. Прямая OG_2 будетъ другимъ предѣломъ устойчивости движенія. Изъ условій (19) и (22) имѣемъ

$$\operatorname{tg} G_2 OX \cdot \operatorname{tg} KOX = 1;$$

прямая G_1O перпендикулярна къ прямой KO , слѣдовательно

$$\angle G_2 OX = \angle G_1 OX,$$

т. е. предѣльный уголь разности фазъ электродвижущихъ силъ параллельно работающихъ альтернаторовъ опредѣляется условіемъ

$$\operatorname{tg} \gamma_{\max} = \frac{D}{C} \text{ (абсолютн. велич.)} \quad (23)$$

Величина эта очевидно зависитъ только отъ кажущихся сопротивленій обмотокъ якорей обоихъ альтернаторовъ и внѣшней цѣпи, и играетъ очень важную роль въ вопросѣ устойчивости дви-

женія альтернаторовъ при разсматриваемомъ соединеніи, такъ какъ чѣмъ больше уголъ $\gamma_{\max} = \angle G_1 OX = \angle G_2 OX$, тѣмъ на большій уголъ могутъ расходиться векторы электродвижущихъ силъ, не нарушая устойчивости движенія системы, γ есть уголъ на діаграммѣ; въ дѣйствительности ему соотвѣтствуетъ значительно меньшій уголъ. Если напр. оба альтернатора имѣютъ одинаковое число паръ полюсовъ p , то углу 2π на діаграммѣ соотвѣтствуетъ уголъ поворота якоря $\frac{2\pi}{p}$, и углу разности фазъ электродвижущихъ силъ γ — уголъ расхожденія осей одноименныхъ полюсовъ $\frac{\gamma}{p}$.

Отсюда ясно, что чѣмъ больше число полюсовъ, тѣмъ, при одинаковыхъ условіяхъ, альтернаторы менѣе приспособлены къ параллельной работѣ.

Какъ было сказано, почти всѣ авторы статей по разсматриваемому вопросу, начиная съ Гопкинсона, обращали вниманіе на вліяніе отношенія реакці самоиндукціи якоря къ его омическому сопротивленію, на способность альтернатора къ параллельному включенію. Изслѣдуемъ въ этомъ отношеніи формулу (23).

Пусть

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{r_1}, \sigma_2 = \frac{s_2}{r_2}$$

Тогда уравненіе (23) можно написать такъ:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\max} = \frac{(r_0^2 + s_0^2) \left(\frac{\sigma_1}{r_2} + \frac{\sigma_2}{r_1} \right) + s_0 (\sigma_1 \sigma_2 - 1) + r_0 (\sigma_1 + \sigma_2)}{(r_0^2 + s_0^2) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) + r_0 (1 - \sigma_1 \sigma_2) + s_0 (\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (\text{абс. знач.}) \quad (23^{\text{bis}})$$

Если составимъ частныя производныя отъ этого выраженія по σ_1 и σ_2 , то увидимъ, что эти производныя всегда положительны и въ нуль для вещественныхъ значеній σ_1 и σ_2 не обращаются. Это значитъ, что при возрастаніи σ_1 и σ_2 , $\operatorname{tg} \gamma_{\max}$ возрастаетъ, при чемъ абсолютная величина его возрастетъ если $\operatorname{tg} \gamma_{\max}$ положителенъ и убываетъ въ обратномъ случаѣ. Наиболѣе выгоднымъ въ смыслѣ устойчивости параллельно включенныхъ въ цѣпь альтер-

наторовъ будетъ случай когда $\gamma_{\max.} = \pm \frac{\pi}{2}$, т. е. когда $\operatorname{tg} \gamma_{\max.} = \pm \infty$, а это будетъ въ случаѣ такой комбинаціи отношеній реакцій самоиндукцій якорей къ ихъ омическимъ сопротивленіямъ σ_1 и σ_2 , при которомъ знаменатель выраженія 23^{bis} обращается въ нуль, т. е. когда

$$r_0 \sigma_1 \sigma_2 - s_0 (\sigma_1 + \sigma_2) - (r_0^2 + s_0^2) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) - r_0 = 0.$$

Въ случаѣ если имѣемъ два тождественныхъ альтернатора т. е. $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, $r_1 = r_2 = r$, то $\gamma_{\max.} = \pm \frac{\pi}{2}$ при

$$\sigma = \frac{s_0 + \sqrt{s_0^2 + 4r_0 \left[\frac{2}{r} (r_0^2 + s_0^2) + r_0 \right]}}{2r_0}$$

Абсолютная величина выраженія 23^{bis} при $\sigma_1 = \sigma_2 = \infty$ есть $\frac{s_0}{r_0}$ а при $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$, это выраженіе обращается въ $\frac{s_0}{(r_0^2 + s_0^2) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) + r_0}$

Эти выраженія показываютъ, что какъ при очень большой самоиндукціи сравнительно съ омическимъ сопротивленіемъ, такъ и при очень малой, устойчивое движеніе альтернаторовъ включенныхъ параллельно возможно только при значительной самоиндукціи внѣшней цѣпи.

На практикѣ оказывается, что присутствіе желѣза въ якоряхъ альтернаторовъ современныхъ конструкцій гарантируетъ величину самоиндукціи, при которой уголъ $\gamma_{\max.}$ остается достаточно большимъ.

8. Выведенныя выше формулы и діаграммы не трудно примѣнить къ случаю передачи работы при помощи двухъ альтернаторовъ, изъ которыхъ одинъ работаетъ какъ генераторъ, а другой какъ синхроничный двигатель, и изъ діаграммы фиг. 3 получить извѣстную діаграмму Blondel'я*). Полагая $r = \infty$ въ формулахъ (9), (10), (13) и (14) получимъ

*) А. Blondel. Moteurs Synchrones. Стр. 82. См. такъ же С. Томсонъ Динамоэл. маш. Русскій переводъ Голова, стр. 841 и 847.

$$\left. \begin{aligned} i_1 = -i_2 &= \frac{(r_1 + r_2) (e_1 - e_2) + (s_1 + s_2) (e_1' - e_2')}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \\ i_1 = -i_2' &= \frac{(s_1 + s_2) (e_1 - e_2) + (r_1 + r_2) (e_1' - e_2')}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \\ i_0 &= 0, \quad i_0' = 0 \end{aligned} \right\} (24)$$

$$\left. \begin{aligned} e_0 &= \frac{e_1 [r_2 (r_1 + r_2) + s_2 (s_1 + s_2)] + e_2 [r_1 (r_1 + r_2) + s_1 (s_1 + s_2)] + (r_1 s_2 - s_1 r_2) (e_2' - e_1')}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \\ e_0' &= \frac{e_1' [r_2 (r_1 + r_2) + s_2 (s_1 + s_2)] + e_2' [r_1 (r_1 + r_2) + s_1 (s_1 + s_2)] + (r_1 s_2 - s_1 r_2) (e_2 - e_1)}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \end{aligned} \right\} (25)$$

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= \frac{(r_1 + r_2) (e_1^2 + e_1'^2 - e_1 e_2 - e_1' e_2') - (s_1 + s_2) (e_1 e_2' - e_2 e_1')}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \\ W_2 &= \frac{(r_1 + r_2) (e_2^2 + e_2'^2 - e_1 e_2 - e_1' e_2') + (s_1 + s_2) (e_1 e_2' - e_2 e_1')}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \end{aligned} \right\} (26)$$

Уравнения линий мощностей примутъ въ предположеніи $r = \infty$ слѣдующій видъ:

$$\left. \begin{aligned} \{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2\} W_1 &= (r_1 + r_2) E_1^2 - (r_1 + r_2) E_1 e_2 - (s_1 + s_2) E_1 e_2' \\ \{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2\} W_2 &= (r_1 + r_2) (e_2^2 + e_2'^2) - (r_1 + r_2) E_1 e_2 + (s_1 + s_2) E_1 e_2' \end{aligned} \right\} (27)$$

въ которыхъ по прежнему e_2 и e_2' считаемъ за текущія координаты. Диаграмма приметъ видъ фиг. 4. На этой диаграммѣ обозначенія остаются тѣ-же что и на фиг. 3

Центръ круговъ мощности лежитъ на пересѣченіи перпендикуляра возставленнаго изъ середины отръзка OE_1 и наклонной, проведенной изъ точки O подъ угломъ $\angle NOE_1 = \gamma_{\max}$ къ OE_1 , при чемъ

$$\operatorname{tg} \gamma_{\max} = \frac{s_1 + s_2}{r_1 + r_2}$$

Кругъ мощности $W_2 = 0$ проходитъ черезъ точки O и E_1 , а прямая мощности $W_1 = 0$ черезъ точку E_1 и касательна въ этой точкѣ къ кругу $W_2 = 0$. Очевидно, что если точка E_2 лежитъ въ части плоскости (заштрихованный на чертежѣ) заключенной между кругомъ $W_2 = 0$ и прямой $W_1 = 0$, то оба альтернатора работаютъ какъ генераторы, т. е. поглощаютъ механическую энергію и развиваютъ токъ, энергія котораго вся идетъ на нагрѣваніе обмотокъ; *передачи* энергіи въ этомъ случаѣ не будетъ.

Векторъ $E_1 E_2$ на діаграммѣ представляетъ очевидно потерю электродвижущей силы вслѣдствіе кажущагося сопротивленія въ арматурѣ и соединительныхъ проводахъ альтернаторовъ (r_1, r_2, s_1 и s_2 мы предполагаемъ заключающими въ себѣ также омическія сопротивленія и реакціи самоиндукцій соединительныхъ проводовъ). По величинѣ векторъ тока протекающаго черезъ оба якоря будетъ равенъ

$$J = \frac{E_1 E_2}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2}};$$

такъ какъ знаменатель этого выраженія есть для данныхъ альтернаторовъ величина постоянная, то отръзокъ $E_1 E_2$ мы можемъ считать равнымъ току J , измѣряя его масштабомъ въ $\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2}$ разъ большимъ чѣмъ масштабъ электродвижущихъ силъ.

Примѣчаніе. Въ уравненіи (24) векторы токовъ J_1, J_2 получились съ обратными знаками, хотя очевидно эти векторы представляютъ одинъ и тотъ же токъ, протекающій послѣдовательно черезъ обмотки обоихъ альтернаторовъ. Эта кажущаяся несообразность получается вслѣдствіе того, что направленіе тока разсматриваемъ по отношенію къ электродвижущимъ силамъ E_1, E_2 , векторы которыхъ для удобства предполагаемъ расположенными подъ угломъ γ меньшимъ $\frac{\pi}{2}$. Если бы мы располагали векторы E_1 и E_2 подъ угломъ $\pi + \gamma$, знаки J_1 и J_2 были бы одинаковы.

Предѣломъ отрицательной работы будетъ, какъ и въ общемъ случаѣ, то значеніе величины W_2 , при которой радіусъ круга мощности W_2 обращается въ нуль. Величину эту получимъ изъ условія

$$\rho = \frac{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2}}{r_1 + r_2} \sqrt{\left(\frac{E_1}{2}\right)^2 + (r_1 + r_2) W_2} = 0$$

откуда

$$W_2 = - \frac{E_1^2}{4(r_1 + r_2)}. \quad (28)$$

Это предѣлъ теоретическій, до котораго величина мощности никогда не доходитъ, такъ какъ такая мощность всегда соотвѣтствуетъ току значительно большему того, какой могутъ безъ опаснаго нагрѣванія вынести обмотки якорей альтернаторовъ. Если знаемъ этотъ послѣдній токъ, то описавъ изъ точки E_1 какъ изъ центра окружность радиусомъ равнымъ этому току въ соотвѣтственномъ масштабѣ, будемъ имѣть границу, внутри которой должна оставаться точка E_2 .

Подобно тому какъ мы строили линіи равныхъ мощностей, можно построить линіи равныхъ угловъ разности фазъ тока и электродвижущихъ силъ E_1 и E_2 , т. е. линіи обладающими тѣмъ свойствомъ, что пока конецъ вектора $O E_2$ остается на ней, уголъ между векторами E_1 и J или E_2 и J остается постояннымъ.

Направленіе тока всегда составляетъ съ направлениемъ вектора $E_2 E_1$ (считая за полюсъ точку E_2), уголъ γ_m , котораго $\operatorname{tg} \gamma_m = \frac{s_1 + s_2}{r_1 + r_2}$. Не трудно видѣть, что уголъ между токомъ и электродвижущей силой E_1 равенъ углу $E_2 E_1 N$, и при томъ отрицателенъ (токъ отстаетъ) когда точка E_2 лежитъ лѣвѣе прямой $N E_1$ и положителенъ (токъ опережаетъ электродвижущую силу), когда точка E_2 находится правѣе этой прямой для случая когда первый альтернаторъ работаетъ какъ генераторъ, а второй какъ двигатель и обратно въ обратномъ случаѣ. Очевидно что линіей угла разности фазъ $(E_1, J) = 0$ будетъ прямая $N E_1$, а линіями прочихъ угловъ (E_1, J) —прямая проходящая черезъ точку E_1 и наклоненная къ оси X подъ этими углами. Изъ сказаннаго видно, что при постоянномъ возбужденіи перваго альтернатора уголъ разности фазъ его электродвижущей силы и тока зависитъ только отъ возбужденія втораго альтернатора. Возбужденіе втораго альтернатора, при которомъ рассматриваемый уголъ равенъ нулю, называютъ нормальнымъ. Очевидно что перевозбужденіе альтернатора

работающего въ сѣти переменнаго тока какъ синхроничный двигатель, будетъ вызывать опереженіе тока относительно первичнаго напряженія и такимъ образомъ компенсировать вліяніе самоиндукціи цѣпи и включенныхъ въ нее трансформаторовъ, асинхроничныхъ двигателей и дуговыхъ лампъ. Вопросъ о выгодности въ различныхъ случаяхъ компенсаціи самоиндукціи цѣпи при помощи синхроничныхъ двигателей подробно разобранъ А. Blondel'емъ въ книжкѣ „Moteurs synchrones“ стр. 112—150; здѣсь мы его касаться не будемъ.

Чтобы построить линіи равныхъ угловъ разности фазъ тока и электродвижущей силы второго альтернатора E_2 , замѣтимъ, что если $\angle (E_2, J) = \text{Const}$, то должно быть такъ-же $\angle O E_1 E_2 = \text{Const}$. Слѣдовательно искомыя геометрическія мѣста будутъ круги, проходящіе черезъ точки O, E_1, E_2 . Кругъ угла $(E_2, J) = 0$ будетъ очевидно соотвѣтствовать $\angle O E_2 E_1 = \pi - \gamma_m$, и слѣдовательно будетъ касательнымъ къ прямымъ NO и NE_1 . Кругъ угла $(E_1, J) = \frac{\pi}{2}$ будетъ совпадать съ кругомъ мощности $W_2 = 0$.

Дальнѣйшій разборъ случая передачи энергіи при помощи двухъ альтернаторовъ, т. е. случая $r_0 = \infty$ не входитъ въ программу настоящей статьи*). Здѣсь укажемъ еще только на одно упрощеніе діаграммъ Blondel'я. Будемъ считать величину E_1 напряженіемъ на клеммахъ второго альтернатора, предполагая какъ и прежде $E_1 = \text{Const}$. Это предположеніе равносильно предположенію, что омическое сопротивленіе и реакція самоиндукціи перваго альтернатора такъ малы, что измѣненіемъ напряженія на клеммахъ вслѣдствіе измѣненія нагрузки можемъ пренебречь, другими словами что $r_1 = s_1 = 0$. Тогда вся діаграмма фиг. 4 можетъ быть безъ измѣненія примѣнена къ случаю одного альтернатора, работающего въ сѣти постояннаго напряженія, безразлично какъ моторъ или какъ генераторъ.

Примѣчаніе. Формулы (24—26) примѣняются къ этому случаю если замѣнилъ въ нихъ величины въ скобкахъ величиною r_2 , а формула (28) приметъ видъ

$$W_{2 \min} = -\frac{E_1^2}{4 r_2}$$

*) Подробно объ этомъ А. Blondel loco cit.

Въ этомъ предѣльномъ случаѣ точка E_2 совпадетъ съ N , и длина вектора потеряннаго напряженія будетъ

$$\frac{E_1}{2 \cos \gamma^m} = \frac{E_1 \sqrt{r_2^2 + s_2^2}}{2 r_2}$$

соотвѣтствующая сила тока

$$J = \frac{E_1}{2 r_2},$$

и коэффициентъ полезнаго дѣйствія при наибольшей мощности альтернатора, работающаго какъ двигатель, есть

$$\eta = \frac{\frac{E_1^2}{4 r_2}}{\frac{E_1^2}{4 r_2} + \frac{E_1}{2 r_2} \cdot \frac{E_1 \sqrt{r_1^2 + s_1^2}}{2 r_2} \cos \gamma^m} = 0,5$$

Полученныя уравненія показываютъ, что къ синхроннымъ двигателямъ примѣнимъ законъ наибольшей мощности (законъ Якоби для двигателей постояннаго тока) въ слѣдующей формѣ: мощность мотора будетъ при данномъ напряженіи на клеммахъ наибольшею, когда при синхронизмѣ поле его возбуждено такъ, что токъ проходящій черезъ обмотку якоря достигаетъ половины той величины, какую онъ имѣлъ бы при полномъ отсутствіи возбужденія или при неподвижномъ якорѣ. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія въ этомъ случаѣ $\eta = 50\%$.

Въ разсматриваемомъ случаѣ ($r_1 = s_1 = 0$) W_1 , будетъ мощность измѣренная на клеммахъ альтернатора, а W_2 , пренебрегая потерями на треніе и гистерезисъ, электрическая мощность равная механической, доставляемой альтернатору, когда онъ работаетъ какъ генераторъ, или развиваемой имъ, когда онъ работаетъ какъ синхронный двигатель.

Görges*) при построеніи діаграммы параллельной работы машинъ переменнаго тока, пользуется указаннымъ упрощеніемъ построения, при чемъ за линіи мощностей альтернаторовъ принимаетъ

не линіи W_2 а линіи W_1 , что равносильно отбрасыванію какъ сравнительно малой величины омической потери энергии.

Если кромѣ того допустимъ, что омическія потери напряженія въ якоряхъ машинъ настолько малы, что ими можно пренебречь по сравненію съ величинами напряженій, теряемыхъ вслѣдствіе реакцій самоиндукціи, другими словами, если допустимъ $\frac{r_2}{s_2} = 0$, круги и прямыя мощности (ур. 26) обратятся въ прямыя параллельныя оси X —въ, т. е. вектору напряженія на клеммахъ E_1 . Диаграмма параллельной работы альтернаторовъ при этихъ предположеніяхъ крайне упрощается и принимаетъ видъ, которымъ пользуется С. Гефтеръ въ своемъ мемуарѣ**). Такое допущеніе положено также въ основаніе теоріи параллельной работы альтернаторовъ Карр'а***).

8. Названныя авторы: Görges, Carr, Hefter и нѣкоторые другіе въ своихъ разсужденіяхъ предполагаютъ постоянство напряженія на клеммахъ. Диаграммы, основанныя на этомъ предположеніи, имѣютъ то преимущество, что при помощи ихъ можно представить работу сколь угодно большого числа соединенныхъ параллельно альтернаторовъ тогда какъ безъ этого допущенія формулами, представляющими работу болѣе чѣмъ двухъ альтернаторовъ, невозможно пользоваться по ихъ сложности. Однако постоянства напряженія на клеммахъ при измѣненіи нагрузки можно достигнуть только соответственнымъ измѣненіемъ возбужденія динамомашинъ, и если мы разсматриваемъ настолько короткій промежутокъ времени, за который мы не можемъ измѣнить возбужденія, и слѣдовательно векторы электродвижущихъ силъ остаются постоянными по величинѣ, а мѣняется только уголъ между ними (что будетъ имѣть мѣсто въ теоріи колебаній параллельно включенныхъ альтернаторовъ), то правильнѣе, какъ мы это и дѣлали, считать векторы E_1 и E_2 за независимыя переменныя а векторъ E_0 ихъ функціей.

Аналитически, если даны проекціи векторовъ E_1 и E_2 на двѣ взаимно перпендикулярныя оси, проекціи вектора E на тѣже оси найдутся изъ уравненій (13). Если пожелаемъ рѣшить задачу гра-

*) Görges, E. T. Z. 1900. 188 и 1902. 1054.

***) S. Hefter. Bulletin 5—6—7 de 1901 de l'Ass des Ing. élect. sortis de l'Inst. élect. Montefiore. Есть русскій переводъ самаго автора.

***) Carr. Dynamomasch. f. G. u. W. 3 изд. стр. 373 и далѣе.

фически, то, чтобы построить векторъ E_0 на эпюрѣ подобной фиг. 3, поступимъ слѣдующимъ образомъ.

Пусть на фиг. 5 даны векторы $OE_1 = E_1$ и $OE_2 = E_2$ электродвижущихъ силъ альтернаторовъ. Построивъ, какъ было указано, треугольникъ ONO_1 , опишемъ изъ точки N , какъ изъ центра, кругъ проходящій черезъ точку E_2 (кругъ мощности W_2) и черезъ ту же точку E_2 прямую E_2F перпендикулярную къ прямой NO_1 (прямую мощности W_1). Тогда на основаніи уравненій (18) и (21) будемъ имѣть:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= \frac{E_1}{\Delta} (A_1 \cdot E_1 - D \cdot OF) \\ W_2 &= \frac{A_2}{\Delta} NE_2 - \frac{(r_0^2 + s_0^2)}{4A_2} E_1^2 \end{aligned} \right\} 29$$

гдѣ отрѣзки OF и NE_2 измѣрены масштабомъ напряженій.

Далѣе мы можемъ разсматривать каждый изъ альтернаторовъ включенный въ сѣть съ напряженіемъ E_0 , какъ систему передачи энергіи при помощи двухъ альтернаторовъ, съ общимъ сопротивленіемъ и реакціей самоиндукціи соотвѣтственно r_1 и s_1 или r_2 и s_2 . Электродвижущая сила одного альтернатора будетъ соотвѣтственно E_1 или E_2 , другого (фиктивного) — E_0 .

Если будемъ принимать за ось X —въ соотвѣтственно направленія векторовъ E_1 и E_2 , то уравненія прямыхъ мощностей дѣйствующихъ альтернаторовъ будутъ

$$W_1 = \frac{r_1}{r_1^2 + s_1^2} E_1^2 - \frac{r_1 E_1}{r_1^2 + s_1^2} e_0 - \frac{s_1 E_1}{r_1^2 + s_1^2} e_0' \quad (a)$$

$$W_2 = \frac{r_2}{r_2^2 + s_2^2} E_2^2 - \frac{r_2 E_2}{r_2^2 + s_2^2} e_0 - \frac{s_2 E_2}{r_2^2 + s_2^2} e_0' \quad (b)$$

Величины W_1 и W_2 беремъ изъ уравненій (29). Пересѣченіе прямыхъ, выраженныхъ послѣдними уравненіями, дастъ точку E_0 , опредѣляющую по величинѣ и направленію векторъ $E_0 = OE_0$.

На діаграммѣ прямую (a) построимъ, замѣтивъ, что она перпендикулярна прямой пересѣкающейся съ прямой OE_1 въ точкѣ E_1 подъ угломъ α_1 , котораго $\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{s_1}{r_1}$, и проходитъ черезъ точку Q_1 ле-

жащую на направлениі вектора OE_2 и отстоящую отъ полюса O на разстояніи

$$OQ_1 = E_1 \frac{r_1^2 + s_1^2}{r_1 E_1} W_1.$$

Если бы точка Q_1 вышла изъ предѣловъ чертежа, пришлось бы воспользоваться точкой P_1 , лежащей на перпендикулярѣ къ вектору OE_1 въ разстояніи отъ полюса O

$$OP_1 = \frac{r_1}{s_1} E_1 \frac{r_1 + s_1^0}{s_1 E_1} W_1.$$

Подобнымъ же образомъ построимъ прямую выражаемую уравненіемъ (в) по углу $OP_2 E_2 = \alpha_2$, гдѣ $\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{s_2}{r_2}$ и точкѣ P_2 , лежащей на перпендикулярѣ OP_2 къ вектору OE_2 въ разстояніи отъ точки O

$$OP_2 = \frac{r_2}{s_2} E_2 \frac{r_2^2 + s_2^2}{s_2 E_2} W_2.$$

Уравненіе геометрическаго мѣста конца E_0 вектора E_0 , на которомъ онъ будетъ оставаться, если при постоянномъ возбужденіи альтернаторовъ будетъ мѣняться уголъ разности фазъ ихъ электродвижущихъ силъ, найдемъ изъ уравненій (13). Полагая въ нихъ

$$e_1 = E_1, e_1' = 0, e_2 = E_2 \cos \gamma, e_2' = E_2 \sin \gamma$$

и исключая переменную γ , найдемъ, принимая во вниманіе уравненія (12), искомое уравненіе

$$\left. \begin{aligned} e_0^2 + e_0'^2 &= \frac{2K_1 E_1}{\Delta} e_0 - \frac{2L_1 E_1}{\Delta} e_0' + \\ + \frac{(r_0^2 + s_0^2)}{\Delta} \{ (r_2^2 + s_2^2) E_1^2 - (r_1^2 + s_1^2) E_2^2 \} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Это уравненіе круга, координаты центра N_1 котораго

$$\xi = \frac{K_1}{\Delta} E_1, \eta = \frac{L_1}{\Delta} E_1$$

а радіусъ

$$R = E_2 \sqrt{\frac{(r_0^2 + s_0^2)(r_1^2 + s_1^2)}{\Delta}}$$

Если предварительно построимъ кругъ (30) для данныхъ $E_1, E_2, r_1, r_2, s_1, s_2, r_0, s_0$, то для опредѣленія точки E_0 достаточно будетъ построить одну линію мощности, на примѣръ $P_1 Q_2$, соответствующую мощности W_2 .

На фиг. 5 показано построение искомага геометрическаго мѣста для случая

$$E_1 = E_2 = 2500 \text{ вольтъ}$$

$$r_1 = r_2 = 1, s_1 = s_2 = 10, r_0 = 16, s_0 = 12,$$

При измѣненіи угла γ точка E_0 скользитъ по кругу $O E_0 E_0'$. Точка E_0 соответствуетъ углу γ на чертежѣ, точка E_0' — углу $\gamma = 0$. Точки E_0'' и E_0''' соответствуютъ двумъ границамъ устойчивости. Отрѣзокъ $e E_0'$ есть разница между наибольшимъ и наименьшимъ значеніемъ напряженія на клеммахъ.

На діаграммѣ кругъ $O E_0 E_0'$ проходитъ черезъ начало координатъ. Это происходитъ вслѣдствіе предположенія что оба альтернатора тождественны. При этомъ предположеніи постоянный членъ уравненія (30) исчезаетъ.

Найдемъ теперь, при какомъ углѣ разности фазъ электродвижущихъ силъ обоихъ альтернаторовъ, при заданномъ возбужденіи магнитовъ поля, напряженіе на сборныхъ шинахъ, а слѣдовательно и сила тока во внѣшней цѣпи достигаетъ наибольшаго значенія.

Если уголъ разности фазъ γ , то искомое условіе будетъ

$$\frac{d(e_0^2 + e_0'^2)}{d\gamma} = 0 \quad (31)$$

или

$$\frac{d(i_0^2 + i_0'^2)}{d\gamma} = 0 \quad (31^{bis})$$

Уравненія (31) и (31^{bis}) даютъ тождественные результаты. Мы рассмотримъ второе, такъ какъ входящіе въ него коэффициенты проще. Выполнивъ дифференцированіе будемъ имѣть

$$i \frac{di}{d\gamma} + i' \frac{di'}{d\gamma} = 0. \quad (32)$$

Полагая какъ и вездѣ ось вещественныхъ значеній совпадающей по направленію съ векторомъ E_1 будемъ имѣть

$$\frac{de_1}{d\gamma} = \frac{de_1'}{d\gamma} = 0, \quad \frac{de_2}{d\gamma} = -e_2 \frac{de_2'}{d\gamma} = e_2,$$

и уравненіе (32) на основаніи уравненій (10) напишемъ такъ

$$(e_1 M_1 + e_2 M_2 + e_2' N_1) (e_1 N_2 - e_2' M_2) - (e_1 N_1 + e_2 N_2 - e_2' M_2) (e_2' N_2 + e_2 M_2) = 0$$

откуда

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{e_2'}{e_2} = \frac{M_1 N_2 - N_1 M_2}{M_1 M_2 + N_1 N_2}.$$

Вставляя изъ уравненій (11) значенія M_1, N_1, M_2, N_2 получимъ

$$\begin{aligned} M_1 N_2 - N_1 M_2 &= (r_1 s_2 - s_1 r_2) \triangle \\ M_1 M_2 + N_1 N_2 &= (r_1 r_2 + s_1 s_2) \triangle \end{aligned}$$

гдѣ \triangle опредѣлитель (7), и слѣдовательно искомая величина угла γ опредѣлится уравненіемъ

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{r_1 s_2 - s_1 r_2}{r_1 r_2 + s_1 s_2}.$$

Условіе при которомъ выраженіе (33) обращается въ нуль, т. е. при которомъ наибольшее напряженіе на клеммахъ получится при совпаденіи фазъ электродвижущихъ силъ обоихъ альтернаторовъ есть:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{r_1}{r_2}.$$

9. Величина напряженія на сборныхъ шинахъ вполне опредѣляетъ токъ во внѣшней цѣпи, но очевидно, при одномъ и томъ же напряженіи на сборныхъ шинахъ, т. е. при одномъ и томъ же токѣ, доставляемомъ альтернаторами во внѣшнюю цѣпь, распределеніе этого тока между обоими альтернаторами можетъ мѣняться въ зависимости отъ соотношенія векторовъ E_1 и E_2 электродвижущихъ силъ альтернаторовъ.

Всегда существуетъ равенство

$$E_1 - E_2 = J_1 Z_1 - J_2 Z_2 \quad (34)$$

гдѣ J_1 , J_2 , Z_1 , Z_2 имѣютъ прежнія значенія.

Если электродвижущія силы обѣихъ динамо машинъ равны по величинѣ и направленію, то, обозначая токи пронизывающія обмотки ихъ якорей при этомъ условіи соответственно черезъ J_{01} и J_{02} , будемъ имѣть:

$$J_{01} Z_1 = J_{02} Z_2 \quad (35)$$

Если напряжение на сборныхъ шинахъ постоянно, то очевидно

$$J_1 + J_2 = J_{01} + J_{02} = J_0$$

а это возможно только тогда, когда,

$$J_1 = J_{01} + J_s, \quad J_2 = J_{02} - J_s \quad (36)$$

гдѣ J_s нѣкоторый пока неизвѣстный векторъ. Подставляя значенія J_1 и J_2 изъ (36) въ (34) будемъ имѣть

$$E_1 - E_2 = (J_{01} + J_s) Z_1 - (J_{02} - J_s) Z_2$$

откуда на основаніи уравненія (35)

$$J_s = \frac{E_1 - E_2}{Z_1 + Z_2} \quad (37)$$

т. е. векторъ J_s представляетъ токъ, возбуждаемый въ цѣпи съ кажущимся сопротивленіемъ $Z_1 + Z_2$ электродвижущею силой $\epsilon = E_1 - E_2$. Токъ этотъ какъ векторъ можетъ быть представленъ въ видѣ комплексной величины $J_s = i_s + j i'_s$, гдѣ i_s и i'_s найдемъ приравнивая порознь мнимыя и вещественныя величины въ уравненіи (37).

$$\left. \begin{aligned} i_s &= \frac{(e_1 - e_2)(r_1 + r_2) + (e'_1 - e_1)(s_1 + s_2)}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \\ i'_s &= \frac{(e_1 - e_2)(s_1 + s_2) + (e'_1 - e_2)(r_1 + r_2)}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \end{aligned} \right\} (37 \text{ bis})$$

Изъ найденныхъ уравненій видно, что явленіе происходитъ такъ, какъ если бы въ обмоткахъ альтернаторовъ протекали токи J_{01} и J_{02} , соотвѣтствующіе равенству по величинѣ и направленію векторовъ электродвижущихъ силъ параллельно включенныхъ динамо машинъ при томъ же напряженіи на сборныхъ шипахъ, и кромѣ того въ цѣпи $a I b d II c a$ (фиг. 6) циркулируетъ токъ $J_s = i_s + j i'_s$, опредѣляемый уравненіями (37)

Нужно замѣтить, что непосредственному измѣренію въ дѣйствительности слагающая тока J_s не доступна. Непосредственно мы можемъ измѣрить только J_1 и J_2 . Векторъ J_s есть въ сущности говоря величина фиктивная, вводимая нами только для удобства представленія. Векторы J_{01} и J_{02} опредѣлятся изъ системы уравненій (6) въ предположеніи $e_1 = e_2$, $e'_1 = e'_2$.

Токъ J_s долженъ производить нѣкоторую работу. Ему будетъ соотвѣтствовать нѣкоторая мощность того и другого альтернатора. Очевидно, что если векторъ тока J_s образуетъ съ векторомъ электродвижущей силы одного альтернатора острый уголъ, то съ векторомъ электродвижущей силы другого альтернатора онъ составитъ тупой уголъ. Это значитъ: изъ двухъ альтернаторовъ, если разсматривать только токъ J_s , одинъ дѣйствуетъ какъ генераторъ (токъ J_s тормозитъ его), другой какъ синхроничный двигатель (токъ J_s развиваетъ вращающій моментъ одного направленія съ моментомъ механическаго двигателя, вращающаго якорь этого альтернатора).

Мощности альтернаторовъ, соотвѣтствующія току J_s , представятся очевидно уравненіями (26). Въ отличіе отъ полныхъ мощностей W_1 и W_2 мы будемъ обозначать изъ символами.

$$W_{s1} \text{ и } W_{s2}.$$

Одна изъ величинъ W_{s1} и W_{s2} (всегда конечно меньшая по абсолютной величинѣ) будетъ отрицательна, другая положительна, и сумма ихъ, т. е. разность абсолютныхъ значеній должна представить энергію идущую на нагрѣваніе обмотокъ обоихъ альтернаторовъ вслѣдствіе циркуляціи тока J_s . Дѣйствительно изъ уравненій (26).

$$W_{s1} + W_{s2} = W_{sr} = \frac{(r_1 + r_2) \{ (e_1 + e_2)^2 + (e'_1 - e'_2)^2 \}}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \quad (38)$$

Токъ J_s называютъ *выравнивающимъ* токомъ (Ausgleichstrom), такъ какъ благодаря ему выравнивается напряжение на клеммахъ обоихъ альтернаторовъ. Другое названіе *синхронизирующий токъ* происходитъ отъ указаннаго выше свойства этого тока, дѣйствовать тормозящимъ образомъ на опережающій альтернаторъ и ускоряющимъ на отстающій, и такимъ образомъ уменьшать уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ. Независимо отъ дѣйствія которое имѣетъ этотъ токъ, самымъ правильнымъ названіемъ будетъ *обмѣнный токъ*, такъ какъ онъ циркулируетъ только въ цѣпи двухъ альтернаторовъ, не отвѣтвляясь во внѣшнюю цѣпь.

Въ статьѣ „Ueber den Parallelbetrieb mit Wechselstrommaschinen“ E. T. Z. 1899. Benitschke, пользуясь для опредѣленія синхронизирующаго тока формулой:

$$J_s = \frac{\epsilon}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}$$

гдѣ ϵ — разность электродвижущихъ силъ работающих параллельно машинъ, L и R сумма коэффициентовъ самоиндукціи и омическихъ сопротивленій обмотокъ якорей обоихъ альтернаторовъ вмѣстѣ съ соединительными проводами, и $\omega = 2\pi n$, формулой равнозначущей уравненію (37), высказываетъ положеніе что токъ этотъ безваттенъ (Wattlos) когда E_1 и E_2 находятся въ фазѣ, и отличаются только амплитудой, т. е. когда положенія полюсовъ совпадаютъ, а возбуждены машины различно.

Этотъ взглядъ повторяется многими другими авторами (напр. Niethammer) *). Какъ можно видѣть изъ формулъ (26) взглядъ этотъ справедливъ только тогда, когда можно считать омическое сопротивление машинъ безконечно малымъ сравнительно съ реакціей самоиндукціи ихъ обмотокъ. Въ самомъ дѣлѣ, положимъ для ясности что $W_{s1} > 0$, $W_{s2} < 0$. Мощность W_{s1} , соответствующая току J_s , доставляемая первымъ альтернаторомъ въ случаѣ безваттнаго тока должна вся идти на нагрѣваніе обмотокъ, а механическій эффектъ этого тока долженъ быть нулемъ, т. е. должна быть нулемъ мощность W_{s2} , увеличивающая вращательный моментъ второго альтернатора:

$$W_{s2} = 0$$

*) Handbuch d. Elektrtot. v. Heinke. B. IV. 181.

или

$$(r_1 + r_2) \{ (e_2 - e_1) + e'_2 (e'_2 - e_1) \} - (s_1 + s_2) (e_1' e_2 - e_2' e_1) = 0 \quad (39)$$

Условіе равенства фазъ электродвижущихъ силъ обоихъ альтернаторовъ выразится такъ:

$$\frac{e_1}{e_1'} = \frac{e_2}{e_2'}$$

и слѣдовательно условіе (39) приметъ видъ

$$e_2 (e_2 - e_1) + e'_2 (e'_2 - e'_1) = 0,$$

что очевидно возможно только тогда, когда не только фазы, но и амплитуды электродвижущихъ силъ совпадаютъ. Другими словами, какъ бы ни различались электродвижущія силы двухъ альтернаторовъ, всегда существуетъ кромѣ потерь на нагрѣваніе, передача энергіи отъ одного альтернатора къ другому, и случая безваттнаго тока не существуетъ. Разница между случаями неравенства угловъ фазъ и неравенства возбужденія состоитъ въ томъ, что въ первомъ случаѣ синхронизирующій токъ, какъ уже сказано, ускоряетъ движеніе одного и замедляетъ другой альтернаторъ, уменьшая уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ, а во второмъ, не измѣняя скорости вращенія, только *разрушаетъ* машину двигателя меньше возбужденнаго альтернатора, за счетъ работы машины двигателя альтернатора съ болѣе возбужденнымъ полемъ.

10. При постоянномъ возбужденіи магнитовъ поля альтернаторовъ т. е. при постоянныхъ E_1 и E_2 , величина взаимнаго синхронизирующаго дѣйствія двухъ параллельно включенныхъ машинъ переменнаго тона зависитъ исключительно отъ угла γ между векторами электродвижущихъ силъ.

Найдемъ величину угла γ , при которой синхронизирующая мощность достигаетъ наибольшей величины, ограничиваясь при этомъ болѣе важнымъ случаемъ $E_1 = E_2$. Въ этомъ случаѣ синхронизирующая мощность W_{s2} представится вторымъ уравненіемъ (26), которое, полагая въ немъ $E_1 = E_2$ и принимая за ось X направленіе вектора E_1 опережающей машины, можемъ написать въ видѣ

$$W_{s_2} = \frac{E_1^2}{(r_1 + r_2)^2 + (s_1 + s_2)^2} \left\{ (r_1 + r_2) (1 - \cos \gamma) - (s_1 + s_2) \sin \gamma \right\}$$

Откуда полагая

$$\frac{s_1 + s_2}{r_1 + r_2} = \operatorname{tg} \psi$$

получимъ для W_{s_2} выражение

$$W_{s_2} = \frac{E_1^2}{r_1 + r_2} \frac{1 - \cos \gamma + \operatorname{tg} \psi \sin \gamma}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}$$

Приравнивая нулю производную W_{s_2} по γ получимъ

$$\sin \gamma + \operatorname{tg} \psi \cos \gamma = 0,$$

или

$$\operatorname{tg} \gamma = -\operatorname{tg} \psi,$$

т. е. наибольшее синхронизирующее дѣйствіе будетъ при углѣ разности фазъ равномъ $\operatorname{arctg} \left(\frac{s_1 + s_2}{r_1 + r_2} \right)$.

Чтобы найти, при какомъ соотношеніи суммъ реакцій самоиндукціи и омическихъ сопротивленій альтернаторовъ получится наибольшее синхронизирующее дѣйствіе, т. е. при какомъ соотношеніи этихъ величинъ система будетъ наиболѣе устойчива, приравняемъ нулю производную отъ W_{s_2} по ψ . Выполнимъ дифференцирование и приравняемъ полученное выраженіе нулю, послѣ сокращеній будемъ имѣть

$$\frac{\sin \gamma}{1 - \cos \gamma} = \frac{2 \operatorname{tg} \psi}{1 - \operatorname{tg}^2 \psi}$$

или

$$\operatorname{tg} 2\psi \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = 1.$$

Какъ видно изъ полученнаго уравненія, искомая величина ψ зависитъ отъ угла разности фазъ электро-движущихъ силъ γ . Если положимъ направленія ихъ совпадающими, т. е. $\gamma = 0$, то

$$\operatorname{tg} 2\psi = \infty,$$

откуда

$$\psi = 45^\circ$$

и

$$\frac{s_1 + s_2}{r_1 + r_2} = \operatorname{tg} 45^\circ = 1,$$

что представляет ни что иное, какъ условіе наивыгоднѣйшаго соотношенія реакціи самоиндукціи и омическаго сопротивленія, какъ оно было получено Гопкинсономъ.

Штейнмецъ *) даетъ другой выводъ формулъ представляющихъ синхронизирующее взаимодействіе двухъ альтернаторовъ при параллельной работѣ, и получаетъ нѣсколько отличные результаты.

Приводимъ для сравненія его разсужденія.

Мощность первой машины, измѣренная на клеммахъ есть

$$W_{e1} = e_0 i_1 + e'_0 i'_1$$

второй

$$W_{e2} = e_0 i_2 + e'_0 i'_2.$$

Разность мощностей обѣихъ машинъ есть

$$W_{e1} - W_{e2} = e_0 (i_1 - i_2) + e'_0 (i'_1 - i'_2)$$

Синхронизирующимъ дѣйствіемъ машинъ Штейнмецъ называетъ половину производной разности $W_{e1} - W_{e2}$ по углу γ , т. е. величину

$$q = \frac{1}{2} \frac{d(W_{e1} - W_{e2})}{d\gamma};$$

это очевидно есть мощность, переносимая отъ одной машины къ другой при измѣненіи угла фазъ между электродвижущими силами обѣихъ альтернаторовъ.

Посмотримъ теперь, можетъ ли величина q служить мѣрою синхронизирующаго взаимодействія машинъ въ такой же степени, какъ полученная нами раньше величина W_{s2} .

*) С. Р. Steinmets. Theorie und Ber. der Wechselstr. Kap. XVII. Видъ формулъ у Штейнмеца нѣсколько отличный отъ формулъ получаемыхъ нами ниже, что зависитъ отъ иного выбора направленія координатныхъ осей.

W_{e1} и W_{e2} можно представить въ видѣ

$$\begin{aligned} W_{e1} &= W_{t1} + W_s \\ W_{e2} &= W_{t2} - W_s \end{aligned}$$

гдѣ W_{t1} , W_{t2} суть мощности, отдаваемые каждой машиной во внѣшнюю цѣпь, а W_s мощность, передаваемая отъ одной машины къ другой. Вычитая одно выраженіе изъ другого получимъ

$$W_{e1} - W_{e2} = W_{t1} - W_{t2} + 2W_s.$$

Величина q можетъ служить мѣрою синхронизирующаго дѣйствія только тогда, когда

$$q = \frac{1}{2} \frac{d(W_{e1} - W_{e2})}{d\gamma} = \frac{dW_s}{d\gamma},$$

а это будетъ только въ предположеніи $W_{t1} - W_{t2} = \text{Const.}$

Но предположеніе $W_{t1} - W_{t2} = \text{Const}$ равносильно предположенію постоянства напряженія на клеммахъ. Кромѣ того очевидно, что W_s опредѣленное такимъ образомъ, кромѣ мощности превращающейся въ механическую, т. е. въ собственномъ смыслѣ слова синхронизирующей мощности, заключаетъ въ себѣ такъ же мощность, теряемую на нагрѣваніе обмотки якоря отстающаго альтернатора вслѣдствіе циркуляціи обмѣннаго тока J .

Штейнмецъ подробно разбираетъ случай двухъ тождественныхъ генераторовъ при $\sqrt{e_1^2 + e_1^2} = \sqrt{e_2^2 + e_2^2}$ и въ этомъ случаѣ получаетъ максимальное значеніе для величины W_s при $\gamma = \frac{\pi}{2}$, а для величины синхронизирующаго дѣйствія при $\gamma = 0$.

На основаніи сказаннаго кажется болѣе правильнымъ при опредѣленіи синхронизирующаго взаимодействія альтернаторовъ исходить изъ уравненія (37).

III. Колебания параллельно включенных машин переменного тока.

11. До сих пор мы принимали, что оба альтернатора находятся въ установившемся движеніи, т. е. что оба они вращаются съ постоянною угловою скоростью, развиваютъ постоянныя мощности, и что возбужденія поля и углы разности фазъ ихъ электродвижущихъ силъ постоянны. Допустимъ теперь, что мощность хотя бы одной изъ машинъ двигателей, приводящихъ въ движеніе наши альтернаторы, или, въ случаѣ синхроничнаго двигателя, мощность, поглощаемая внѣшними механическими сопротивленіями, измѣнится. При этомъ будемъ предполагать, что возбужденіе обоихъ альтернаторовъ остается постояннымъ и допустимъ, что измѣненіями электродвижущихъ силъ, вслѣдствіе колебаній скорости, можно пренебречь, т. е. что

$$e_1^2 + e_1'^2 = \text{Const.}, \quad e_2^2 + e_2'^2 = \text{Const.}$$

Пусть измѣненіе мощности наступитъ со стороны второго альтернатора; мощность W_2 получитъ нѣкоторое приращеніе $\pm \delta W_2$. Обращаясь къ діаграммѣ на фиг. 3 мы видимъ, что этому измѣненію мощности будетъ соотвѣтствовать перемѣщеніе точки E_2 по дугѣ круга $E_2' E_2 E_2''$ до пересѣченія этого круга съ кругомъ мощности $W_2 + \delta W_2$ въ точкѣ E_2'' или соотвѣтственно съ кругомъ мощности $W_2 - \delta W_2$ въ точкѣ E_2' . Черезъ точки E_2' и E_2'' будутъ проходить прямая мощностей $W_1 + \delta W_1$ и $W_1 - \delta W_1$. При измѣненіи мощности одного изъ альтернаторовъ мѣняется такъ же мощность другого. При переходѣ отъ одной линіи мощности къ другой очевидно измѣнится уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ γ , получивъ приращеніе $\pm \xi$. Послѣ этого движеніе опять станетъ установившимся.

Пока оба альтернатора вращаются съ постоянной скоростью, электрическая мощность можетъ быть принята равною (пренебрегая потерями на треніе и гистерезисъ) механической мощности на валу альтернатора. Въ періодъ измѣненія угла γ до величины $\gamma \pm \xi$ этого равенства не существуетъ, такъ какъ это измѣненіе можетъ быть достигнуто только временнымъ измѣненіемъ скоростей вращенія альтернаторовъ, при чемъ часть механической энер-

гии будетъ идти на измѣненіе скорости. При этомъ можетъ встрѣтиться четыре случая: 1) альтернаторъ работаетъ какъ генераторъ, и скорость возрастаетъ (ускореніе положительно); въ этомъ случаѣ механическая энергія доставляемая двигателемъ больше электрической энергіи динамомшины; 2) альтернаторъ работаетъ какъ генераторъ съ уменьшающейся скоростью (ускореніе отрицательно); доставляемая механическая энергія меньше развиваемой генераторомъ электрической энергіи; 3) альтернаторъ работаетъ какъ двигатель съ возрастающей скоростью; электрическая энергія больше механической, развиваемой на шкивѣ; 4) альтернаторъ работаетъ какъ двигатель съ убывающей скоростью; электрическая энергія меньше механической.

Во всѣхъ перечисленныхъ случаяхъ разность между электрической и механической энергіей равна энергіи идущей на увеличеніе живой силы вращающихся частей, или отдаваемой этими вращающимися частями на валъ динамомшины при уменьшеніи ихъ живой силы вслѣдствіе уменьшенія скорости.

Если при нѣкоторомъ углѣ разности фазъ γ , соотвѣтствующему механическимъ мощностямъ W_1 , W_2 , живыя силы вращающихся частей въ силу инерціи будутъ отличаться отъ величинъ соотвѣтствующихъ установившемуся движению, они будутъ стремиться измѣнить уголъ γ . При измѣненіи этого угла очевидно должны возникнуть между арматурами обоихъ альтернаторовъ синхронизирующіе токи, энергія которыхъ будетъ направлена къ измѣненію живыхъ силъ вращающихся массъ, приближая ихъ къ значеніямъ, соотвѣтствующимъ установившемуся движению. Достигнувъ нѣкоторой наибольшей величины уголъ $\gamma + \xi$ начнетъ убывать, прійдетъ къ значенію γ , перейдетъ черезъ него въ силу инерціи, и явленіе повторится въ прежнемъ порядкѣ. Получится колебаніе около нѣкотораго средняго положенія, характеризуемаго угломъ разности фазъ электродвижущихъ силъ γ .

Если декрементъ амплитуды этого колебанія положителенъ, т. е. если амплитуда эта убываетъ со временемъ, то въ концѣ концовъ векторъ E_2 принимаетъ относительно вектора E_1 положеніе характеризуемое угломъ разности фазъ γ и движеніе становится равномернымъ. Если декрементъ отрицателенъ, амплитуда колебанія возрастаетъ безпредѣльно и синхронизирующий токъ, циркулирующій между обмотками якорей обоихъ альтернаторовъ

вслѣдствіе этихъ колебаній, достигаетъ такой величины, что дальнѣйшая работа машинъ становится невозможной (плавятся предохранители). Возможенъ еще случай, когда декрементъ есть нуль. Тогда величина угла разности фазъ электродвижущихъ силъ колеблется около средняго значенія γ съ постоянной амплитудой.

12. Пусть ξ приращеніе угла γ въ нѣкоторый моментъ t . Вообще говоря γ есть періодическая функція времени, съ числомъ періодовъ въ секунду значительно меньшимъ нормальнаго числа періодовъ электродвижущей силы альтернаторовъ. Пусть далѣе Θ_1 , Θ_2 моменты инерціи относительно оси вращенія вращающихся массъ обоихъ альтернаторовъ. Если передача механической энергіи производится ремнемъ или канатомъ, въ Θ_1 и Θ_2 входятъ только массы альтернаторовъ. Если якорь машинъ непосредственно сидитъ на валу машины двигателя, Θ_1 , Θ_2 будутъ заключать такъ же массы маховиковъ; подобнымъ же образомъ въ Θ_1 и Θ_2 будутъ входить массы приводимыя во вращательное движеніе альтернаторомъ когда онъ работаетъ какъ двигатель, если эти массы непосредственно сидятъ на его валу, какъ то имѣетъ мѣсто во вращающихся трансформаторахъ.

Пусть затѣмъ Ω_1 , Ω_2 угловыя скорости вращающихся частей альтернаторовъ въ данный моментъ t ; Ω_{01} , Ω_{02} —эти же угловыя скорости соотвѣтствующія установившемуся движенію и нормальному числу періодовъ тока въ секунду.

Обозначимъ черезъ x_1 , x_2 дроби представляющія измѣненіе угловыхъ скоростей Ω_1 , Ω_2 по сравненію со скоростями Ω_{01} , Ω_{02} при установившемся движеніи, т. е. положимъ

$$\Omega_1 = \Omega_{01} (1 + x), \quad \Omega_2 = \Omega_{02} (1 + x_2).$$

x_1 и x_2 суть какъ и ξ періодическія функціи времени. Уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ альтернаторовъ въ каждый моментъ, пока продолжаются колебанія, есть $\gamma + \xi$.

Если ω_1 , ω_2 будутъ угловыя скорости альтернаторовъ, отнесенныя къ двухполюсному полю въ каждый моментъ, ω_{10} , ω_{20} —тѣ же величины при установившемся движеніи, n_1 , n_2 , n_{01} , n_{02} —соотвѣтвенныя числа оборотовъ якоря въ минуту, p_1 , p_2 числа паръ полюсовъ полей альтернатора, то

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1 p_1}{60} = \Omega_1 p_1, \quad \omega_2 = \frac{2\pi n_2 p_2}{60} = \Omega_2 p_2, \quad (40)$$

$$\omega_{01} = \frac{2\pi n_{01} p_1}{60}, \quad \omega_{02} = \frac{2\pi n_{02} p_2}{60}$$

Очевидно, что въ силу равенства чисель періодовъ электро-
движущихъ силъ при установившемся движеніи $\omega_{01} = \omega_{02} = \omega$, гдѣ

$$\omega = 2\pi \infty.$$

Изъ соотношенія (40) видно, что угловыя скорости ω_1, ω_2 можно
представить въ видѣ

$$\omega_1 = \omega (1 + x_1), \quad \omega_2 = \omega (1 + x_2).$$

Угловыя скорости изображаемыя нами символомъ ω съ раз-
личными индексами, суть угловыя скорости, съ которыми вращается
лучъ въ часовой діаграммѣ, представляющей синусоидальную волну.

Если, какъ и раньше, будемъ считать за ось вещественныхъ
значеній (при символическомъ изображеніи электродвижущихъ
силъ и токовъ) направленіе вектора E_1 электродвижущей силы
альтернатора 1-го, то, какъ видно изъ сказаннаго въ § 2, элек-
тродвижущую силу альтернатора 2-го можно изобразить въ видѣ
вектора E_2 той же періодичности что и E_1 , но съ переменнымъ
аргументомъ $\gamma + \xi$, гдѣ γ есть постоянный уголъ, соответствующій
среднему положенію (установившемуся движенію), а ξ переменная
часть.

Измѣненіе аргумента $\gamma + \xi$ за элементъ времени dt есть $d\xi$ и
равно относительной угловой скорости векторовъ E_1 и E_2 помно-
женной на элементъ времени. Но относительная угловая скорость
векторовъ E_1 и E_2 очевидно равна разности соответственныхъ
угловыхъ скоростей лучей въ часовой діаграммѣ, и слѣдовательно

$$d\xi = (\omega_2 - \omega_1) dt;$$

но

$$\omega_2 - \omega_1 = \omega (1 + x_2) - \omega (1 + x_1) = \omega (x_2 - x_1),$$

откуда

$$d\xi = \omega (x_2 - x_1) dt$$

или, вводя обозначеніе

$$\varphi = \omega t, d\varphi = \omega dt,$$

$$\frac{d\xi}{d\varphi} = x_2 - x_1 \quad (41)$$

Въ каждый моментъ кинетическая энергія вращающихся частей представится въ видѣ

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= \frac{1}{2} \theta_1 g \Omega_1^2 = \frac{1}{2} \theta_1 g \Omega_{o1}^2 (1 + x_1)^2 \\ \pi_2 &= \frac{1}{2} \theta_2 g \Omega_2^2 = \frac{1}{2} \theta_2 g \Omega_{o2}^2 (1 + x_2)^2 \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

гдѣ множитель $g = 9,81$ введенъ для того, чтобы живую силу выразить въ ваттъ-секундахъ.

Какъ сказано, измѣненіе живой силы вращающихся частей машины за нѣкоторое время равно разности механической энергіи, доставленной двигателемъ за то же время, и электрической энергіи развитой альтернаторомъ. Если $W_{1\beta}$, $W_{2\beta}$ мощности динамомашинъ въ данный моментъ для угла фазъ $\gamma + \beta$, а P_1 , P_2 соответственныя механическія мощности машинъ двигателей, то

$$P_1 - W_{1\xi} = \frac{d\pi_1}{dt}, \quad (43)$$

$$P_2 - W_{2\xi} = \frac{d\pi_2}{dt}.$$

Изъ уравненія (42) принимая во вниманіе уравненія (40) имѣемъ

$$\frac{d\pi_1}{dt} = \frac{\theta_1 g}{p_1^2} \omega^2 (1 + x_1) \frac{dx_1}{dt}$$

$$\frac{d\pi_2}{dt} = \frac{\theta_2 g}{p_2^2} \omega^2 (1 + x_2) \frac{dx_2}{dt}$$

Для насъ представляютъ интересъ только тѣ случаи возмущенія движенія, при которыхъ функционированіе машинъ еще возможно, а для этихъ случаевъ x_1 и x_2 суть на столько малыя дроби,

что членами, въ которые онѣ входятъ множителями, мы можемъ пренебречь безъ большой погрѣшности, и принимая во вниманіе, что

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{dx_1}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{dx_1}{d\varphi} \omega, \quad \frac{dx_2}{dt} = \frac{dx_2}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{dx_2}{d\varphi} \omega$$

можемъ написать

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\pi_1}{dt} &= \frac{\Theta_1 g}{p_1^2} \omega^3 \frac{dx_1}{d\varphi} \\ \frac{d\pi_2}{dt} &= \frac{\Theta_2 g}{p_2^2} \omega^3 \frac{dx_2}{d\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

Эти выраженія мы должны подставить въ уравненія (43). Мощность машины двигателя вообще можетъ быть представлена въ видѣ

$$P = P_0 + f(\varphi),$$

гдѣ P_0 средняя мощность машины за полный оборотъ, а $f(\varphi)$ нѣкоторая періодическая функція угла поворота кривошипа, а слѣдовательно и угла $\varphi = \omega t$.

Разложимъ далѣе $W_{1\xi}$ и $W_{2\xi}$ по стокѣ Тейлора, и по малости ξ отбросимъ члены второй и высшихъ степеней; получимъ:

$$\left. \begin{aligned} W_{1\xi} &= W_1 + \frac{dW_1}{d\gamma} \xi \\ W_{2\xi} &= W_2 + \frac{dW_2}{d\gamma} \xi \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

Очевидно здѣсь

$$W_1 = P_{01}, \quad W_2 = P_{02}.$$

13. Разсмотримъ сначала случай, когда

$$f(\varphi) = 0;$$

Это имѣетъ мѣсто когда генераторъ переменнаго тока приводится въ движеніе турбинной, паровой или водяной, или когда синхроничный двигатель непосредственно приводитъ въ движеніе центробѣжный насосъ.

Послѣ подстановки выражений (44) и (45) въ (43) получимъ

$$\omega^3 \frac{dx_1}{d\varphi} + \frac{p_1^2}{\Theta_1 g} \frac{dW_1}{d\gamma} \xi = 0,$$

$$\omega^3 \frac{dx_2}{d\varphi} + \frac{p_2^2}{\Theta_2 g} \frac{dW_2}{d\gamma} \xi = 0.$$

Вычитая первое изъ этихъ уравненій изъ второго будемъ имѣть

$$\omega^3 \frac{d}{d\varphi} (x_2 - x_1) + \left(-\frac{p_1^2}{\Theta_1 g} \frac{dW_1}{d\gamma} + \frac{p_2^2}{\Theta_2 g} \frac{dW_2}{d\gamma} \right) \xi = 0 \quad (46)$$

Такъ какъ

$$\frac{d\xi}{d\varphi} = x_2 - x_1,$$

то

$$\frac{d}{d\varphi} (x_2 - x_1) = \frac{d^2 \xi}{d\varphi^2} \quad (47)$$

Дифференцируя уравненія (18) по γ найдемъ

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW_1}{d\gamma} &= \frac{E_1 E_2}{\Delta} (C \sin \gamma - D \cos \gamma) \\ \frac{dW_2}{d\gamma} &= \frac{E_1 E_2}{\Delta} (C \sin \gamma + D \cos \gamma). \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

Подставляя значенія $\frac{d}{d\varphi} (x_2 - x_1)$, $\frac{dW_1}{d\gamma}$, $\frac{dW_2}{d\gamma}$ изъ (47), (48) въ (46) имѣемъ

$$\frac{E_1 E_2}{\omega^3 \Delta g} \left\{ C \left(\frac{p_2^2}{\Theta_2} - \frac{p_1^2}{\Theta_1} \right) \sin \gamma + D \left(\frac{p_1^2}{\Theta_1} + \frac{p_2^2}{\Theta_2} \right) \cos \gamma \right\} \xi + \frac{d^2 \xi}{d\varphi^2} = 0 \quad (49)$$

или, обозначая

$$\frac{E_1 E_2}{\omega^3 \Delta g} \left\{ C \left(\frac{p_1^2}{\Theta_2} - \frac{p_1^2}{\Theta_1} \right) \sin \gamma + D \left(\frac{p_1^2}{\Theta_1} + \frac{p_2^2}{\Theta_2} \right) \cos \gamma \right\} = k,$$

$$k \xi + \frac{d^2 \xi}{d\varphi^2} = 0 \quad (49_{\text{bis}})$$

При интегрировании этого уравнения возможны три случая:

- 1) $k > 0$
- 2) $k < 0$
- 3) $k = 0$

1-й случай. Интеграл уравнения будетъ

$$\xi = A_1 \text{Cos} \sqrt{k} \varphi + A_2 \text{Sin} \sqrt{k} \varphi$$

Въ начальный моментъ будетъ $\varphi = 0$, $\xi = 0$, а потому

$$A_1 = 0$$

и

$$\xi = A_2 \text{Sin} \sqrt{k} \varphi$$

Дифференцируя это по t получимъ

$$\frac{d\xi}{dt} = \omega k A_2 \text{Cos} \sqrt{k} \varphi$$

Въ начальный моментъ $\left(\frac{d\xi}{dt}\right)_0 = v_0$ представить начальную относительную угловую скорость векторовъ электродвижущихъ силъ на диаграммѣ, отсюда

$$A_2 = \frac{v_0}{\sqrt{k\omega}},$$

и

$$\xi = \frac{v_0}{\sqrt{k\omega}} \text{Sin} \sqrt{k\omega} t.$$

Въ разсматриваемомъ случаѣ наша система двухъ альтернаторовъ будетъ находиться въ устойчивомъ равновѣсїи, и подъ дѣйствїемъ толчка извне будетъ совершать колебанїя около положенїя равновѣсїя съ амплитудой $\frac{v_0}{\omega k}$ и съ періодомъ

$$T = \frac{1}{\infty \sqrt{k}},$$

гдѣ ∞ нормальное число періодовъ тока при установившемся движенїи.

2-й случай. Интегралъ уравненія будетъ

$$\xi = A_1 e^{\sqrt{-k}\varphi} + A_2 e^{-\sqrt{-k}\varphi}$$

Такъ какъ при $\varphi = 0$, $\xi = 0$, то

$$A_1 = -A_2$$

и

$$\xi = A_1 (e^{\sqrt{-k}\varphi} - e^{-\sqrt{-k}\varphi}).$$

Разсуждая какъ въ предыдущемъ случаѣ, найдемъ

$$A_1 = \frac{V_0}{2\omega\sqrt{-k}}$$

и окончательно

$$\xi = \frac{V_0}{2\omega\sqrt{-k}} (e^{\sqrt{-k}\varphi} - e^{-\sqrt{-k}\varphi})$$

Отрицательный членъ выраженія въ скобкахъ со временемъ стремится къ нулю, положительный безпредѣльно возрастаетъ.

Это значитъ, что при $k < 0$ система находится въ неустойчивомъ равновѣсїи и при самомъ маломъ возмущенїи уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ растетъ, и совмѣстная работа становится невозможной.

3-й случай. Интегралъ уравненія есть

$$\xi = A_1 \varphi + A_2$$

Разсуждая какъ въ предыдущемъ случаѣ, находимъ

$$A_1 = \frac{V_0}{\omega}, A_2 = 0$$

и

$$\xi = \frac{V_0}{\omega} \varphi$$

Равновѣсїе неустойчиво и совмѣстная работа альтернаторовъ невозможна на тѣхъ же основанїяхъ, какъ и въ случаѣ 2-мъ.

Изъ сказаннаго видно, что для возможности параллельной работы двухъ альтернаторовъ (въ предположеніи $P_1 = \text{Const.}$ $P_2 = \text{Const.}$), необходимо условие $k > 0$, или такъ какъ величина $\frac{E_1 E_2}{g \Delta \omega}$ существенно положительна, необходимо должно быть

$$D \left(\frac{p_1^2}{\theta_1} + \frac{p_2^2}{\theta_2} \right) \cos \gamma + C \left(\frac{p_2^2}{\theta_2} - \frac{p_1^2}{\theta_1} \right) \sin \gamma > 0 \quad (50)$$

14. Разсмотримъ теперь вопросъ о колебаніяхъ двухъ работающих параллельно альтернаторовъ, предполагая что функція $f(\varphi)$ не есть нуль, и что альтернаторы обладают приспособленіями для успокоенія колебаній. Въ этомъ предположеніи изъ уравненій (43) получимъ

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW_1}{d\gamma} \xi + \frac{d\pi_1}{dt} + F_1 &= f_1(\varphi) \\ \frac{dW_1}{d\gamma} \xi + \frac{d\pi_2}{bt} + F_2 &= f_2(\varphi) \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

Гдѣ F_1 F_2 суть мощности, идущія на успокоеніе колебаній.

Для рѣшенія вопроса намъ нужно опредѣлить видъ функцій F_1 , F_2 , $f_1(\varphi)$ и $f_2(\varphi)$.

Мощности F_1 и F_2 зависятъ отъ токовъ Фуко, развивающихся въ полюсныхъ наконечникахъ, или въ спеціально для этого устроенныхъ системахъ проводниковъ (какъ, на примѣръ, въ системѣ Leblanc'a).

При опредѣленіи этихъ величинъ мы можемъ смотрѣть на альтернаторъ, какъ на асинхроничный двигатель. Роль первичной обмотки играетъ обмотка якоря альтернатора, роль вторичной обмотки—массивные полюсные наконечники или стержни системы Leblanc'a. При постоянной скорости вращения число линий поля якоря, пронизывающихъ любой контуръ на полюсныхъ наконечникахъ, постоянно, и мы можемъ представить себѣ магнитную систему, какъ бы вращающуюся синхронично съ полемъ якоря. При измѣненіи скорости вращения альтернатора это воображаемое относительное движеніе магнитной системы относительно поля якоря измѣнится и перестанетъ быть синхроничнымъ, магнитный

потокъ пронизывающій какой либо контуръ на полюсныхъ наконечникахъ перестанетъ быть постояннымъ; измѣненіе этого потока очевидно будетъ пропорціонально измѣненію скорости вращения, и возбудитъ въ полюсахъ магнитовъ или стержняхъ системы Leblanc'a токи, подобные токамъ, развивающимся въ обмоткѣ ротора асинхроничнаго двигателя. Роль скольженія здѣсь будетъ играть измѣненіе скорости вращения якоря въ доляхъ средней скорости.

Мощность асинхроничнаго двигателя выражается формулой *):

$$P = \zeta^2 \frac{p' Q_2}{32 \rho l_2} \Phi^2 (\omega_1 - \omega) \omega$$

гдѣ ζ —дробь близкая къ единицѣ, зависящая отъ характера обмотки ротора, въ данномъ случаѣ отъ типа полюсныхъ наконечниковъ или успокаивающаго приспособленія, p —число полюсовъ индуктора, Q_2 —сѣченіе стержней вторичной обмотки, l_2 —средняя длина одного стержня, ρ —удѣльная проводимость матеріала вторичной обмотки, Φ —результурующій магнитный потокъ, въ данномъ случаѣ полный магнитный потокъ, производимый полемъ якоря, ω —синхроничная, ω_1 —дѣйствительная скорость вращения ротора. Полагая

$$\zeta^2 \frac{p^2 Q_2}{32 \rho l_2} = c^2 \text{ (постоянная)}$$

будемъ имѣть для перваго альтернатора мощность, идущую на успокоеніе колебаній

$$F_1 = c_1^2 \Phi_1^2 x_1 (1 + x_1) \omega^2,$$

или пренебрегая 2-й степенью x_1 :

$$F_1 = c_1^2 \Phi_1^2 \omega^2 x_1$$

и такъ же для втораго альтернатора

$$F_2 = c_2^2 \Phi_2^2 \omega^2 x_2$$

(52)

Величины потоковъ Φ_1 , Φ_2 можно выразить въ функціяхъ величинъ e_1 , e_1' , e_2 , e_2' , Γ_1 , Γ_2 , S_1 , S_2 , которыя мы считаемъ заданными, слѣ-

*) А. Вороновъ. Теор. и Разсч. Мног. ас. двигателей стр. 14 ур. 37.

дующимъ образомъ. Φ_1 и Φ_2 суть, какъ сказано, магнитные потоки возникающіе подъ дѣйствіемъ размагничивающихъ амперъ-оборотовъ якоря. По Карр'у*) эти амперъ-обороты

$$X_g = k q J \sin d$$

гдѣ q —число проволокъ въ каждой катушкѣ обмотки якоря, d —уголъ разности фазъ тока и электродвижущей силы, и

$$k = n \frac{0,57}{m} \sin \frac{m\pi}{2}$$

гдѣ n —число фазъ, а m —отношеніе ширины полюсовъ къ полюсному разстоянію. Отсюда, если обозначимъ черезъ R_1 , R_2 среднія магнитныя сопротивленія на пути размагничивающихъ потоковъ якорей обоихъ альтернаторовъ, потоки Φ_1 и Φ_2 будутъ

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 &= n_1 \frac{0,57}{m_1} \frac{q_1}{R_1} \sin \frac{m_1 \pi}{2} J_1 \sin d_1 \\ \Phi_2 &= n_2 \frac{0,57}{m_2} \frac{q_2}{R_2} \sin \frac{m_2 \pi}{2} J_2 \sin d_2 \end{aligned} \right\} \quad (53)$$

Выраженія $J_1 \sin d_1$, $J_2 \sin d_2$ суть проекціи векторовъ токовъ на направленія электродвижущихъ силъ. Въ принятыхъ нами обозначеніяхъ

$$\begin{aligned} J_1 \sin d_1 &= \frac{i_1 e_1' - i_1' e_1}{E_1} \\ J_2 \sin d_2 &= \frac{i_2 e_2' - i_2' e_2}{E_2} \end{aligned}$$

Вставляя сюда значенія i_1 , i_2 , i_1' , i_2' изъ уравненій (8) и принимая за вещественную ось направленіе вектора E_1 , получимъ, пренебрегая измененіями угла γ

$$\left. \begin{aligned} J_1 \sin d_1 &= \frac{E_1}{\Delta} [B_1 E_1 + (C \sin \gamma - D \cos \gamma) E_2] \\ J_2 \sin d_2 &= \frac{E_2}{\Delta} [B_2 E_2 + (C \sin \gamma + D \cos \gamma) E_1] \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

*) G. Karr. Dynam. f. Gl. & Wechs. 3 te. Aufl. § 103.

Полагая

$$c_1 \Phi_1 \omega = G_1, \quad c_2 \Phi_2 \alpha = G_2$$

окончательно будем имѣть выраженія мощностей, идущихъ на успокоеніе колебаній

$$F_1 = G_1 x_1, \quad F_2 = G_2 x_2 \quad (55)$$

Обратимся теперь къ опредѣленію вида функціи $f(\varphi)$.

Тангенціальное давление T , какъ періодическая функція угла α поворота кривошипа, можетъ быть, какъ извѣстно, представлена въ видѣ ряда

$$T = A_0 + A_1 \cos \alpha + A_2 \cos 2\alpha + A_3 \cos 3\alpha + \dots \\ + B_1 \sin \alpha + B_2 \sin 2\alpha + B_3 \sin 3\alpha + \dots$$

гдѣ

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} T \, d\alpha = T_m \text{ (среднее танг. давл.)}$$

$$A_i = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} T \cos i\alpha \, dx$$

$$B_i = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} T \sin i\alpha \, dx$$

Если Ω есть угловая скорость, то мощность будетъ

$$P = T\Omega, \\ P_0 = T_m \Omega;$$

Если p_1, p_2 числа паръ полюсовъ альтернаторовъ, то

$$\alpha_1 = \frac{\varphi}{p_2}, \quad \alpha_2 = \frac{\varphi}{p_1}$$

и на основаніи всего сказаннаго будемъ имѣть

$$\left. \begin{aligned} f_1(\varphi) &= A_{11} \cos \frac{\varphi}{p_1} + A_{12} \cos \frac{2\varphi}{p_1} + \dots \\ &+ B_{11} \sin \frac{\varphi}{p_1} + B_{12} \sin \frac{2\varphi}{p_1} + \dots \\ f_2(\varphi) &= A_{21} \cos \frac{\varphi}{p_2} + A_{22} \cos \frac{2\varphi}{p_2} + \dots \\ &+ B_{21} \sin \frac{\varphi}{p_2} + B_{22} \sin \frac{2\varphi}{p_2} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

Чтобы изслѣдовать интересующее насъ явленіе будемъ искать какое вліяніе окажетъ на измѣненіе величинъ x_1 , x_2 и ξ каждый членъ разложенія. Въ рядахъ (56) соединимъ каждые два члена k -го порядка

$$A_{1k} \cos \frac{k\varphi}{p_1} + B_k \sin \frac{k\varphi}{p_1} = R_{1k} \sin \left(\frac{k\varphi}{p_1} + \chi_1 \right)$$

$$A_{2k} \cos \frac{k\varphi}{p_2} + B_{2k} \sin \frac{k\varphi}{p_2} = R_{2k} \sin \left(\frac{k\varphi}{p_2} + \chi_2 \right)$$

и подставивъ эти значенія въ уравненія (51) проинтегрируемъ ихъ. Пока будемъ разсматривать только k -й членъ въ отдѣльности мы можемъ безъ вреда для общности принять

$$\chi_1 = 0, \quad \chi_2 = 0,$$

и тогда сдѣлавъ въ уравненіяхъ (51) указанную подстановку и подставивъ въ нихъ кромѣ того найденныя величины для F_1 , F_2 найдемъ

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW_1}{d\gamma} \xi + \frac{\Theta_1 g \omega^3}{p_1^2} \frac{dx_1}{d\varphi} + G_1^2 x_1 &= R_{1k} \sin \frac{k\varphi}{p_1} \\ \frac{dW_2}{d\gamma} \xi + \frac{\Theta_2 g \omega^3}{p_2^2} \frac{dx_2}{d\varphi} + G_2^2 x_2 &= R_{2k} \sin \frac{k\varphi}{p_2} \end{aligned} \right\} (57)$$

Полагая въ этихъ уравненіяхъ

$$\frac{dW_1}{d\gamma} \cdot \frac{p_1^2}{\Theta_1 g \omega^3} = b_1, \quad \frac{G_1^2 p_1^2}{\Theta_1 g \omega^3} = a_1, \quad \frac{R_{1k} p_1^2}{\Theta_1 g \omega^3} = S_{1k},$$

$$\frac{dW_2}{d\gamma} \cdot \frac{p_2^2}{\Theta_2 g \omega^3} = b_2, \quad \frac{G_2^2 p_2^2}{\Theta_2 g \omega^3} = a_2, \quad \frac{R_{2k} p_2^2}{\Theta_2 g \omega^3} = S_{2k},$$

вмѣстѣ съ уравненіемъ (41) получимъ систему трехъ линейныхъ дифференціальныхъ уравненій 1-го порядка съ тремя неизвѣстными ξ , x_1 , x_2 :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{d\varphi} + a_1 x_1 + b_1 \xi &= S_{1k} \sin \frac{k}{p_1} \varphi \\ \frac{dx_2}{d\varphi} + a_2 x_2 + b_2 \xi &= S_{2k} \sin \frac{k}{p_2} \varphi \\ \frac{d\xi}{d\varphi} + x_1 - x_2 &= 0 \end{aligned} \right\} (58)$$

Полный интеграль уравнений (58) есть сумма какого нибудь частнаго рѣшенія и полнаго интеграла уравнений безъ правой части. Полный интеграль уравнений безъ правой части есть

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= - \left(C_1 \frac{b_1}{a_1 + \lambda_1} e^{\lambda_1 \varphi} + C_2 \frac{b_1}{a_1 + \lambda_2} e^{\lambda_2 \varphi} + C_3 \frac{b_1}{a_1 + \lambda_3} e^{\lambda_3 \varphi} \right) \\ x_2 &= - \left(C_1 \frac{b_2}{a_2 + \lambda_1} e^{\lambda_1 \varphi} + C_2 \frac{b_2}{a_2 + \lambda_2} e^{\lambda_2 \varphi} + C_3 \frac{b_2}{a_2 + \lambda_3} e^{\lambda_3 \varphi} \right) \\ \xi &= C_1 e^{\lambda_1 \varphi} + C_2 e^{\lambda_2 \varphi} + C_3 e^{\lambda_3 \varphi} \end{aligned} \right\} (59)$$

гдѣ C_1 C_2 C_3 произвольныя постоянныя, а λ_1 λ_2 λ_3 корни характеристическаго уравненія:

$$\begin{vmatrix} \lambda + a_1 & 0 & b_1 \\ 0 & \lambda + a_2 & b_2 \\ 1 & -1 & \lambda \end{vmatrix} = 0$$

или

$$\lambda^3 + (a_1 + a_2)\lambda^2 + \{a_1 a_2 - (b_1 - b_2)\}\lambda + a_1 b_2 - a_2 b_1 = 0 \dots (60)$$

Частное рѣшеніе уравнений (58) будемъ искать вида

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= M_1 \sin \frac{k}{p_1} \varphi + N_1 \cos \frac{k}{p_1} \varphi + P_1 \sin \frac{k}{p_2} \varphi + Q_1 \cos \frac{k}{p_2} \varphi \\ x_2 &= M_2 \sin \frac{k}{p_1} \varphi + N_2 \cos \frac{k}{p_1} \varphi + P_2 \sin \frac{k}{p_2} \varphi + Q_2 \cos \frac{k}{p_2} \varphi \\ \xi &= M \sin \frac{k}{p_1} \varphi + N \cos \frac{k}{p_1} \varphi + P \sin \frac{k}{p_2} \varphi + Q \cos \frac{k}{p_2} \varphi \end{aligned} \right\} (61)$$

Кoeffициенты M_1 N_1 \dots P , Q найдемъ подставляя выраженія (61) въ уравненія (58) и приравнивая нулю коэффициенты при $\sin \frac{k}{p_1} \varphi$, $\cos \frac{k}{p_1} \varphi$, $\sin \frac{k}{p_2} \varphi$ и $\cos \frac{k}{p_2} \varphi$ въ полученныхъ уравненіяхъ. Получимъ для опредѣленія 12-ти искомыхъ коэффициентовъ въ функціяхъ a_1 , a_2 , b_1 , b_2 и числа k 12 уравненій.

Для насъ представляетъ интересъ только величина ξ , самое общее выраженіе для которой будетъ

$$\xi = C_1 e^{\lambda_1 \varphi} + C_2 e^{\lambda_2 \varphi} + C_3 e^{\lambda_3 \varphi} + \sum_1^k R_{1k} \sin\left(\frac{k}{T_1} \varphi + \beta_1\right) + \sum_1^k R_{2k} \sin\left(\frac{k}{p_2} \varphi + \beta_2\right) \dots (62)$$

гдѣ R_{1k} и R_{2k} постоянныя легко опредѣляемыя изъ предыдущаго, а β_1 , β_2 углы, въ которые входятъ и раньше отброшенные нами углы χ_1 и χ_2 .

Изслѣдуя выраженіе (62) мы легко можемъ рѣшить, будетъ ли движеніе устойчиво или нѣтъ.

Оно будетъ устойчиво, если ξ при всевозможныхъ возмущеніяхъ будетъ оставаться въ нѣкоторыхъ предѣлахъ и убывать со временемъ, и не устойчивымъ, если ξ будетъ со временемъ безгранично возрастать. Сумма тригонометрическихъ функцій, входящихъ въ правую часть уравненія (62) очевидно всегда будетъ колебаться въ нѣкоторыхъ предѣлахъ, и устойчивость движенія будетъ всецѣло зависѣть отъ суммы трехъ членовъ

$$C_1 e^{\lambda_1 \varphi} + C_2 e^{\lambda_2 \varphi} + C_3 e^{\lambda_3 \varphi}.$$

Если хотя одинъ изъ корней уравненія (60) λ_1 , λ_2 или λ_3 будетъ вещественный и положительный, то ξ при первомъ же даже самомъ незначительномъ возмущеніи станетъ быстро возрастать, уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ γ сразу достигнетъ предѣла устойчивости, и дальнѣйшая работа параллельно включенныхъ альтернаторовъ станетъ невозможною. Если вещественныхъ положительныхъ корней уравненіе (60) имѣть не будетъ, а вещественная часть комплексныхъ корней будетъ положительна, то произойдетъ то же самое, но только не сразу, а послѣ ряда колебаній съ возрастающей амплитудой.

Параллельная работа двухъ машинъ переменнаго тока будетъ возможна только тогда, когда или всѣ корни уравненія (60) вещественны и отрицательны, или когда одинъ изъ нихъ вещественный и отрицательный, а два другіе сопряженные комплексные съ отрицательной вещественной частью.

Изъ теоріи алгебраическихъ уравненій извѣстно, что кубическое уравненіе

$$x^3 + px^2 + qx + r = 0$$

не имѣеть корней съ положительными вещественными частями если

$$pq > r.$$

Для нашего случая это условіе прійметъ видъ

$$(a_1 + a_2) \{ a_1 a_2 - (b_1 - b_2) \} > a_1 b_2 - b_1 a_2$$

или по сокращеніи

$$a_1 a_2 (a_1 + a_2) > a_1 b_1 - a_2 b_2 \dots \quad (63)$$

это и есть условіе устойчивости движенія двухъ параллельно включенныхъ альтернаторовъ. Несимметричность полученной формулы зависитъ отъ того, что за начало отсчета угловъ γ мы приняли направленіе вектора одной изъ электродвижущихъ силъ (въ нашемъ случаѣ альтернатора 1-го). Если бы за это начало мы приняли какое нибудь другое направленіе, неподвижное въ пространствѣ, формулы получились бы симметричныя, но гораздо сложнѣе.

15. Особый интересъ представляетъ частный случай двухъ тождественныхъ альтернаторовъ, приводимыхъ въ движеніе тождественными двигателями въ предположеніи

$$E_1 = E_2, \quad \gamma = 0.$$

Случай этотъ интересенъ какъ наиболѣе часто встрѣчающійся въ практикѣ. Рѣшеніе можно было бы получить какъ частный случай формулы 63, но проще непосредственно исходить изъ уравненій (58), гдѣ будетъ на осн. (48)

$$a_1 = a_2 = a, \quad -b_1 = b_2 = b, \quad p_1 = p_2 = p; \quad S_{1k} = S_{2k} = S_k$$

замѣтимъ что при этомъ направленія кривошиповъ могутъ и не совпадать образуя между собою уголъ $2\psi = \frac{2k\pi}{p}$, гдѣ k цѣлое положительное число меньше p . Тогда уравненія пріймутъ видъ

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{d\varphi} + a x_1 - b \xi &= S_k \sin \frac{k}{p} \varphi \\ \frac{dx_2}{d\varphi} + a x_2 + b \xi &= S_k \sin \left(\frac{k}{p} \varphi + 2\psi \right) \end{aligned}$$

Вычитая первое уравнение изъ второго, принимая во вниманіе (47) имѣемъ

$$\frac{d^2 \xi}{d\varphi^2} + a \frac{d\xi}{d\varphi} + 2b\xi = S_k \sin \psi \cos \left(\frac{k}{p} \varphi + \psi \right) \quad (64)$$

Полный интегралъ этого уравненія равенъ суммѣ полного интеграла этого уравненія безъ правой части и частного рѣшенія уравненія (64). Интегралъ уравненія безъ правой части есть

$$C_1 e^{\lambda_1 \varphi} + C_2 e^{\lambda_2 \varphi}$$

гдѣ λ_1 λ_2 суть корни характеристическаго уравненія

$$\lambda^2 + a\lambda + 2b = 0. \quad (65)$$

Частное рѣшеніе будемъ искать вида

$$\xi' = k_1 \sin \left(\frac{k}{p} \varphi + \psi \right) + k_2 \cos \left(\frac{k}{p} \varphi + \psi \right);$$

подставляя это выраженіе въ уравненіе (64) и приравнявая нулю коэффициенты при $\sin \left(\frac{k}{p} \varphi + \psi \right)$ и $\cos \left(\frac{k}{p} \varphi + \psi \right)$ въ полученныхъ выраженіяхъ будемъ имѣть для опредѣленія k_1 и k_2 два уравненія, рѣшая которыя найдемъ

$$k_1 = \frac{a \frac{k}{p} S_k \sin \psi}{4b^2 + (a^2 - 4b) \frac{k^2}{p^2} + \frac{k^4}{p^4}},$$

$$k_2 = \frac{\left(2b - \frac{k^2}{p^2} \right) S_k \sin \psi}{4b^2 + (a^2 - 4b) \frac{k^2}{p^2} + \frac{k^4}{p^4}};$$

такъ какъ ξ' можно представить въ видѣ

$$\xi' = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} \sin \left(\frac{k}{p} \varphi + \psi + \beta \right)$$

гдѣ

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\kappa_2}{\kappa_1},$$

то полный интегралъ уравненія (64) будетъ

$$\xi = C_1 e^{\lambda_1 \varphi} + C_2 e^{\lambda_2 \varphi} + \operatorname{Sin} \psi \frac{S_k}{\sqrt{4b^2 + (a^2 - 4b) \frac{\kappa^2}{p^2} + \frac{\kappa^4}{p^4}}} \operatorname{Sin} \left(\frac{\kappa}{p} \varphi + \psi + \beta \right)$$

гдѣ

$$\lambda_1 = -\frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} - 2b}, \quad \lambda_2 = -\frac{a}{2} - \sqrt{\frac{a^2}{4} - 2b}.$$

Такъ какъ a и b всегда положительны, уравненіе (65) не будетъ никогда имѣть вещественныхъ положительныхъ корней, и движеніе всегда будетъ устойчиво.

Когда

$$\frac{a^2}{4} > 2b,$$

обѣ экспонентныя функціи уравненія (66) имѣютъ отрицательные вещественные показатели, и слѣдовательно представляютъ быстро успокоивающееся аперіодическое движеніе. Когда

$$\frac{a^2}{4} < 2b$$

т. е. когда успокоительная способность динамомашинъ не очень велика, корни λ_1 и λ_2 будутъ сопряженными комплексными величинами, и приведя въ этомъ случаѣ выраженіе (66) къ вещественному виду и принимая во вниманіе всѣ члены разложенія

діаграммы такгенціальныхъ давленій, будемъ имѣть для отклоненія ξ выраженіе

$$\xi = Q e^{-\frac{a}{2}\varphi} \operatorname{Sin}\left(\sqrt{2b - \frac{a^2}{4}} \varphi + \sigma\right) + \operatorname{Sin} \psi \sum_1^k \frac{S_k}{\sqrt{4b^2 + (a^2 - 4b) \frac{K^2}{p^2} + \frac{K^4}{p^4}}} \operatorname{Sin}\left(\frac{K}{p} \psi + b + \beta\right) \dots (67)$$

гдѣ Q и σ произвольныя постоянныя, опредѣляемыя по начальнымъ обстоятельствамъ движенія.

Суммирование членовъ, входящихъ подъ знакъ \sum въ правой части уравненій (62) и (67) нѣтъ надобности производить до безконечности, такъ какъ значеніе членовъ въ возрастающемъ порядкѣ вообще говоря довольно быстро убываетъ. На какомъ членѣ можно остановиться, покажетъ рядъ значеній коэффициентовъ S_1, S_2, \dots , которые легко найдемъ, если только дана діаграмма тангенціальныхъ давленій машинъ—двигателей, вращающихся альтернаторовъ.

Къ колебанію, представляемому этими суммами присоединяется собственное колебаніе агрегата динамомашинъ, представляемое произведеніемъ синусоидальной и показательной функций. Благо-

даря множителю вида $e^{-m\varphi}$ гдѣ $m > 0$ этотъ членъ со временемъ стремится къ нулю, и остаются только колебанія зависящія отъ неравномѣрности хода машины двигателя, періодичность которыхъ совершенно не зависитъ отъ періодичности собственныхъ колебаній альтернаторовъ.

Условіе (63) необходимо для возможности параллельной работы двухъ альтернаторовъ, но недостаточно. Нужно еще, чтобы было

$$\gamma + \xi \max. < \gamma \max. (68)$$

гдѣ γ уголъ разности фазъ электродвижущихъ силъ альтернаторовъ при установившемся движеніи, $\xi \max.$ — наибольшее отклоненіе угла между векторами электродвижущихъ силъ, которое

мы получимъ изъ уравненія (62) или (66), и γ тах. предѣльный уголъ разности фазъ, получаемый изъ діаграммы фиг. 3.

Наибольшей величины ξ тах. достигаетъ въ тѣхъ случаяхъ, когда періодичность собственнаго колебанія системы двухъ альтернаторовъ совпадаетъ съ періодичностью одной изъ преобладающихъ волнъ, получающихся вслѣдствіе пульсаціи движущей силы.

Подробно на изслѣдованіи явленія резонанса или интерференціи колебаній альтернаторовъ и движущихъ машинъ останавливаться мы не будемъ, такъ какъ вопросъ этотъ вполне выясненъ въ статьяхъ Kapp'a,¹⁾ Görges'a²⁾ и Rosenberg'a³⁾.

Слѣдуетъ только обратить вниманіе на видъ уравненія (67), именно на то, что $\sin x$ входитъ множителемъ во второй членъ правой части этого уравненія. Это значитъ, что если при тождественныхъ машинахъ, имѣющихъ одинаковое возбужденіе и включенныхъ при совпаденіи фазъ электродвижущихъ силъ, направленія кривошиповъ машинъ двигателей совпадаютъ, то членъ зависящій отъ пульсаціи движущей силы, обращается въ нуль, и слѣдовательно неравномѣрность хода машинъ — двигателей (не говоря конечно о случайныхъ толчкахъ), не будетъ имѣть никакого вліянія на измѣненіе угла γ . Отсюда видно значеніе приборовъ, дающихъ возможность убѣдиться въ моментъ включенія новой динамомшины въ совпаденіи направленій кривошиповъ машинъ, приводящихъ въ движеніе альтернаторы⁴⁾.

Заканчивая эту главу я еще разъ укажу на разницу разсужденій въ настоящей статьѣ, и въ указанныхъ статьяхъ Görges'a и Rosenberg'a.

Görges рассматриваетъ двѣ машины включенныя въ сѣть, которой напряженіе по величинѣ и фазѣ могутъ считаться постоянными. Такъ какъ при этомъ предположеніи сумма работъ доставляемыхъ въ сѣть обѣими машинами остается постоянною, то при колебаніи отклоненія обѣихъ машинъ отъ положенія равновѣсія будутъ равны по величинѣ и противоположны по знаку.

E. Rosenberg рассматриваетъ неравномѣрно вращающуюся машину въ параллельномъ соединеніи съ другой электрически тож-

¹⁾ Kapp. loco cit.

²⁾ Görges. loco cit.

³⁾ Rosenberg. E. T. Z. 1902. Стр. 425.

⁴⁾ См. Описаніе прибора П. Ковалева въ E. T. Z. 1900. 562.

дественной съ первой, одинаково возбужденной, но *равномерно вращающейся* машиной. Въ этомъ случаѣ напряженіе въ сѣти уже конечно не можетъ считаться постояннымъ, но характеръ его измѣненія будетъ предсказанъ положеннымъ въ основаніе предположеніемъ: оно будетъ испытывать колебанія равныя половинѣ колебаній вектора электродвижущей силы первой машины.

Въ предлагаемой статьѣ не дѣлается никакихъ предположеній кромѣ общихъ всѣмъ указаннымъ статьямъ предположеній синусоидальности кривыхъ возбужденія и постоянства реакціи якоря.

Примѣчаніе. Такимъ же общимъ образомъ ставитъ вопросъ въ своей статьѣ проф. Förppl¹⁾. Впрочемъ онъ рассматриваетъ не совокупность двухъ электрическихъ машинъ, а только нѣкоторую механическую аналогію, отрѣшаясь отъ электрическихъ явленій и замѣняя взаимодѣйствіе машинъ при помощи синхронизирующихъ токовъ, напряженіемъ фиктивныхъ эластическихъ связей. Вліянія неравномерности хода машинъ двигателей Förppl въ расчетъ не принимаетъ.

IV. Вліяніе не синусоидальной формы кривой электродвижущей силы на параллельную работу альтернаторовъ.

16. Можно сказать a priori, что лучше всего будутъ приспособлены для параллельной работы альтернаторы съ тождественными кривыми электродвижущихъ силъ, такъ какъ при различныхъ кривыхъ, даже при совпаденіи фазъ основныхъ волнъ, въ сѣпи альтернаторовъ будутъ возникать обмѣнные токи, соотвѣтствующіе волнамъ электродвижущихъ силъ высшихъ порядковъ. Впрочемъ на практикѣ мы можемъ встрѣтить установки, въ которыхъ альтернаторы самыхъ различныхъ конструкцій работаютъ параллельно довольно удовлетворительно. Какъ на характерный примѣръ подобной установки можно указать на центральную городскую станцію въ Цюрихѣ, гдѣ старые быстроходные альтернаторы Карр'а съ плоскимъ кольцевымъ якоремъ, приводимые въ движеніе турбинами, дающіе острую кривую электродвижущей силы, соединяются параллельно съ новыми большими тихоходными трехфазными генераторами завода Эрликонъ индукторнаго типа, приводимыми въ движеніе паровыми машинами. Эти послѣд-

¹⁾ Das Pendeln parallelgeschalteter Maschinen. E. T. Z. 1902 59.

ніе генераторы работаютъ при параллельномъ соединеніи, какъ однофазныя машины, для чего двѣ фазы соединяются послѣдовательно, при чемъ кривая электродвижущихъ силъ получается плоская.

Въ литературѣ вопросъ о вліяніи формы кривыхъ электродвижущихъ силъ на параллельную работу альтернаторовъ затронутъ довольно мало. Мнѣ извѣстна только статья А. Perot въ С. R. 1900 „Sur l'accouplement des alternateurs au point de vue des harmoniques etc“. Въ этой статьѣ авторъ рассуждаетъ слѣдующимъ образомъ.

Каковы бы нибыли формы кривыхъ электродвижущихъ силъ альтернаторовъ, на основаніи теоремы Фурье онѣ можетъ быть представлены въ видѣ

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= E_{10} \sin \omega t + E_{12} \sin (2 \omega t + \varphi_{12}) + E_{13} \sin (3 \omega t + \varphi_{13}) + \dots \\ e_2 &= E_{20} \sin \omega t + E_{22} \sin (2 \omega t + \varphi_{22}) + E_{23} \sin (3 \omega t + \varphi_{23}) + \dots \end{aligned} \right\} (69)$$

Какъ видно изъ написанныхъ рядовъ фазы основныхъ электродвижущихъ силъ предполагаются совпадающими, чего очевидно всегда можно достигнуть.

Предположимъ теперь, что основная электродвижущая сила и всѣ высшія гармоническія будутъ одинаковы въ обѣихъ машинахъ кромѣ одной порядка n , существующей только въ машинѣ первой. Въ цѣпи, образуемой обоими альтернаторами тогда будетъ дѣйствовать электродвижущая сила $E_n \sin (n \omega t + \varphi_n)$, и если, по прежнему s_1, s_2 реакціи самоиндукціи отнесенныя къ нормальному числу періодовъ, то въ рассматриваемой цѣпи будетъ циркулировать обмѣнный токъ, который, если пренебечь омическимъ сопротивленіемъ по сравненію съ реакціей самоиндукціи представится, формулой.

$$\left. \begin{aligned} i_n &= J_n \cos (n \omega t + \varphi_n) \\ J_n &= \frac{E_n}{n s_1 + n s_2} \end{aligned} \right\} \text{ гдѣ } (70)$$

Допущенное упрощеніе вноситъ тѣмъ меньшую ошибку, чѣмъ выше порядокъ волны n , такъ какъ омическое сопротивление остается постояннымъ, а реакція самоиндукціи увеличивается пропорціонально порядку волны.

Это же рассужденіе легко распространить на случай, когда въ рядахъ (69) нѣсколько волнъ одного порядка будутъ имѣть различныя амплитуды или различныя углы фазъ: въ этомъ случаѣ электродвижущая сила въ цѣпи альтернаторовъ, соотвѣтствующая волнамъ n -го порядка, будетъ разностью этихъ волнъ, арифметическою, если волны совпадаютъ по фазѣ, и геометрическою— если фазы ихъ различны.

Дальше авторъ цитируемой статьи пытается изслѣдовать вліяніе различія формъ кривыхъ электродвижущихъ силъ соединенныхъ параллельно альтернаторовъ на форму кривой напряженія на клеммахъ, однако не вполне выясняетъ этотъ вопросъ. Мы на этомъ останавливаться не будемъ, а примѣнимъ къ условіямъ практики приведенныя соображенія относительно вліянія неодинаковости формъ электродвижущихъ силъ обоихъ альтернаторовъ на возникновеніе обмѣнныхъ токовъ.

Когда включаютъ новый альтернаторъ къ параллельно работающему, его приводятъ въ фазу по фазовымъ лампамъ или по какому нибудь иному прибору того же назначенія, и доводятъ возбужденіе такой степени, чтобы электродвижущія силы обоихъ альтернаторовъ были одинаковы, о чемъ судятъ по показаніямъ вольтметра; но вольтметръ даетъ *дѣйствующія* электродвижущія силы, и на сборныхъ шинахъ должны уравниваться *дѣйствующія* напряженія, т. е. при параллельномъ включеніи альтернаторовъ должно существовать равенство.

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_1^{\infty} E_{1k} \sin(n \omega t + \varphi_{1n}) \right]^2 dt = \\ = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_1^{\infty} E_{2k} \sin(n \omega t + \varphi_{2n}) \right]^2 dt \end{aligned} \quad (70)$$

Такъ какъ амплитуды электродвижущихъ силъ всѣхъ порядковъ мѣняются въ одномъ и томъ же отношеніи при измѣненіи возбужденія поля, то каждую электродвижущую силу можно представить

$$e = E \{ \sin \omega t + \alpha_2 (\sin 2 \omega t + \varphi_2) + \dots \}$$

гдѣ E амплитуда основной волны, а $\alpha_2 \alpha_3 \dots$ правильныя дроби.

Тогда каждый изъ интеграловъ равенства (70) обратится въ

$$E^2 \int_0^T \left\{ \sum \alpha_n \sin(n \omega t + \varphi_n) \right\}^2 dt = \sigma^2 E^2$$

гдѣ σ нѣкоторое число, не зависящее отъ возбужденія, но зависящее, вслѣдствіе деформации поля при нагрузкѣ, отъ этой послѣдней. Поэтому, если на практикѣ хотимъ найти вліяніе формы кривой электродвижущей силы на обмѣнные токи въ данномъ агрегатѣ машинъ, мы должны пользоваться кривой снятой при нормальной нагрузкѣ, для чего можно пользоваться вспомогательной обмоткой, уложенной параллельно рабочей обмоткѣ.

Коефициентъ σ можно представить очень простой формулой слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \int_0^T \left(\sum \alpha_n \sin(n \omega t + \varphi_n) \right)^2 dt = \sum \alpha_n^2 \int_0^T \sin^2(n \omega t + \varphi_n) dt \\ &+ \sum \alpha_k \alpha_i \int_0^T \sin(k \omega t + \varphi_k) \sin(i \omega t + \varphi_i) dt; \end{aligned}$$

но

$$\int_0^T \sin^2(n \omega t + \varphi_n) dt = \frac{1}{\omega} \int_0^{2\pi} \sin^2(n \alpha + \varphi_i) d\alpha = \frac{\pi}{\omega}$$

$$\int_0^T \sin(k \omega t + \varphi_k) \sin(i \omega t + \varphi_i) dt = 0$$

и равенство (69) приметъ видъ по сокращеніи

$$E_1^2 \sum \alpha_n^2 = E_2^2 \sum \alpha_n^2 \dots \quad (71)$$

Съ помощью уравненія 70 зная кривыя электродвижущихъ силъ обоихъ альтернаторовъ и разложивъ ихъ на элементарныя синусоиды, мы легко вычислимъ суммы входящія въ уравненіе (71), и опредѣливъ отношеніе $\frac{E_1}{E_2}$, найдемъ всѣ электродвижущія силы дѣйствующія въ цѣпи альтернаторовъ, и обмѣнные токи по формулѣ (69), для случая когда фазы электродвижущихъ силъ совпадаютъ. Это будетъ самый благопріятный случай, и полученные такимъ

образомъ значенія обмѣнныхъ токовъ будутъ минимальныя. Въ случаѣ возмущенія движенія и возникновенія колебаній, или въ случаѣ продолжительнаго несовпаденія фазъ, значенія эти возростутъ. Число членовъ подъ знаками суммъ очень не велико, такъ какъ члены четныхъ порядковъ почти всегда исчезаютъ (исключеніе составляютъ только нѣкоторые очень мало распространенные на практикѣ типы машинъ съ полюсными якорями или съ очень широкими зубцами сердечника якоря, а такъ же новѣйшія машины индукторнаго типа), и такъ какъ высшій порядокъ практически замѣтныхъ волнъ, входящихъ въ составъ электродвижущихъ силъ, рѣдко достигаетъ 13, а въ большинствѣ случаевъ можно остановиться на 7, 5 и даже на 3.

Примѣчаніе. Въ приведенномъ выше примѣрѣ Цюрихской центральной станціи мы имѣемъ случай соединенія машинъ, дающихъ симметричную острую кривую, не имѣющую четныхъ волнъ, съ машинами индукторнаго типа, плоская несимметричная кривая электродвижущихъ силъ которыхъ содержитъ волны 2-го и 4-го порядка.

17. Пояснимъ наши разсужденія на частномъ примѣрѣ.

Примѣръ. Пусть имѣемъ два альтернатора съ одинаковымъ омическимъ сопротивленіемъ и одинаковой реакціей самоиндукціи $r = 0,6$, $s = 3,6$ (s отнесено къ нормальному числу періодовъ) и дающихъ одинъ плоскую кривую электродвижущихъ силъ (фиг. 7 а) представляемую уравненіемъ $e = E_1 [\sin \varphi + 0,225 \sin 3 \varphi + 0,05 \sin 5 \varphi]$ и другой кривую острую (фиг. 7б) представляемую уравненіемъ

$$e_2 = E_2 [\sin \varphi - 0,15 \sin 3 \varphi + 0,10 \sin 5 \varphi]$$

Уравненія кривыхъ электродвижущихъ силъ въ этомъ примѣрѣ изъ книги Штенмеца Th. и Ber d. Wechs. § 223, гдѣ они приведена какъ характерный примѣръ рѣзко выраженныхъ плоской и острой кривой.

Суммы входящія въ уравненіе (70) будутъ

$$1 + 0,225^2 + 0,05^2 = 1,0531$$

и

$$1 + 0,15^2 + 0,10^2 = 1,0325$$

откуда

$$\frac{E_1}{E_2} = \sqrt{\frac{1,0531}{1,0325}} \approx 1,02$$

Пусть далье электродвижущая сила якоря (эффективная) есть 2500 и нормальный токъ каждой машины 75 амперъ. Какъ видно изъ полученныхъ чисель мы не сдѣлаемъ большой ошибки принявъ амплитуды основныхъ волнь за

$$E_1 = \sqrt{2} \cdot 2500$$

$$E_2 = \sqrt{2} \cdot 2475$$

Тогда эффективныя силы тока, соотвѣтствующія волнамъ различныхъ порядковъ будутъ

$$J_1 = \frac{2500 - 2475}{2\sqrt{0,6^2 + 3,6^2}} \approx 3,5 \text{ амперъ}$$

$$J_3 = \frac{0,225 \cdot 2500 + 0,15 \cdot 2475}{2 \cdot 3 \cdot 3,6} = 43,3$$

$$J_5 = \frac{0,05 \cdot 2500 - 0,1 \cdot 2475}{2 \cdot 5 \cdot 3,6} = -4,8$$

Мгновенное значеніе обмѣннаго тока будетъ

$$i = \sqrt{2} \left[3,5 \sin(\omega t - 80^\circ 2' 15'') + 43,3 \sin(3\omega t - 86^\circ 49' 10'') - 4,8 \sin(5\omega t - 88^\circ 5' 25'') \right].$$

Какъ видно изъ этого выраженія углы разности фазъ токовъ высшихъ порядковъ близки къ $\frac{\pi}{2}$, и по этому эти токи мало служатъ для передачи работы отъ одного альтернатора къ другому, а только бесполезно нагрѣваютъ арматуру, при чемъ нѣкоторые члены (въ нашемъ примѣрѣ второй) могутъ получать значенія одного порядка съ рабочимъ токомъ.

Заканчивая статью, я укажу на одинъ способъ удостовѣриться въ синхронизмъ параллельно соединяемыхъ альтернаторовъ. Способъ этотъ былъ предложенъ Айртономъ еще зъ началъ 90-хъ годовъ, но на практикѣ примѣненія не нашель, хотя, какъ мнѣ кажется, имѣеть нѣкоторыя преимущества передъ употребляющимися въ настоящее время способами*).

Схема соединенія предлагаемаго Айртономъ показана на фиг. 8. A_1 , A_2 —альтернаторы, E —электроскопъ, снабженный снаружи металлической обкладкой. Эта обкладка и шарикъ электроскопа соединены съ одноименными (принимая во вниманіе направленіе вращенія и расположеніе магнитовъ) клеммами альтернаторовъ. Другія двѣ клеммы соединены между собою черезъ очень большое сопротивленіе R (достаточно полоски бумаги слегка покрытой графитомъ).

Очевидно, когда фазы электродвижущихъ силъ совпадаютъ, листочки электроскопа и его внѣшняя обкладка будутъ имѣть въ каждый моментъ одинъ и тотъ же потенціалъ.

При несовпаденіи фазъ, потенціалъ обкладки и листочковъ будетъ не одинаковъ, эти послѣднія получаютъ нѣкоторый зарядъ и разойдутся.

Подобный приборъ, особенно для машинъ высокаго напряженія гораздо чувствительнѣе фазовыхъ лампъ.

Мной были сдѣланы на Томской электрической станціи при любезномъ содѣйствіи завѣдующаго станціей И. П. Бѣлозерова опыты примѣненія описаннаго способа. Напряжение на сборныхъ шинахъ станціи 2000 вольтъ. Напряжение фазовыхъ лампъ—100 вольтъ.

При 30 вольтахъ напряженія на клеммахъ лампочки уже не горять, и слѣдовательно дѣйствующая разность электродвижущихъ силъ обоихъ альтернаторовъ въ моментъ включенія можетъ достигать величины 600 вольтъ.

При опытахъ электроскопомъ этотъ послѣдній давалъ еще замѣтное отклоненіе листочковъ при разности потенціаловъ въ 100 volt, и слѣдовательно точность совпаденія фазъ была въ 6 разъ больше, чѣмъ при обыкновенномъ способѣ включенія съ фазовыми

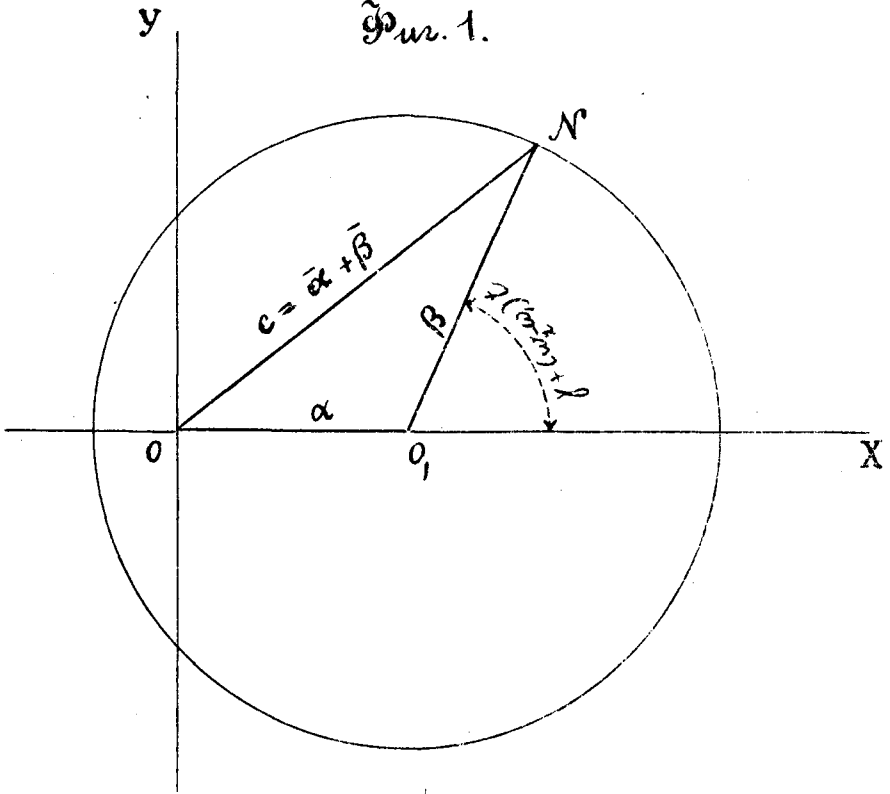
¹⁾ Описание современныхъ указывающихъ на синхронизмъ приборовъ см. въ статьѣ W. Ritter'a E. T. Z. 1900. 7.

лампами. Способъ этотъ нуждается въ конструктивномъ усовершенствованіи, такъ какъ употреблявшійся обыкновенный электроскопъ съ алюминиевыми листочками оказался слишкомъ нѣжнымъ. Листочки скоро сломались

Нужно однако сказать, что употребленіе электроскопа для указанныхъ цѣлей возможно только при тождественныхъ кривыхъ электродвижущихъ силъ. Изъ сказаннаго въ §§ 16 и 17 видно, что при различныхъ кривыхъ равенства потенциаловъ обкладки и листочковъ не будетъ даже и при совпаденіи фазъ основныхъ волнъ.

А. Потеня.

Фиг. 1.



Фиг. 2.

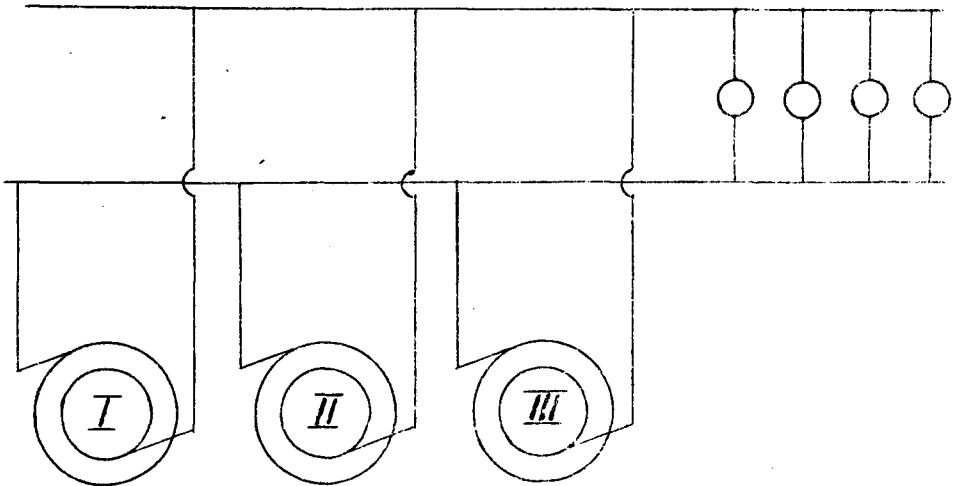


Fig. 3.

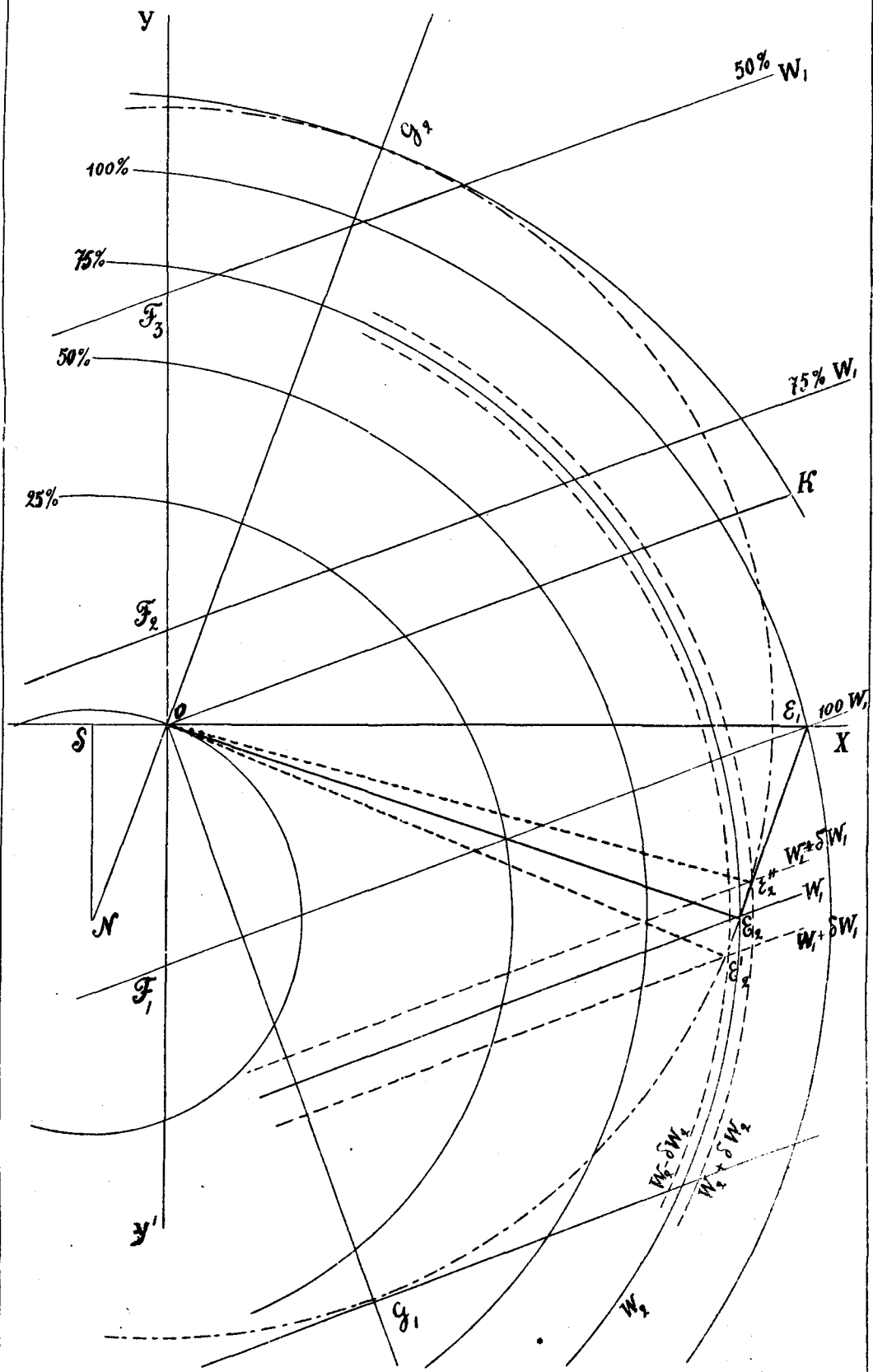
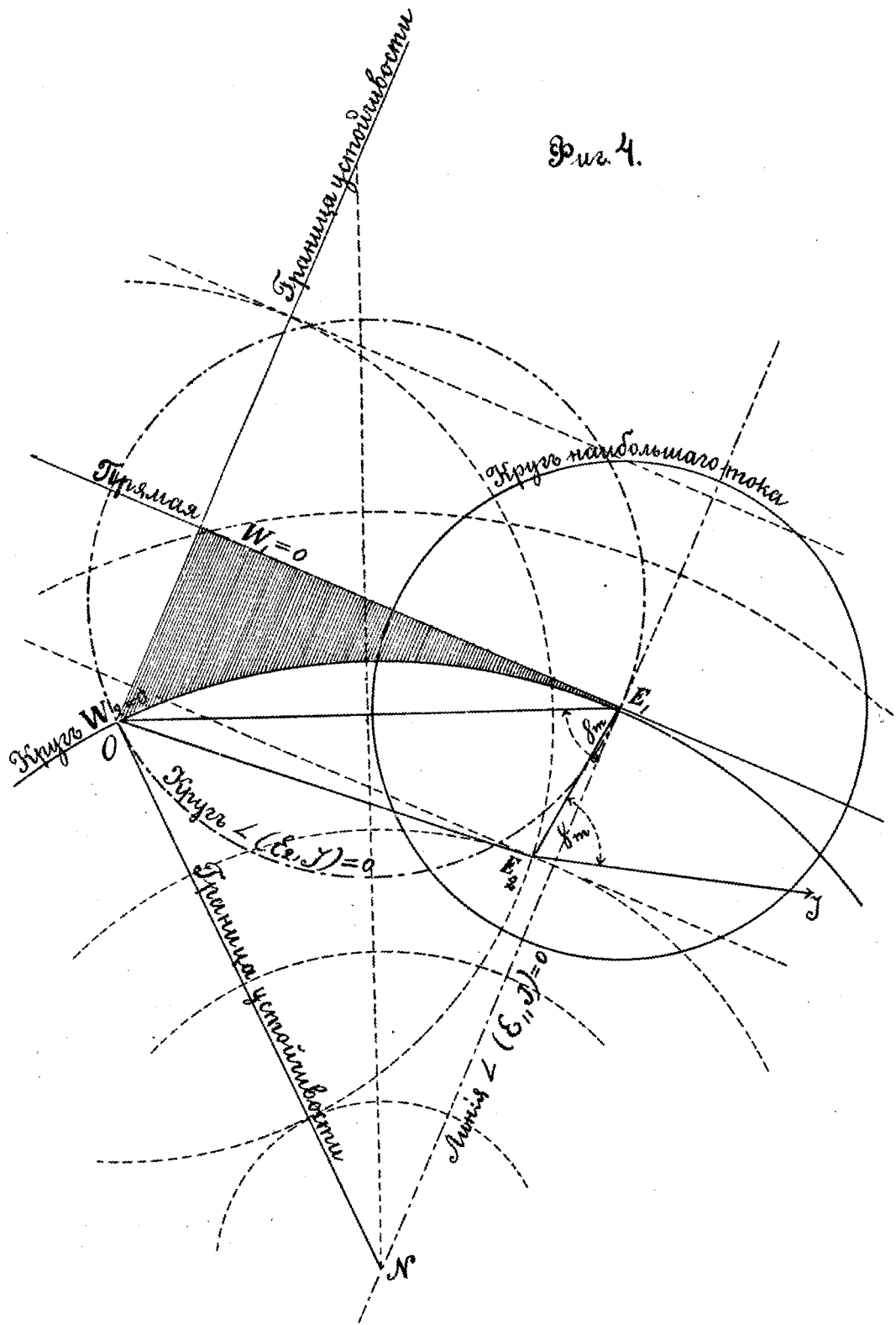
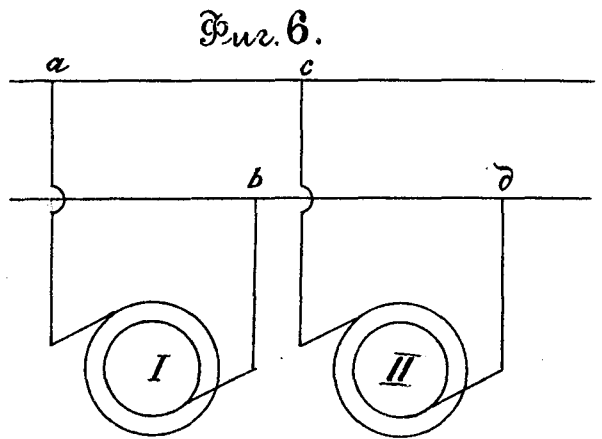
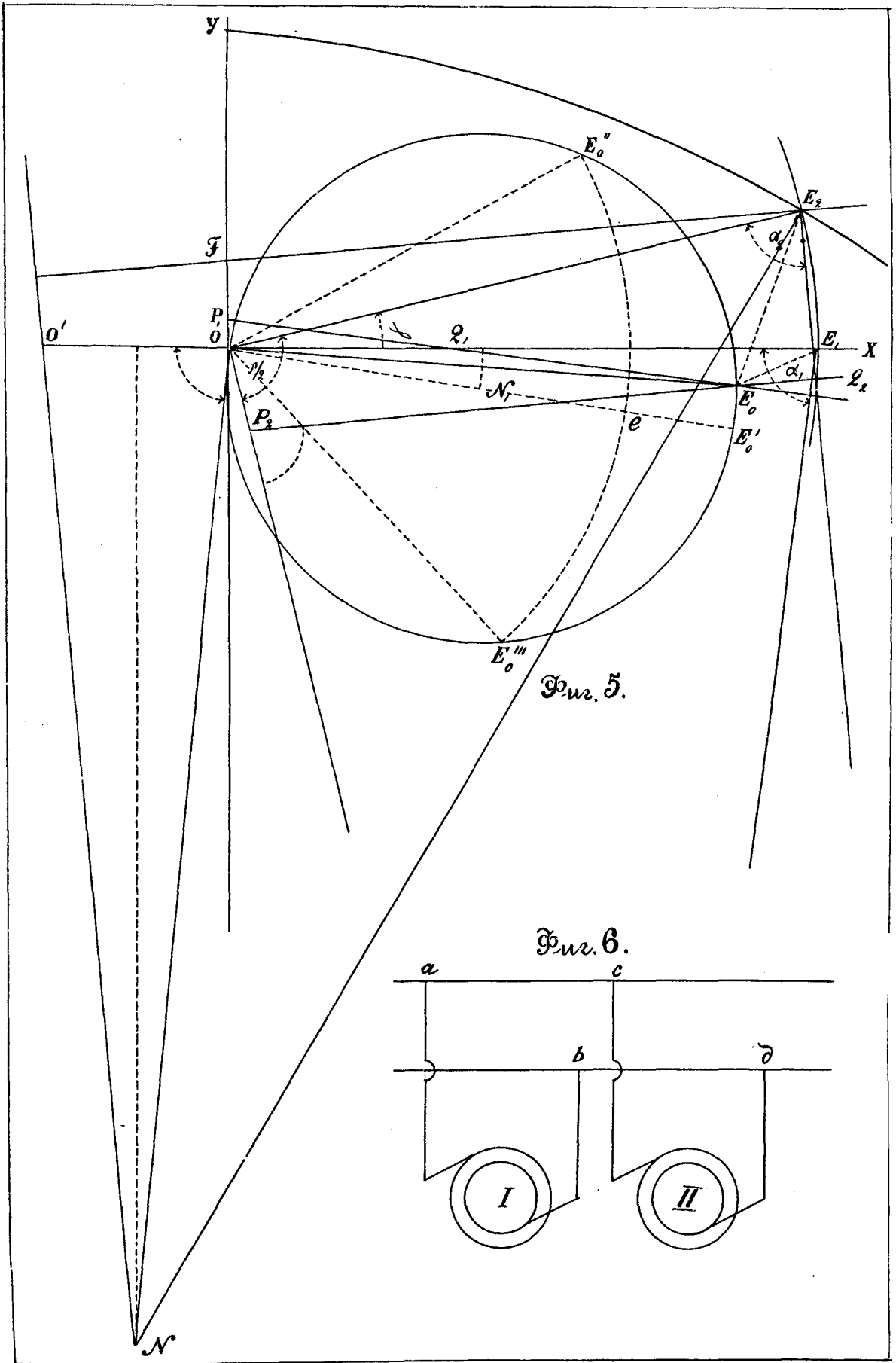
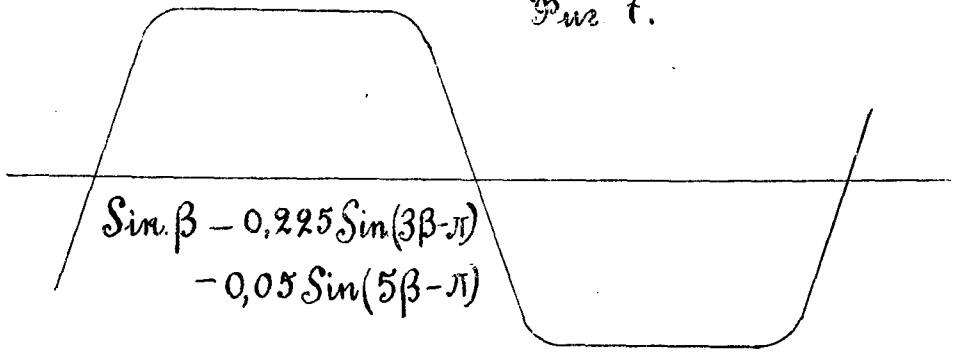


Рис. 4.

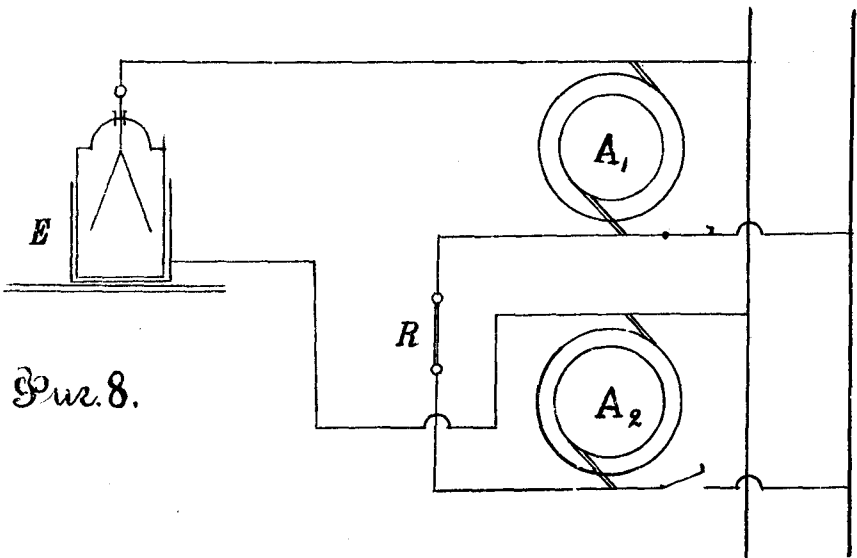
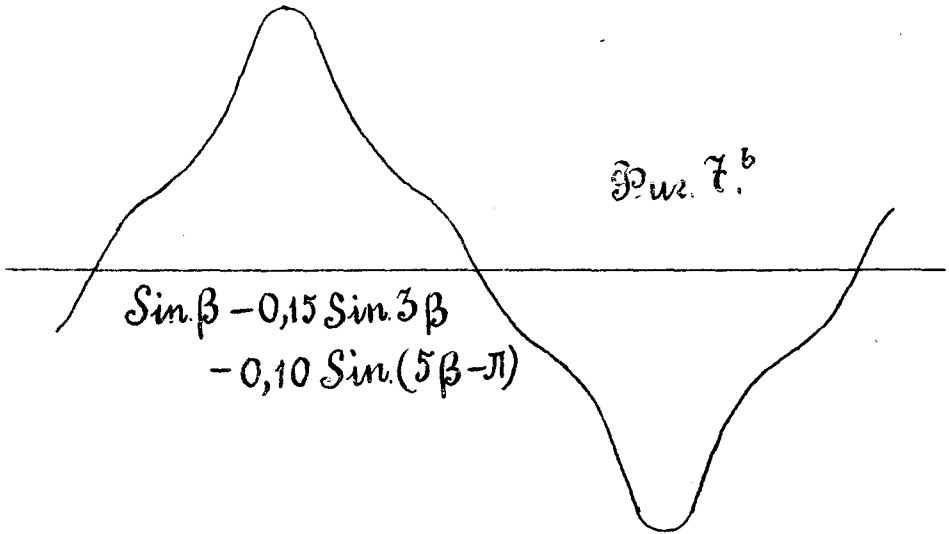




Фиг. 7.^a



Фиг. 7.^b



Фиг. 8.

Т. И. ТИХОНОВЪ.

МЕТАЛЛОГРАФІЯ

и

ЕЯ ЗАДАЧИ.



ТОМСКЪ.



Паровая типо-литографія П. И. Макушина, Благовѣщ. пер., собств. д.

1903.



Металлографія и ея задачи.

Т. И. Тихоновъ.

Изслѣдованія структуры металловъ подъ микроскопомъ создали новую отрасль науки, извѣстной подъ названіемъ металлографіи. Первые работы въ этомъ направленіи были сдѣланы англійскимъ металлургомъ Сорби въ 1864 году, а затѣмъ въ 1878 году проф. Martens опубликовалъ свои микроскопическія изслѣдованія желѣза и стали. Въ 1880 году Барба ввелъ микроскопъ на заводѣ Крезо и положилъ такимъ образомъ первый толчекъ трудамъ Осмонда, котораго, по справедливости, можно назвать основателемъ современной металлографіи. Въ настоящее время металлографія выходитъ уже изъ чисто научныхъ рамокъ и все болѣе и болѣе распространяется на заводахъ и безспорно является хорошей помощницей химическаго анализа и механическихъ испытаній.

Металлографія главнымъ образомъ преслѣдуетъ слѣдующія двѣ задачи:

1) Опредѣленіе отдѣльныхъ составныхъ частей сплавовъ (по виду строенія), опредѣленіе ихъ химическихъ и физическихъ свойствъ, а также и назначенія; изученіе зависимости между этими послѣдними факторами и свойствами металла въ цѣломъ.

2) Опредѣленіе тѣхъ измѣненій въ строеніи, которыя вызываются различною обработкою сплавовъ (нагрѣваніемъ, закалкою и мех. обработкою вообще).

Для разрѣшенія вышеозначенныхъ задачъ сначала пользовались всѣми способами физической химіи, пока она давала возможность дѣлать какія либо заключенія относительно внутренняго строенія сплава, но для металлографіи въ настоящее время болѣе цѣнны тѣ указанія, которыя даетъ микроскопъ, а также и изслѣдованія обстоятельствъ застыванія сплавовъ. Обѣ эти вѣтви металлографіи можно назвать микроскопией и криоскопией; послѣднее названіе употребляется въ физической химіи для ученія о застываніи растворовъ солей.

Изготовленіе металлическихъ шлифовъ. Обратимся сначала къ микроскопій желѣза. Излюбленнымъ въ петрографіи способомъ наблюде-

нія подъ микроскопомъ, при помощи проходящаго черезъ тонкія шлифы свѣта,—здѣсь, вслѣдствіе непрозрачности тонкихъ пластинокъ металла, пользоваться нельзя; поэтому для изслѣдованія подъ микроскопомъ желѣзо должно имѣть полированную поверхность, чтобы можно было пользоваться отраженнымъ свѣтомъ. Приготовленіе полированной поверхности металла—одна изъ самыхъ трудныхъ и хлопотливыхъ задачъ при изслѣдованіи металловъ подъ микроскопомъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ отъ приготовленія хорошихъ шлифовъ цѣликомъ зависятъ успѣхъ и вѣрность результатовъ.

Раньше, чѣмъ приступить къ изложенію способовъ самой полировки, считаю не лишнимъ сдѣлать нѣсколько замѣчаній по поводу полирующихъ веществъ, употребляемыхъ при изготовленіи шлифовъ. Самымъ удобнымъ и употребительнымъ веществомъ для полировки шлифа служитъ обыкновенный продажный наждакъ въ порошокѣ, но только послѣ промывки и тщательной сортировки посредствомъ отмучиванія. Инженеръ А. Ржешотарскій *) при своихъ работахъ примѣнялъ очень простой способъ отмучиванія, состоящій въ слѣдующемъ: въ бутылъ вмѣстимостью отъ 1—2 литровъ, наполненную водой, помѣщаютъ одинъ фунтъ мелкозернистаго наждаку, затѣмъ жидкость взбалтываютъ и оставляютъ на нѣкоторый періодъ въ покоѣ, чтобы грубыя части наждака отложились бы на днѣ. Послѣ этого осторожно сливаютъ жидкость въ другой сосудъ и, давъ ей отстояться въ теченіе нѣкотораго времени, снова переливаютъ ее въ новый сосудъ, и т. д. Повторяя эту операцію 5—6 разъ, получаютъ нѣсколько сортовъ наждака различной мелкости, которые затѣмъ или осторожно просушиваютъ въ водяной банѣ при температурѣ не выше 70°, иначе частицы наждака снова собираются въ крупинки, или просто оставляютъ наждакъ въ растворѣ воды, но только дѣлаютъ помѣтки на банкахъ 1, 2... сообразно съ мелкостью порошка.

Мартенсъ **) раздѣленіе наждачнаго порошка производитъ нѣсколько, иначе, а именно: $\frac{1}{2}$ фунта наждачнаго порошка смѣшиваютъ съ водою въ фарфоровой ступкѣ, чтобы получить жидкое тѣсто. Затѣмъ тѣсто смываютъ въ другой сосудъ, прибавляютъ $\frac{1}{2}$ литра воды и послѣ сильнаго размѣшиванія выливаютъ въ особый раздѣлитель (Фиг. А. таб. V). Раздѣлитель состоитъ изъ бутылки А безъ дна, заткнута снизу пробкой, черезъ которую проходитъ латунная трубка В, снабженная на верхнемъ концѣ блюдечкомъ. Когда жидкость въ сосудѣ А нѣсколько отстоится и грубыя частицы наждака осядутъ на дно, то

*) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 9. 1898 г.

**) Стедъ. Методъ изготовленія полированныхъ поверхностей. Артиллерійскій журналъ, 1895 № 11.

трубку съ блюдечкомъ опускають внизъ и переливають смѣсь въ нижній сосудъ С; отстоявшійся наждакъ сушатъ и берутъ для полировки.

Для изготовленія самому ассортимента наждачной бумаги слѣдуетъ просушенные и полученные вышеозначеннымъ способомъ сорта наждака развести въ альбуминовомъ клѣѣ, который употребляется для изготовленія чувствительныхъ пластинокъ, и такую смѣсь намазать посредствомъ кисточки на листы прочной бумаги.

Проф. Неуп при своихъ работахъ примѣняетъ покупную наждачную бумагу завода Hubert въ Парижѣ слѣдующихъ номеровъ: 000, 00, 0, 1^m, 1, 1^o, 2 и 3.

Кромѣ наждака иногда для полировки употребляютъ крокусъ („крокусъ для стали“ и „крокусъ для золота“), „вѣнскую известь“ и самыя высокія номера (50—60) порошкообразнаго карборундума. Наконецъ надо замѣтить, что всѣ полирующія вещества надо сохранять въ закрытыхъ сосудахъ, чтобы частицы комнатной пыли, а тѣмъ болѣе заводской, ни въ коемъ случаѣ не попадали бы къ нимъ. Подлежащая полировкѣ площадь металла не должна имѣть большихъ размѣровъ ($1/2 \square_{\text{см}}/\text{см}$ и $1/1 \square_{\text{см}}/\text{см}$), ибо очень трудно полировать большую поверхность; сначала поверхность дѣлается гладкой и ровной обыкновенными средствами, а затѣмъ обрабатывается наждачной бумагой разной грункости, наклеенной на вращающіеся деревянные кружки, до тѣхъ поръ, пока на поверхности шлифа совсѣмъ не будетъ рисокъ. Слѣдующая обработка шлифа производится на обтянутыхъ сукномъ деревянныхъ шайбахъ посредствомъ тончайшаго порошка и воды, причемъ, при нѣкоторомъ навыкѣ, можно получить совершенно зеркальную поверхность, неимѣющую никакихъ рисокъ. Обработанная такимъ образомъ поверхность очень рѣдко даетъ возможность видѣть строенія металла подъ микроскопомъ, а потому она должна подвергнуться еще дальнѣйшей обработкѣ, которая можетъ быть сдѣлана по 3 существенно различнымъ способамъ, по каждому въ отдѣльности или послѣдовательно одинъ за другимъ.

а) „Рельефная“ полировка (введена Sorby и значительно усовершенствована Osmond'омъ, Martens'омъ и Wedding'омъ). Шлифъ полируется далѣе при слабомъ надавливаніи мягкой резиной или пергаментомъ, посыпанными немного крокусомъ или очень мелкимъ наждакомъ. Болѣе твердыя составныя части шлифа больше противостоятъ работѣ эластичной полирующей поверхности, чѣмъ мягкія, и выступаютъ въ видѣ рельефовъ *) (Фиг. 8. Т. I. 9, 10 и 12. Таб. II. 18 и 19. Т. III).

*) Возвышенныя части шлифа легко можно отличить, если помнить, что со стороны обратной направленію луча свѣта у возвышенныхъ частей шлифа всегда имѣется черная полоса—тѣнь.

б) Полировка съ протравой (введена Osmond'омъ). Шлифъ, приготовленный согласно пункту а, полируютъ еще дальше при помощи резины или пергамента съ прибавкою къ водѣ лакричнаго экстракта или сахара, при этомъ нѣкоторыя составныя части строенія шлифа получаютъ окраску, что даетъ большую возможность еще большихъ различій. Но различное окрашивание составныхъ частей шлифа можно получить не только окисленіемъ шлифа, но и путемъ нагрѣва послѣдняго, если только составныя элементы сплава въ различной степени подвержены окисленію; такъ, напр., бываетъ при нагрѣваніи шлифа изъ сплавовъ мѣди и серебра,—составныя части шлифа съ большимъ содержаніемъ серебра остаются блестящими, тогда какъ другія, съ большимъ содержаніемъ мѣди, приобрѣтаютъ различныя цвѣта окрашивания.

Примѣчаніе. Лакричный корень извѣстенъ въ продажѣ подъ названіемъ сосо (коко), и экстрактъ изъ него готовится слѣдующимъ образомъ: 10 грам. мелкоиздробленнаго корня намачиваются въ продолженіе 4-хъ часовъ въ 100 грам. воды и затѣмъ настойка фильтруется. Настой на трети сутки уже начинаетъ бродить и годенъ въ употребленію.

Сахарную воду проф. Неунъ приготовляетъ такого состава: 10 грам. сахара на 100 грам. холодной воды.

в) Протрава. Отполированный на сукнѣ шлифъ очищается хорошенько отъ жира и кладется въ ванну съ протравой. Это или растворъ іода въ іодистомъ кали и водѣ, или очень слабая азотная кислота, или сильно разбавленная спиртомъ соляная кислота, или бромная вода, или простая вода съ нѣсколькими каплями салициловой кислоты въ алкогольѣ и т. п. реактивы. Благодаря протравѣ получается нѣкоторое измѣненіе въ окраскѣ шлифа, и рельефъ послѣдняго становится болѣе отчетливымъ (Фиг. 1 и 3. Т. I. 15. Т. II. 26, 27 и 31. Т. IV).

Примѣчаніе. Wedding *) для промывки шлифовъ предлагаетъ цѣлый рядъ различныхъ жидкостей. Сначала шлифъ промывается въ водѣ, потомъ въ хлороформѣ, тщательно очищая кистью всѣ ямки и поры шлифа отъ случайно оставшагося крокуса или наждака. Затѣмъ шлифъ поочередно на короткій періодъ времени погружается въ слѣдующія жидкости:

- 1) Смѣсь хлороформа съ алкогольемъ (1:1).
- 2) Хлороформъ.
- 3) Сѣрнистый эфиръ.
- 4) Алкоголь.

*) Wedding. Eisenhüttenkunde B. I. S. 867.

5) Смѣсь алкоголя съ водой (1:3).

5). Дистиллированная вода.

Если образецъ, вынутый изъ дистиллированной воды, ровно покрытъ водою, то его опускаютъ въ вытравляющую жидкость. Если же на поверхности шлифа вода собирается каплями, то это доказываетъ, что поверхность шлифа еще не чиста, и шлифъ надо снова промыть. Если образецъ хотятъ разсматривать подъ микроскопомъ безъ вытравки въ кислотѣ, то, послѣ вынутія изъ дистиллированной воды, его надо снова погрузить въ жидкость № 5, а затѣмъ въ № 4 и на нѣсколько секундъ въ № 3. Погружать шлифъ въ кислоту надо щипчиками (а не руками, которыя всегда оставляютъ сальныя пятна) и не глубже, какъ на 1—2 ст. ниже уровня жидкости (при такомъ погруженіи шлифа въ кислоту можно легко наблюдать черезъ лупу появленіе узора на шлифѣ). А. Ржешотарскій *) совѣтуетъ для протравы твердыхъ сортовъ желѣза брать 2⁰/₀ азотной кислоты и 4⁰/₀ растворъ для мягкихъ сортовъ желѣза, погружая образцы на 10—15 секундъ. Для очень нѣжной вытравки онъ совѣтуетъ брать на стаканъ воды только 5—10 капель азотной кислоты.

Вытравленные образцы необходимо держать въ сухомъ и защищенномъ отъ пыли мѣстѣ. Лучше всего завертывать каждый образчикъ въ оловянную бумагу и хранить въ закрытомъ помѣщеніи въ присутствіи ѣдкаго кали или просто хранить подъ стекляннымъ колпакомъ въ присутствіи сѣрной кислоты.

Приготовленный такимъ образомъ шлифъ для дальнѣйшихъ наблюдений и фотографированія закрѣпляется въ микроскопъ. Освѣщеніе предмета для микроскопическихъ наблюдений и фотографированія достигается слѣдующимъ образомъ: предметъ помѣщается наклонно относительно оптической оси микроскопа и освѣщается дневнымъ лучемъ (Фиг. В таб. V); но для сильнаго освѣщенія шлифа требуется давать ему большой уклонъ, вслѣдствіе чего ясное изображение въ фокусѣ получается только въ видѣ узкой полосы. Увеличеніе свыше 200 разъ получить довольно трудно, ибо, съ приближеніемъ линзы объектива къ предмету, оправка объектива препятствуетъ лучамъ свѣта освѣщать шлифъ.

На чер. С таб. V шлифъ расположенъ перпендикулярно къ оптической оси. Лучъ, падающій отъ искусственнаго источника свѣта, падаетъ на отражательное стекло р1, наклоненное къ оптической оси подъ угломъ въ 45⁰, отражается отъ него на полированную поверхность и возвращается отъ послѣдней по направленію оптической оси,

*) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 27. 1898 г.

прох дя черезъ отражательное стекло рl. Часть свѣта тратится совершенно напрасно—вслѣдствіе прохожденія черезъ стекло рl.

На чер. D таб. V шлифъ расположенъ опять перпендикулярно къ оптической оси. Призма рz полностью отражаетъ падающій лучъ l на объективъ f. Послѣдній служитъ въ то-же время и для концентраціи падающаго пучка лучей и для полученія микроскопическаго изображенія. Кромѣ этого заслуживаетъ особаго вниманія приспособленіе Фремона *), гдѣ лучи свѣта, отраженные зеркаломъ D (Фиг. E таб. V) попадаютъ черезъ отверстіе въ трубу микроскопа, гдѣ встрѣчаютъ вогнутое подвижное зеркало C. Измѣняя положеніе зеркалъ D и C, можно заставить лучъ свѣта пройти черезъ объективъ. Призма K направляетъ лучи свѣта параллельно оси микроскопа. Черезъ зеркало C и призму K проходитъ коническая труба P, которая при помощи окуляра служитъ для наблюденія изображенія шлифа, освѣщеннаго лучами свѣта.

Источникомъ свѣта можетъ служить обыкновенная или электрическая лампа, друммондовъ свѣтъ и т. п. Послѣднія приспособленія микроскопа даютъ возможность разсматривать шлифы при любомъ увеличеніи и снимать фотографическіе снимки, но только съ тѣмъ условіемъ, чтобы плоскость шлифа была-бы установлена строго перпендикулярно къ оси микроскопа; для облегченія установки шлифа въ такомъ положеніи, столикъ микроскопа снабжаютъ ножкой съ шарообразнымъ закрѣпленіемъ (система пр. Мартенса и изготовляется фирмою Цейса въ Іеннѣ).

Микроскопическія изображенія можно воспроизвести двояко: или путемъ срисовыванія на бумагу, или же посредствомъ фотографіи. Первый способъ въ настоящее время употребляется только при сильныхъ увеличеніяхъ, когда изображенія не отчетливо видны, или когда шлифъ плохо изготовленъ—имѣетъ шарообразную поверхность **). Но чтобы удачно срисовать шлифъ, надо имѣть большой навыкъ; гораздо меньше хлопотъ и менѣе тратится времени на фотографированіе шлифа. Для этой цѣли прямо къ окуляру микроскопа приспособляется фотографическая камера; получается сначала изображеніе на матовомъ стеклѣ, а затѣмъ его замѣняютъ касетой съ чувствительной пластинкой. Надо замѣтить; что горизонтально приспособленный фотографическій аппаратъ (системы Мартенса фирмы Цейса) для фотографированія шлифовъ несравненно удобнѣе вертикальнаго.

*) Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 30. 1898.

**) Болѣе подробныя свѣдѣнія о рисовальныхъ приборахъ можно найти въ брошюрѣ Циммермана „Микроскопъ“. Пер. Д-ра А. Ильша 1896 г. Сиб.

Микроструктура жельза. Отдѣльныя составныя части жельза, открытыя при помощи описанныхъ способовъ, получили особыя названія, такъ:

а) Ферритъ (по Howe). Свободное или почти свободное отъ углерода жельза, самая мягкая составная часть жельза, на рельефныхъ шлифахъ представляется ниже другихъ составныхъ частей. Полировкой съ протравой или осторожнымъ травленіемъ совсѣмъ не окрашивается или окрашивается въ слабо-желтоватый цвѣтъ. Очень бѣдное углеродомъ жельзо состоитъ изъ феррита и подъ микроскопомъ имѣетъ видъ мелкихъ зеренъ, такъ что строеніе шлифа получается сходное съ мраморомъ. Когда дѣйствіе протравы немного сильнѣе или когда употреблено специальное средство въ видѣ раствора въ водѣ ($1/12 - 1/30$) хлористо-мѣдно-амміачной соли, то на поверхности шлифа появляются бороздки, называемыя протравными фигурами (ätzfiguren); эти фигуры очень рельефно выдѣляютъ зерна феррита и даютъ возможность точно опредѣлить ихъ число и среднюю величину (Фиг. 1 т. I). Черная сѣтка, разграничивающая въ этомъ шлифѣ между собою зерна феррита, состоитъ изъ особаго углеродистаго вещества—перлита.

Въ мягкихъ сортахъ стали зерна феррита располагаются въ видѣ мозаики, составляющей звѣздообразныя фигуры (Фиг. 2 т. I), но по мѣрѣ увеличенія содержанія углерода въ стали эти тонкія бѣлыя полоски феррита, образующія болѣе правильную сѣтку, становятся все тоньше и тоньше (Фиг. 3, 4 т. I). При свободномъ и медленномъ охлажденіи жельза (въ срединѣ болванки) зерна феррита выдѣляются мощною сѣткою по периферіи углеродистаго жельза (Фиг. 5 т. I). Ковка и прокатка сильно вліяютъ на измѣненіе формы и группировки зеренъ феррита: первая раздробляетъ ихъ и разсѣиваетъ въ безпорядкѣ среди углеродистаго жельза (Фиг. 6 т. I), а вторая—вытягиваетъ ихъ въ видѣ волоконъ (Фиг. 7 т. I); но не надо забывать, что группировка зеренъ феррита въ послѣднихъ двухъ случаяхъ сильно зависитъ отъ конечной температуры обработки.

б) Цементитъ (по Howe). По Осмонду считаютъ, что цементитъ соотвѣтствуетъ карбиду углерода жельза въ видѣ Fe_3C . Цементитъ тверже другихъ составныхъ частей, вслѣдствіе чего на „рельефныхъ“ шлифахъ выступаетъ на поверхности раньше другихъ составныхъ частей структуры жельза. Онъ остается послѣ травленія и полировки съ протравой не окрашеннымъ и блеститъ какъ зеркало. (Фиг. 8 т. I, 9, 10 т. II). Строеніе цементита лучше всего можно изучить въ цементной стали, гдѣ онъ нерѣдко образуетъ цѣлыя скопленія въ видѣ прямолинейныхъ полосъ (Фиг. 11 т. II) и мельчайшихъ волоконъ, разбросанныхъ между остальнымъ углеродистымъ жельзомъ (мартензитомъ).

с) Перлитъ (по Howe) на „рельефныхъ“ шлифахъ выше феррита и ниже цементита. При полировкѣ съ протравой перлитъ дѣлается желтоватымъ и даже желтовато-бурымъ и чернымъ. Перлитъ всегда состоитъ изъ 2 элементовъ, чаще всего имѣющихъ видъ пластинокъ (Фиг. 12 и 13 т. II), а рѣже—крошечныхъ зеренъ (Фиг. 14 т. II), при чемъ эти элементы чередуются другъ съ другомъ. Обѣ формы перлита разнятся между собою твердостью, а иногда и окраской. Перлитъ, повидимому, состоитъ изъ феррита и цементита. Иногда встрѣчается переходная форма, названная Осмондомъ сорбитомъ, который находится тогда въ перлитѣ вмѣстѣ съ ферритомъ и цементитомъ. Перлитъ находится только въ тѣхъ сортахъ желѣза, въ которыхъ углеродъ находится по преимуществу въ видѣ карбида, что даетъ основаніе предполагать, что перлитъ въ своихъ твердыхъ частяхъ содержитъ углеродъ въ формѣ, одинаковой съ карбидомъ. Въ очень мягкихъ сортахъ желѣза перлитъ въ видѣ сѣтки разграничиваетъ зерна феррита (Фиг. 1 т. I) и наоборотъ, въ полутвердыхъ и твердыхъ сортахъ стали зерна перлита окаймлены сѣткою феррита (Фиг. 4, 6 т. I). Въ сѣрыхъ чугунахъ перлитъ группируется въ видѣ елкообразныхъ, разрывчатыхъ кристалловъ, подобныхъ тѣмъ, что встрѣчаются въ усадочныхъ раковинахъ чугунныхъ и стальныхъ отливокъ (Фиг. 15 т. II).

д) Мартензитъ (по Осмонду) встрѣчается только въ томъ желѣзѣ, которое было закалено при температурѣ выше критической точки А, по Чернову, и содержитъ поэтому весь углеродъ въ формѣ углерода закала. Содержаніе углерода въ мартензитѣ мѣняется такъ, что его можно разсматривать какъ растворъ углерода и карбида Fe_3C въ желѣзѣ. Вслѣдствіе непостоянства въ количествѣ углерода, мартензитъ бываетъ различной твердости, но всегда тверже феррита и значительно мягче цементита. При полировкѣ съ протравой онъ или совсѣмъ не окрашивается, или окрашивается въ слабо желтый цвѣтъ, а при протравѣ, по большей части, въ бурый. Окраска обманчивое средство для распознаванія; характерно только для мартензита его игольчатое строеніе: иглы пересѣкаются въ 2—3 направленіяхъ (Фиг. 16 т. II, 17 т. III), чѣмъ мартензитъ существенно разнится отъ перлита, зерна котораго всегда размѣщены параллельно (Фиг. 12 т. II, 19 т. III).

е) Графитъ и углеродъ отжига металлографически очень мало разнятся между собою (Фиг. 18, 19 т. III, 15 т. II).

Итакъ, сопоставляя вмѣстѣ всѣ характерныя черты отличія микроскопическихъ элементовъ структуры желѣза, получимъ слѣдующую таблицу:

Элементы микроструктуры жельза.	Состояніе элементовъ послѣ рельефной полировки на резиновой подкладкѣ съ порошкомъ и водой.	Состояніе элементовъ послѣ полировки съ протравой на резиновой подкладкѣ съ порошкомъ и водой.	Состояніе элементовъ послѣ протравы.		Предполагаемый химическій составъ.	Состояніе элементовъ при раствореніи въ холодной H_2SO_4 (1:10) въ безвоздушномъ пространствѣ (по Müller'y).
			1 ч. соляной кислоты + 500 ч. алкоголя.	Тинктура йода. Другія протравы.		
Ферритъ.	Мягкая часть структуры шлифа; кажется всегда углубленнымъ среди другихъ элементовъ структуры.	Не окрашивается и только послѣ долгой полировки нѣкоторые зерна феррита приобрѣтаютъ слегка желтоватый цвѣтъ.	При очень слабомъ травленіи не окрашивается, но при сильномъ — нѣкоторые кристаллы остаются блестящими, а другіе приобрѣтаютъ различные оттѣнки, отъ желтаго до темнаго (почти чернаго).	Послѣ протравы изъ хлористо-амміачей соли мѣди (1:12) при большомъ увеличеніи ясно замѣтно ätzfiguren, которыя служатъ характернымъ признакомъ присутствія феррита.	Безуглеродистое жельзо или бѣдное углеродомъ жельзо.	Растворяется.
Цементитъ.	Твердая часть шлифа; обладаетъ приблизительно твердостью полевого шпата; всегда возвышается среди другихъ элементовъ шлифа.	Остается неокрашеннымъ и блеститъ какъ зеркало	—	—	Fe ₃ C; содержитъ углеродъ въ формѣ карбида.	Не растворяется.
Перлитъ.	Средній по твердости между ферритомъ и цементитомъ; при рельефной полировкѣ выше перваго и ниже втораго.	При слабомъ увеличеніи кажется темно-окрашеннымъ, при большомъ увеличеніи кажется состоящимъ изъ двухъ составныхъ элементовъ различной твердости и окраски; очень рѣдко однообразно окрашенъ (Sorbit). Встрѣчается въ видѣ пластинокъ и очень рѣдко въ видѣ зеренъ	—	—	Ферритъ и цементитъ или ферритъ и Sorbit	Ферритъ растворяется, но цементитъ остается не раствореннымъ.
Мартенситъ.	Различной твердости, но всегда тверже феррита и мягче цементита.	Совсѣмъ не окрашивается или очень слабо темноокрашенъ. При большомъ увеличеніи всегда имѣетъ видъ иглъ, пересѣкающихся въ 2—3 направленіяхъ.	Отъ желтаго до темно-чернаго цвѣта окрашенъ.	—	Плотное соединеніе изъ углерода или карбида (Fe ₃ C) въ жельзѣ; содержитъ углеродъ въ формѣ углерода закала.	Растворяется, выделяя углеводороды

Изъ всего предыдущаго не трудно замѣтить, что элементы структуры желѣза зависятъ отъ химическаго состава послѣдняго и отъ условій механической обработки вообще, но кромѣ этого находятся и между собою въ строгой зависимости, а поэтому нѣкоторые авторы пытались на основаніи своихъ наблюденій выразить эту зависимость аналитически. Такъ для опредѣленія процентнаго содержанія шлифа Sauveur*) на основаніи своихъ наблюденій даетъ такія формулы:

а) Для желѣза съ содержаніемъ углерода менѣе, нежели 0,8%.

1) отожженнаго.

$$\text{карбидъ (Fe}_3\text{C)} = \frac{100 \cdot \text{C}}{6,67} \infty = 15 \times \text{C};$$

$$\text{перлитъ} = \frac{100}{12} \times \text{карбидъ};$$

$$\text{ферритъ} = 100 - \text{перлитъ};$$

2) закаленнаго: — мартензитъ = 100%.

Примѣчаніе. Эти уравненія имѣютъ значеніе только для тѣхъ сортовъ желѣза, у которыхъ содержаніе углерода не менѣе 0,14%.

в) Для желѣза съ содержаніемъ углерода болѣе 0,8%.

1) отожженнаго:

$$\text{карбидъ (Fe}_3\text{C)} = 15 \times \text{C};$$

$$\text{чистое желѣзо (ферритъ)} = 100 - (15 \times \text{C});$$

$$\text{перлитъ} = (100 : 88) \times \text{ферритъ};$$

$$\text{цементитъ} = 100 - \text{перлитъ};$$

2) закаленнаго:

$$\text{цементитъ} = \frac{100 \cdot \text{C} - 90}{5,77};$$

$$\text{мартензитъ} = 100 - \text{цементитъ}.$$

До сего времени еще не вполне выяснены различныя соединенія, въ которыя вступаетъ желѣзо съ углеродомъ подъ вліяніемъ нагрѣва и постороннихъ примѣсей. Вслѣдствіе этого многія авторы одни и тѣ же элементы структуры желѣза называютъ различно, такъ что начинающій изучать металлографію находитъ по этому вопросу страшный хаосъ въ литературѣ. — Чтобы нѣсколько облегчить эту задачу А. Ржешотарскій**) приводитъ таблицу, въ которой сгруппированы всѣ названія, данныя различными авторами одному и тому же элементу.

*) „Trans. Am. Inst. Mining Eng.“ Colorado Meeting Sept. 1896.

**) „Journal Iron and Steel Inst.“ 1896. Vol. II. p. 191.

**) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣд. желѣза. Стр. 64. 1899 г.

Osmond.	Howe.	Wedding.	Arnold.	Ржеваторскій.	Sorby.	Heyn.
Ferrite	Ferrite.	Homogenes. Eisen weicher als Krystalleisen.	Ferrite (pure iron).	Желѣзистъ.	Ferrite.	Ferrit.
Sorbite.	Pearlite.	Krystalleisen	The pearly Constituent.	Сталитъ.	Pearlite.	Pearlit
Cementite.	Cementite.	Homogenes. Eisen härter als Krystalleisen.	Cristallized. Normal Carbid.	Цементитъ.	Cementite.	Cementit.
Martensite.	Hardenite.	—	Sub-Karbid.	Закалитъ	Hardenite.	Martensit.

Заканчивая металлографическое строение желѣза, нельзя не сказать нѣсколько словъ о зависимости между микроскопическимъ строениемъ желѣза и его физическими свойствами; послѣднія цѣликомъ находятся въ зависимости отъ характера и вида первыхъ. Такъ углеродъ закала увеличиваетъ твердость, повышаетъ предѣлъ упругихъ измѣненій и крѣпость, но уменьшаетъ процентное удлинение и сжатіе. Углеродъ карбида дѣйствуетъ обратно. Кромѣ этого вполне уже установлено, что крѣпость желѣза растетъ съ содержаніемъ мартензита и обратно—уменьшается съ увеличеніемъ содержанія перлита. Пустоты, шлаки, цементитъ и графитъ уменьшаютъ плотность желѣза, а слѣдовательно и его крѣпость, увеличивая при этомъ удлинение и сжатіе. Подобнымъ же образомъ дѣйствуетъ и величина кристалловъ. Вообще можно сказать, что прочность желѣза растетъ:

1) отъ присутствія элементовъ, которые сами обладаютъ большою крѣпостью (никкель, кобальтъ);

2) отъ присутствія элементовъ, которые задерживаютъ выдѣленіе углерода въ графитъ или карбидъ (марганецъ до извѣстнаго $\%$ содержанія, хромъ, вольфрамъ и титанъ);

3) отъ присутствія элементовъ, которые уменьшаютъ величину кристалловъ (незначительное количество кремнія);

4) отъ присутствія элементовъ, которые уплотняютъ массу металла (кремній и алюминій, если они находятся въ крайне незначительномъ количествѣ) и

5) отъ присутствія элементовъ, которые способствуютъ выдѣленію твердыхъ иглообразныхъ кристалловъ.

Крѣпость желѣза уменьшается:

1) Отъ присутствія элементовъ, которые вызываютъ выдѣленіе графита или карбида (кремній, фосфоръ и сѣра) или только способствуютъ подобному выдѣленію (мѣдь);

2) Отъ присутствія элементовъ, которые увеличиваютъ величину кристалловъ (фосфоръ и значительное содержаніе марганца);

3) Черезъ не металлическія примѣси, которыя раздѣляютъ кристаллы металла (газы, большое количество кремнія, соединенія мѣди и сѣры, марганца и сѣры, окислы).

Большая величина кристалловъ вызываетъ хладколомкость (фосфоръ), а постороннія примѣси, которыя сами плавятся при высокой температурѣ (сульфиды) или мѣшаютъ свариванію отдѣльныхъ кристалловъ металла (окислы), вызываютъ красноломкость.

Albert Sauveur *) очень много занимался вопросомъ о вліяніи величины кристалловъ металловъ на его физическія свойства и пришелъ къ такого рода заключеніямъ:

1) Медленное, покойное охлажденія желѣза отъ нѣкоторой температуры X вызываетъ измѣненіе въ строеніи металла.

2) Покойное, медленное охлажденіе желѣза отъ температуры ниже X не вызываетъ никакихъ измѣненій въ строеніи металла.

3) Положеніе температуры X зависитъ отъ химическаго состава желѣза, такъ примѣси—углеродъ и фосфоръ понижаютъ эту температуру хотя въ различныхъ отношеніяхъ.

4) Углеродъ и фосфоръ сообщаютъ желѣзу крупную кристаллизацию.

5) Чѣмъ чище желѣзо, тѣмъ выше критическая температура X.

6) Чѣмъ выше температура нагрѣва, отъ которой охлаждено желѣзо, тѣмъ крупнѣе кристаллизация послѣдняго.

7) Чѣмъ медленнѣе идетъ охлажденіе желѣза, тѣмъ значительнѣе ростъ кристалловъ.

8) При механической обработкѣ кристаллы могутъ быть измельчены, но достаточно желѣзо нагрѣтъ до температуры X или выше ея и медленно охладить, какъ желѣзо снова принимаетъ свое прежнее строеніе.

Насколько вліяетъ величина кристалловъ на механическія свойства желѣза, можно судить изъ слѣдующихъ опытовъ Sauveur'a **). Sauveur производилъ опыты съ рельсами и бралъ для этого пробные бруски изъ разныхъ частей рельса,—голова, ножки и подошвы; одна

*) Baumaterialienkunde S 252. 1900

**) Stahl und Eisen. S. 280. 1899.

партія рельсъ была прокатана при очень высокой температурѣ, а другая при низкой. Разница въ мех. свойствахъ видна изъ слѣдующей таблицы.

МѢСТО ВЗЯТІЯ ПРОБЫ.	Величина кристалловъ въ 0,0001 qmm	Коэффициентъ разрыва δ_B въ kg/qmm.	Удлиненіе, δ въ %	Сжатіе q въ %	Температура прокатки.
Головка рельса	148	69,6	15	20	Бѣлое каленіе
Нога.	118	70,3	19	22	
Подошва . . .	62	71,7	22,5	35	
Головка рельса	86	71,0	20,5	23	Красное каленіе
Нога.	75	72,4	20	32,5	
Подошва . . .	35	73,0	21	39	

Для большей наглядности результаты надлюденій Sauveur'a надъ сталью, у которой величина кристалловъ не превышаетъ 0,0225 qmm., изображены въ видѣ кривыхъ (Фиг. 1. Таб. V), откуда ясно видно, какъ главныя механическія свойства стали убываютъ съ величиной кристалловъ. Эти наблюденія Sauveur'a вполнѣ подтвердились опытами N. N. Ljамин'a *).

Изъ наблюденій Sauveur'a Н. v. Jüptner **) вывелъ нѣсколько формулъ для опредѣленія механическихъ свойствъ желѣза въ зависимости отъ величины кристалловъ, такъ:

α) Разрывающее усиліе.

$$\delta_B = 75,5 - 0,004 \cdot K.$$

β) Удлиненіе.

$$\delta = 26,5 - 0,0735 \cdot K.$$

γ) Сжатіе.

a) для $K < 130$ — $q = 47 - 0,2 \cdot K$.

b) для $K < 130$ — $q = 29 - 0,07 \cdot K$.

Примѣчаніе: К средняя величина кристалловъ въ 0,0001 qmm; но этими формулами можно пользоваться только въ томъ случаѣ, когда величина кристалловъ измѣняется отъ 35 до 230, ибо дальше зависимость мех. свойствъ металла отъ величины кристалловъ принимаетъ видъ прямой.

*) Chem. Ztg. 21 Rep. p. 205.

**) Baumaterialienkunde, S. 252. 1900.

Для стали съ $1,10\%$ С, $0,02\%$ Si и $0,41\%$ Mn. Howe *) даетъ такую зависимость между величиною кристалловъ въ qmm (А) и критической температурой T_{\max} (между 722° — 1050° С.).

$$T_{\max} = 680 + 281350. A.$$

Зависимость между величиною зеренъ металла и его мех. свойствами не трудно себѣ представить: допустимъ грубо, что весь металлъ состоитъ изъ шарообразныхъ кристалловъ, промежутки между которыми заполнены какимъ нибудь другимъ веществомъ. Тогда мех. свойства металла будутъ зависѣть отъ силъ сцѣпленія самихъ шарообразныхъ кристалловъ; сила же сцѣпленія кристалловъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ чаще между собою будутъ соприкасаться кристаллы и чѣмъ промежутки между ними будутъ меньше, т. е. чѣмъ меньше будутъ по величинѣ сами кристаллы.

Теорія сплавовъ. Всѣ сплавы вообще можно сравнить съ кристаллическими горными породами. Въ самомъ дѣлѣ, однородные сплавы, которые въ твердомъ состояніи были бы одинаковы въ разныхъ мѣстахъ какъ физически, такъ и химически принадлежатъ къ исключеніямъ. Дѣленіе породъ на простыя и сложныя допустимо и для сплавовъ, а въ особенности же для различныхъ сортовъ желѣза. Подъ простыми кристаллическими породами понимаютъ такія, которыя состоятъ изъ одного и того же образующаго породу минерала, какъ напр. мраморъ. Въ рядъ съ ними можетъ быть поставлено очень бѣдное углеродомъ желѣзо, которое состоитъ изъ маленькихъ, хорошо видныхъ подъ микроскопомъ, отдѣльныхъ кристалликовъ (почти) чистаго желѣза. (Фиг. 1 таб. I). Сложными кристаллическими породами считаютъ тѣ, которыя состоятъ изъ смѣси различныхъ минераловъ, напр. гранитъ. Съ этими породами сравнимы сорта желѣза, богатыя углеродомъ, гдѣ кромѣ желѣза есть и другія составныя части (Фиг. 19 т. III, 11 т. II).

Многіе металлурги, а особенно Ледебуръ, давно уже указывали на то, что сплавы, въ томъ числѣ и сплавы желѣза съ углеродомъ, слѣдуетъ причислять къ затвердѣвшимъ растворамъ, а изслѣдованія новѣйшихъ химиковъ дѣйствительно подтвердили взглядъ пр. Лебедура.

Если 10% растворъ поваренной соли въ водѣ постепенно охлаждать, то мы замѣтимъ, послѣ постепеннаго паденія температуры, около -8° С внезапное замедленіе, сопровождающееся выдѣленіемъ кристалловъ льда. Приблизительно при -22° С встрѣтится вторая остановка термометра, причемъ вся остальная жидкая масса раствора застынетъ и температура во все время застыванія остается неизмѣнной (-22° С). Только послѣ полного застыванія всей массы начинается дальнѣйшее

*) Journ. „Iron Steel. Snst.“ 1891. 1 pag. 199.

пониженіе температуры. Если для разныхъ растворовъ процентное содержаніе поваренной соли откладывать по оси абсциссъ, а по оси ординатъ соотвѣтственныя температуры, при которыхъ наблюдались замедленія или остановки въ паденіи ртутнаго столба термометра, то получимъ „кривую точекъ застыванія“ (Фиг. 1а таб. V), построенную впервые Guthrie въ 1876 году.

Такая кривая состоитъ изъ 3 частей: 2 вѣтвей АВ и ВС, пересекающихся въ точкѣ В, и горизонтали ДЕ, проходящей черезъ точку В. Вѣтвь АВ изображаетъ постепенное затвердѣваніе растворителя, т. е. воды, а ВС—затвердѣванія раствореннаго тѣла, т. е. поваренной соли. Линія ДЕ соотвѣтствуетъ самой низкой точкѣ въ кривой затвердѣванія, которая при всякомъ содержаніи соли въ водѣ приходится на— 22° С. При этой температурѣ изъ всѣхъ растворовъ поваренной соли въ водѣ всегда выдѣляется плотная смѣсь кристалликовъ соли и льда въ пропорціи: 23,5% поваренной соли на 76,5% льда. Точка затвердѣванія раствора съ такимъ относительнымъ количествомъ составныхъ частей только одна (В) и наз. эвтектической точкой, а самый растворъ, соотвѣтствующій точкѣ (В),—эвтектической смѣсью. Всѣ растворы съ содержаніемъ соли меньше, чѣмъ въ эвтектической смѣси, выдѣляютъ въ періодъ, изображенный кривой АВ, кристаллы льда. Благодаря этому растворъ поваренной соли обогащается солью, а когда содержаніе соли въ оставшемся жидкомъ растворѣ достигаетъ предѣла, соотвѣтствующаго эвтектической смѣси, то и эта своеобразная смѣсь изъ частичекъ льда и эвтектической смѣси также застынетъ. Аналогично этому раствору,—растворы съ содержаніемъ поваренной соли больше, чѣмъ 23,5%, при измѣненіи по кривой ВС, выдѣляютъ кристаллы поваренной соли до тѣхъ поръ, пока опять оставшаяся жидкая часть раствора станетъ эвтектической смѣсью и застынетъ при— 22° С.

Совершенно аналогичную картину, судя по даннымъ Neussok и Neville, представляетъ кривая затвердѣванія сплавовъ серебра и мѣди (Фиг. 2 таб. V), гдѣ по оси абсциссъ отложено процентное содержаніе въ сплавѣ мѣди, а по оси ординатъ соотвѣтственныя температуры застыванія. Здѣсь вѣтвь АВ соотвѣтствуетъ періоду выдѣленія кристалликовъ серебра, ВС—кристалликовъ мѣди и ДЕ—точкѣ застыванія эвтектической смѣси, составъ которой 28% мѣди на 72% серебра при точкѣ застыванія 778° С. Эвтектической сплавъ въ сравненіи со всѣми другими имѣетъ самую низкую точку застыванія, а слѣдов. и точку плавленія, однообразенъ по строенію, почему его и назвали эвтектическимъ (хорошо построенный). Эвтектическая смѣсь состоитъ изъ мелкихъ хорошо перемѣшанныхъ кристалликовъ смѣшиваемыхъ элементовъ сплава. Сплавы, у которыхъ мѣди меньше 28%, въ твердомъ со-

стояніи состоятъ изъ кристалловъ серебра, погруженныхъ въ массу эвтектической смѣси, количество которой все растеть, пока процентное содержаніе мѣди въ сплавѣ не дойдетъ до 28⁰/₀, тогда весь сплавъ будетъ эвтектическимъ. Сплавы, въ которыхъ мѣди больше 28⁰/₀, представляются въ твердомъ состояніи въ видѣ кристалловъ мѣди, погруженныхъ въ эвтектическую смѣсь, количество которой по мѣрѣ увеличенія содержанія мѣди уменьшается.

Вполнѣ аналогичная картина со сплавомъ мѣди и серебра наблюдается при охлажденіи многихъ другихъ сплавовъ, какъ-то: свинца и цинка, олова и свинца, свинца и антимонія, мѣди и окиси мѣди и многихъ другихъ. Но не все сплавы имѣютъ кривыя охлажденія подобныя предыдущимъ, такъ для сплава изъ мѣди и антимонія кривыя охлажденія, какъ показали наблюденія Le Chatelier*), имѣетъ нѣсколько иной видъ (*Фиг. 3 таб. V*). Такая кривая можетъ быть раздѣлена на двѣ: ABE и ECD, изъ которыхъ каждая по характеру вполнѣ напоминаетъ предыдущія. Въ точкѣ E кривая застыванія дѣлаетъ переломъ и въ это время изъ сплава выдѣляется химическое соединеніе изъ мѣди и антимонія, соотвѣтствующе формулѣ $Sb Cu_2$ (процентное содержаніе такого химическаго соединенія $Sb Cu_2$ опредѣляется абсциссою точки E,—G).

Обозначимъ обѣ составныя части такого сплава черезъ K и L, а третье тѣло, хим. соединеніе изъ K и L,—M; тогда микроструктура сплава, кривая застыванія котораго ABE, есть смѣсь изъ элементовъ K и M, а микроструктура сплава съ E C D есть смѣсь изъ элементовъ M и L. Въ точкахъ B и C изъ сплава выдѣляются эвтектическія смѣси,—въ B—эвтектическая смѣсь изъ K+M, а въ C—изъ M+L. Такимъ образомъ микроскопическое строеніе такого двойного сплава изъ элементовъ K и L будетъ имѣть такой характеръ:

- 1) Кристаллы элемента K, окруженные эвтектической смѣсью изъ K+M (соотвѣтствуетъ кривой AB).
- 2) Кристаллы элемента M, окруженные эвтектическою смѣсью изъ K+M (соотвѣтствуетъ кривой BE).
- 3) Кристаллы элемента M, окруженные эвтектическою смѣсью изъ M+L (соотвѣтствуетъ кривой EC).
- 4) Кристаллы элемента L, окруженные эвтектическою смѣсью изъ M+L (соотвѣтствуетъ кривой CD).

Микроскопическія изслѣдованія Charpy**) и Stead***) сплавовъ мѣди и антимонія вполнѣ подтверждаютъ справедливость подобныхъ разсужденій.

*) Bul. d. l. Soc. d'Encour. 1895. p. 573.

**) Bul. d. l. Soc. d'Encour. Маргъ 1898.

***) Joc. chem Ind. Декабрь 1897.

Такимъ образомъ сплавы, подобныя сплавамъ мѣди и антимонія, имѣютъ только нѣсколько иной формы кривую застыванія, а по характеру выдѣленія составныхъ частей сплава въ періодъ застыванія ничѣмъ не отличаются отъ предыдущихъ.

Для наблюденія характерныхъ точекъ застыванія всѣхъ легко плавкихъ сплавовъ примѣняютъ очень простой по устройству приборъ, схематически представленный *на чер. 4 таб. V*. Расплавленный сплавъ выливаютъ въ цилиндръ В, оканчивающійся на конусъ съ трубкою; коническое отверстіе цилиндра В можетъ плотно закрываться шаровымъ концомъ стержня А, а на концѣ трубки находится платиновая сѣтка Е; вокругъ цилиндра В находится соотвѣтственная ванна СС. Во время наблюденій весь приборъ помѣщаютъ въ соотвѣтствующія условія и по временамъ поднимаютъ стержень А; тогда жидкія части сплава проходятъ черезъ сѣтку Е на дно прибора Д, а твердыя (кристаллы) остаются на сѣткѣ. Приборъ крайне простъ по устройству, дешевъ и даетъ прелестные результаты.

Всѣмъ извѣстенъ тотъ фактъ, что сѣра при температурѣ ниже $95,6^{\circ}$, спустя же короткій срокъ послѣ плавленія, измѣняетъ свое строеніе, цвѣтъ и измѣняется въ удѣльномъ вѣсѣ съ 1,96 на 2,07. Такое измѣненіе тѣла изъ одного состоянія въ другое при чемъ измѣняются только физическія свойства тѣла наз. аллотропией. Какъ при химическомъ, такъ и при физическомъ измѣненіи тѣлъ всегда происходитъ выдѣленіе или поглощеніе тепла, а слѣдовательно критическія точки тѣла, при которыхъ происходитъ его измѣненіе, можно наблюдать.— Оказывается, что сплавъ желѣза съ углеродомъ (углеродистое желѣзо), при медленномъ охлажденіи, претерпѣваетъ измѣненія вполне аналогичныя съ аллотропией сѣры.

Самый простой способъ уловить критическія точки сплава состоитъ въ слѣдующемъ: расплавленный сплавъ помѣщаютъ въ хорошо изолированный сосудъ, чтобы тепло не излучалось, опускаютъ туда термометръ и наблюдаютъ по часамъ время охлажденія сплава. Во время перехода сплава черезъ критическія точки будетъ происходить или поглощеніе или же выдѣленіе тепла и въ силу этого будетъ замѣчаться ускоренное или замедленное охлажденіе самого сплава. Иногда критическія точки сплава протекаютъ съ такимъ изобиліемъ выдѣленія тепла, что нагреваніе сплава становится замѣтнымъ даже простымъ глазомъ. Чтобы наблюденія за критическими точками сплавовъ сдѣлать болѣе точными, Roberts-Austen, главнымъ образомъ для сплавовъ углеродистаго желѣза, примѣнилъ аппаратъ такого устройства: (Фиг. 5 таб. V) передъ зеркаломъ гальванометра G находится въ деревянномъ колпакѣ электрическая лампа А₁, свѣтъ отъ которой проходитъ черезъ го-

горизонтальную щель съ вертикальною нитью (щель сдѣлана въ стѣнкѣ колпака лампы A_1), и ударяетъ въ зеркало гальванометра. Отраженный свѣтъ гальванометра проходитъ рядъ призмъ, помѣщенныхъ у самаго гальванометра, и ударяетъ въ фотографическую пластинку P , оставляя на ней слѣдъ въ видѣ кривой линіи, абсциссы которой пропорціональны времени, а ординаты—силѣ тока гальванометра; сила же тока гальванометра, какъ увидимъ ниже, находится въ прямой зависимости съ измѣненіемъ температуры сплава. Фотографическая пластинка P закрѣплена на поплавокѣ F , который можетъ опускаться или подниматься, смотря потому вытекаетъ или втекаетъ вода въ сосудъ H . Наблюдаемый же кусокъ сплава B помѣщаютъ внутри фарфоровой трубки A , дѣлають въ кускѣ сплава отверстіе и помѣщаютъ туда термоэлементъ изъ 90% платины и 10% иридія, а проводникъ отъ элемента соединяють съ гальванометромъ G .

Въ послѣднее время Roberts-Austen сдѣлалъ маленькое измѣненіе въ своемъ аппаратѣ, а именно: онъ беретъ два термоэлемента изъ Pt и Ir и соединяетъ ихъ, какъ показано на чер. 6 таб. V , съ двумя гальванометрами G_1 и G_2 , изъ которыхъ G_2 отличается большою чувствительностью. При этомъ одинъ термоэлементъ A_1 лежитъ въ кускѣ сплава B , кривая охлажденія котораго уже точно опредѣлена, а другой A —въ испытуемомъ кускѣ C . При такомъ расположеніи приборовъ, какое указано на чер. 6, гальванометръ G_2 будетъ показывать разницу температуръ термоэлементовъ A и A_1 . На фиг. 7 таб. V представлены кривыя охлажденія углеродистаго желѣза (съ $0,1\%$ C), ординаты которой дають разницу показаній термоэлементовъ, а абсциссы соотвѣтствующее время; какъ видно изъ характера кривой наблюдаемое желѣзо имѣло три критическихъ точки: A_3 при $862^\circ C$, A_2 при $767^\circ C$ и A_1 при $690^\circ C$.

При помощи такого чувствительнаго прибора Roberts-Austen изслѣдоваль цѣлый рядъ сплавовъ желѣза съ углеродомъ недалеко отъ точекъ затвердѣванія. Свои наблюденія онъ представляетъ въ видѣ кривыхъ (Фиг. 8 таб. V), абсциссы которыхъ пропорціональны содержанію углерода въ желѣзѣ, а ординаты—температурамъ, при которыхъ наблюдались точки останава термоэлемента. Характерныя точки затвердѣванія углеродистаго желѣза представлены верхней кривою $a b c d e$. При чемъ линія ab указываетъ температуры, при которыхъ различныя по составу углеродистые сплавы желѣза начинаютъ застывать. Чистое желѣзо застываетъ при $1600^\circ C$, а затѣмъ точка плавленія желѣза падаетъ съ возрастаніемъ содержанія углерода и для сплава съ $4,3\%$ C точка плавленія лежитъ въ b на прямой de , соотвѣтствующей температурѣ $1130^\circ C$. Всѣ углеродистые сплавы желѣза съ содержаніемъ C болѣе

1,2⁰/₀ при остываніи всегда имѣютъ двѣ характерныя точки: одну на линіи ab или bc и вторую на de; только сплавъ съ 4,3⁰/₀ C имѣетъ одну характерную точку застыванія—b.

Бросая бѣглый взглядъ на кривую застыванія углеродистаго желѣза, полученную Roberts-Austen'омъ, и на ранѣе разобранныя кривыя застыванія поваренной соли и сплавовъ вообще, нельзя не замѣтить поразительнаго сходства, но только спрашивается, что-же здѣсь будетъ эвтектической смѣсью, растворителемъ и растворимымъ веществомъ. Появленіе впервые второй характерной точки у сплава съ 1,2⁰/₀ показываетъ, что до этого момента изъ сплава выдѣляется только плотное соединеніе желѣза съ углеродомъ, которое и имѣетъ только одну точку застыванія. Если же содержаніе углерода въ желѣзѣ возрастетъ до 1,2⁰/₀, то въ сплавѣ при охлажденіи сначала застынутъ частицы углеродистаго желѣза (приблизительно съ 1,2⁰/₀ C) и дадутъ точку на кривой ab, а остатокъ жидкаго сплава отъ выдѣленія первыхъ углеродистыхъ частицъ желѣза будетъ постепенно обогащаться углеродомъ до тѣхъ поръ, пока содержаніе углерода въ сплавѣ не возрастетъ до 4,3⁰/₀, тогда застынетъ и этотъ остатокъ сплава и дастъ при своемъ застываніи вторую точку на прямой de. Такимъ образомъ, при застываніи углеродистыхъ сплавовъ съ содержаніемъ C болѣе, чѣмъ 1,2⁰/₀, но менѣе 4,3⁰/₀, изъ сплава сначала выдѣляются твердыя углеродистыя частицы желѣза (назовемъ ихъ Fe C) и даютъ при своемъ застываніи первую характерную точку на кривой ab; но по мѣрѣ выдѣленія частицъ Fe C остатокъ жидкаго сплава обогащается углеродомъ, и какъ только содержаніе углерода въ этомъ остаткѣ жидкаго сплава достигнетъ 4,3⁰/₀, то и онъ застынетъ и дастъ вторую характерную точку застыванія на прямой de. Такая картина явленія наблюдается до тѣхъ поръ, пока содержаніе углерода въ сплавѣ не возрастетъ до 4,3⁰/₀; сплавъ съ 4,3⁰/₀ C имѣетъ только одну характерную точку (b)—точку застыванія при 1130°C. Если же содержаніе углерода въ сплавѣ желѣза будетъ болѣе 4,3⁰/₀, то при застываніи сплава сначала будетъ выдѣляться графитъ и дастъ первую характерную точку на кривой bc; но вслѣдствіе выдѣленія графита остатокъ жидкаго сплава будетъ терять часть своего углерода пока содержаніе послѣдняго не понизится до 4,3⁰/₀, тогда сплавъ застынетъ весь и дастъ вторую характерную точку на прямой de. Итакъ роль эвтектической смѣси, повидимому, въ обоихъ случаяхъ играетъ сплавъ желѣза съ 4,3⁰/₀ углерода. До содержанія углерода въ сплавѣ желѣза 4,3⁰/₀ изъ сплава при застываніи сначала выдѣляются плотныя углеродистыя частицы Fe C (ср. кристаллы льда), а послѣ—4,3⁰/₀ C—частицы графита (ср. поваренная соль), а слѣдовательно растворителемъ въ обоихъ слу-

чаяхъ является само углеродистое желѣзо. Въ результатѣ же по застываніи сплава мы имѣемъ: правѣ точки b —твердую массу изъ эвтектической смѣси (съ $4,3\%$ С) съ частицами графита, а лѣвѣе точки b ,—ту-же эвтектическую смѣсь, но только съ частицами (Fe C) другого по составу углеродистаго желѣза.

На характеръ кривой abc оказываетъ вліяніе скорость охлажденія сплава; такъ нѣкоторые сорта бѣлаго чугуна можно быстро охладить безъ выдѣленія графита, и частицы застывшаго сплава будутъ состоять только изъ частицъ цементита (карбида) и перлита, или же, при незначительномъ выдѣленіи графита,—изъ графита, цементита и перлита; но въ то-же время и послѣдняя точка застыванія эвтектическаго сплава для бѣлаго чугуна будетъ лежать гораздо ниже, чѣмъ для обыкновеннаго углеродистаго желѣза. Послѣднее обстоятельство дало поводъ Le Chatelier заключить о существованіи еще второй линіи XZ, —линіи точекъ застыванія эвтектической смѣси для бѣлыхъ чугуновъ; но существованіе второй линіи XZ только гипотетическое и не подтвердилось обширными опытами Roberts-Austen'a. Итакъ при температурахъ выше кривой abc всѣ углеродистые сплавы желѣза находятся въ жидкомъ состояніи и однородны по составу, а ниже abc представляютъ или затвердѣвшее эвтектически углеродистое желѣзо (точка b), или же затвердѣвшую смѣсь изъ частицъ плотнаго углеродистаго желѣза (Fe C) или графита въ средѣ эвтектически углеродистаго желѣза.

Если мы прослѣдимъ охлажденіе углеродистаго желѣза ниже температуры 1000° С до 650° , то замѣтимъ нѣсколько критическихъ точекъ, сопровождающихся выдѣленіемъ тепла. Такое выдѣленіе тепла, конечно, зависитъ не отъ перехода сплава изъ жидкаго состоянія въ твердое, но отъ переменъ въ молекулярномъ строеніи сплава (отъ аллотропіи сплава). Кривая такихъ критическихъ точекъ, впервые изображенная Осмондомъ и окончательно подтвержденная Roberts-Austen'омъ, представлена на фиг. 8—ABCDE и по характеру вполне напоминаетъ кривую застыванія сплавовъ вообще. Принимая по Осмонду, что выше точекъ кривой ABC сплавъ представляется въ видѣ раствора карбида (нѣкоторой разновидности углеродистаго желѣза, —Fe₃C), увидимъ, что кривая AB соотвѣтствуетъ выдѣленію кристалловъ чистаго растворителя, т. е. феррита, а кривая BC—выдѣленію чистаго раствореннаго тѣла, т. е. карбида (цементита). Точка B соотвѣтствуетъ одновременному выдѣленію обоихъ тѣлъ въ видѣ эвтектической смѣси—перлита. Всѣ сплавы съ содержаніемъ углерода меньше того, которое соотвѣтствуетъ эвтектической смѣси ($0,8\%$), въ твердомъ видѣ состоятъ изъ зеренъ феррита, окруженныхъ эвтектическою смѣсью—перлитомъ. Количество перлита въ массѣ

растетъ, а феррита уменьшается до тѣхъ поръ пока содержание углерода въ сплавѣ не станетъ равнымъ $0,8\%$, тогда вся масса сплава будетъ состоять только изъ перлита. Сплавъ съ содержаниемъ С больше, чѣмъ $0,8\%$ состоитъ изъ выдѣлившихся сначала кристалловъ цементита (карбида), окруженныхъ перлитомъ. Металлографіей все это вполне подтверждено, такъ что теорія Осмонда и Roberts-Austen'a является хорошо обоснованной. Вліяніе прямой FG на строеніе углеродистаго желѣза еще недостаточно ясно установлено, а поэтому я могъ бы, ради краткости, совѣмъ ее не разсматривать, чтобы не было надобности вдаваться въ чисто теоретическую и еще спорную область аллотропической теоріи Осмонда. Если мы будемъ разсматривать углеродистый сплавъ желѣза съ содержаниемъ С около $0,4\%$, то окажется, что такой сплавъ при температурахъ выше 760° С представляется въ видѣ прочнаго раствора карбида въ желѣзѣ, т. е. въ видѣ мартензита. При охлажденіи ниже 760° С начинается выдѣленіе феррита, а растворитель—мартензитъ обогащается углеродомъ, и содержание углерода будетъ увеличиваться до тѣхъ поръ, пока при температурѣ 680° С (690°) его количество не возрастетъ до содержанія эвтектической смѣси ($0,8\%$ С), тогда при нижней точкѣ, соотвѣтствующей линіи DE, весь сплавъ превратится въ тѣсную смѣсь феррита и цементита, т. е. въ перлитъ. Обратный случай имѣетъ мѣсто при нагрѣваніи сплава, но тогда критическая точка, по большей части, появляется нѣсколько выше. Если же тотъ же самый желѣзо-углеродистый сплавъ закалить при температурахъ выше указываемыхъ линіей AB, то мартензитъ сплава останется въ твердомъ состояніи, а самъ сплавъ будетъ находиться въ состояніи пересыщенія; достаточно небольшого подъема температуры выше температуры, указываемой DE, чтобы это неустойчивое состояніе сплава нарушилось бы и перешло бы въ другое устойчивое, при которомъ углеродъ выдѣляется въ видѣ перлита (начинается отпускъ стали). Если же температура закала находится между AB и DE, то вмѣстѣ съ мартензитомъ образуется и ферритъ; закалка при температурѣ ниже DE оказываетъ на строеніе металла такое же вліяніе, какъ медленное охлажденіе.

Эвтектическій сплавъ съ $0,8\%$ С, имѣющій только одну критическую точку, при температурахъ выше ея долженъ состоять только изъ мартензита, а ниже—только изъ перлита.

Резюмируя все сказанное выше о теоріи углеродистыхъ сплавовъ желѣза вообще, получимъ слѣдующую таблицу:

СОДЕРЖАНІЕ УГЛЕРОДА МЕНЬЕ 0,80/o.	Содержаніе углерода 0,80/o.	Содержаніе углерода болѣе 0,80/o.
<p><i>А) Въ незакаленномъ желѣзѣ.</i></p> <p>Только ферритъ, если желѣзо очень бѣдно углеродомъ</p> <p>Ферритъ и перлитъ, если содержаніе углерода достаточно; количество перлита растеть, а феррита уменьшается, если содержаніе углерода въ желѣзѣ повышается.</p> <p><i>В) Въ закаленномъ желѣзѣ. Точка закала лежитъ выше точки А, Чернова.</i></p> <p>Только ферритъ, если желѣзо очень бѣдно углеродомъ</p> <p>Ферритъ и мартензитъ при большемъ содержаніи углерода въ желѣзѣ. Количество мартензита зависитъ отъ содержанія углерода въ желѣзѣ и отъ температуры закала; при очень высокой температурѣ закала даже бѣдное углеродомъ желѣзо состоитъ (повидимому) изъ мартензита.</p>	<p>Только перлитъ.</p> <p>Только мартензитъ.</p>	<p>Перлитъ и цементитъ.</p> <p>Мартензитъ и цементитъ.</p>

Такимъ образомъ предположеніе, что углеродистое желѣзо вполне аналогично со сплавами вообще и съ растворомъ поваренной соли въ водѣ въ частности, а кромѣ этого, подобно сѣрѣ, претерпѣваетъ аллотропическія измѣненія,—является вполне доказаннымъ.

Критическихъ точекъ у большинства сортовъ углеродистаго желѣза наблюдается три: Ag_3 , Ag_2 и Ag_1 ; наиболѣе важной и характерной точкой является Ag_2 , ибо желѣзо, нагрѣтое до Ag_2 , быстро теряетъ свои магнитныя свойства. Положеніе этой точки Ag_2 разными изслѣдователями опредѣляется различно, такъ:

Roberts-Austen опредѣляетъ ее между	600 и 550° С.
Curie	около 550° С.
Arnold	между 525—400° С.
Morris	около 420° С.
Howe	ниже 260° С.

Данныя различныхъ авторовъ, какъ видно, сильно разнятся между собою, но не надо забывать, что положеніе критическихъ точекъ вообще, а въ частности Ag_2 зависитъ отъ химическаго состава испытываемаго желѣза, и точка Ag_2 лежитъ тѣмъ ниже, какъ показали наблюденія Curie, чѣмъ больше примѣсей содержитъ желѣзо. Но кромѣ этого на положеніе критическихъ точекъ вообще оказываетъ замѣтное вліяніе внѣшнее давленіе, подѣ которымъ происходитъ охлажденіе металла. Внѣшнее давленіе понижаетъ или повышаетъ критическія точки металла, все зависитъ отъ того, какое объемное измѣненіе металла наблюдается при переходѣ черезъ критическія точки. Такъ проф. Mallard и Le Chatelier, измѣняя искусственно внѣшнее давленіе, понизили критическую точку іодистаго серебра болѣе, чѣмъ на 100° (*). Roberts-Austen**) подобнымъ же образомъ уменьшили рекалесценцію металловъ и вообще доказалъ, что сжатіе внѣшней оболочки стали при закалкѣ оказываетъ громадное вліяніе на структуру внутреннихъ частицъ закаливаемаго предмета; подобнаго же взгляда придерживается и пр. Akerman***)

Примѣненіе металлографіи. Что касается примѣненія металлографіи, то „я сдѣлалъ-бы ошибку“, говоритъ проф. Неун, „еслибы началъ утверждать, что она призвана замѣнить практически испытанныя средства для испытанія желѣза: химическій анализъ и механическія испытанія матеріаловъ. Задача металлографіи не въ замѣнѣ, а въ пополненіи“. Металлографія наиболѣе важна какъ средство для изученія природы желѣза и примѣняется тамъ, гдѣ химическій анализъ, который въ данномъ случаѣ вполнѣ сходенъ съ анализомъ камней, не даетъ достаточныхъ указаній для заключеній. Въ этомъ случаѣ металлографія оказываетъ намъ незамѣнимую услугу, и если бы мы упорно отказывались отъ нея, то это было бы равносильно тому, какъ если бы мы, отыскивая причины свойствъ какой нибудь каменной породы, напр. гранита, упрямо отказывались бы изслѣдовать изъ какихъ составныхъ частей состоитъ гранитъ и какія свойства имѣютъ эти части. Мало этого: сильное увеличеніе микроскопа открываетъ намъ пороки и недостатки металла, которые совсѣмъ не замѣтны невооруженному глазу, но очень часто влекутъ за собою существенныя поврежденія на практикѣ. Для примѣра укажу на случай, приводимый А. Ржешотарскимъ†), поломки вала, изготовленнаго однимъ германскимъ заводомъ для паровой машины въ Москвѣ. Хотя химическій составъ металла вполнѣ

*) Comptes rendus. 1834. t. XCIX. p. 157.

**) Proc. Inst. Mech. Eng. 1893. p. 124.

***) Stahl und Eisen 1897. S. 913.

†) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 100. 1898.

удовлетворялъ назначенной цѣли и, повидимому, изломъ былъ безъ пороковъ, но однако микроскопическія изслѣдованія обнаружили, что вся поверхность шлифа усѣяна мелчайшими чечевицеобразными язвинами, которыя, безъ сомнѣнія, и были причиною поломки вала (Фиг. 20 таб. III).

Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что прослойки шлака очень хорошо можно видѣть при помощи микроскопа (Фиг. 21 таб. III), а также внутреннія рванины, полученныя во время прокатки металла (Фиг. 22 таб. III), газовые пузыри мельчайшей формы (Фиг. 23, 24 таб. III), совершенно незамѣтные невооруженному глазу, и мѣста сварки кусковъ желѣза (Фиг. 25 таб. IV).

Нѣкоторые металлурги позднѣйшаго времени дѣлали попытки примѣнить микроскопію для опредѣленія вліянія постороннихъ примѣсей на структуру и качества желѣза. Такъ по наблюденіямъ А. Ржешотарскаго улучшающія свойства никкеля состоятъ въ томъ, что ферритъ подъ вліяніемъ никкеля выдѣляется въ видѣ весьма сложной сѣтки и, какъ бы гвоздями, соединяетъ зерна перлита (Фиг. 26 таб. IV). Чѣмъ больше содержаніе никкеля въ желѣзѣ, тѣмъ сильнѣе увеличивается связь зеренъ перлита, — развѣтвленія феррита глубже проникаютъ въ зерна перлита. (Фиг. 27 таб. IV). Видъ зеренъ феррита въ никкелевой стали и ихъ относительная твердость указываютъ, что зерна феррита состоятъ не изъ чистаго желѣза, а изъ сплава желѣза съ никкелемъ. Такое развѣтвленіе зеренъ феррита въ зернахъ перлита придаетъ никкелевой стали большую вязкость и тягучесть. Обширныя химическія и микроскопическія изслѣдованія Андруса*) надъ различными поломками локомотивныхъ осей, бандажей, рельсъ и гребныхъ винтовъ позволяютъ считать, что главной причиною этихъ несчастныхъ случаевъ было присутствіе сѣры. Оказывается, что сѣра, давая нѣкоторыя химическія соединенія съ элементами желѣза, образуетъ вкраплины, на подобіе газовыхъ пузырей, среди структуры желѣза и тѣмъ, конечно, значительно ослабляетъ сопротивленіе металла (Фиг. 28, 29 таб. IV). (Черныя пятна на шлифахъ есть сѣрнистыя соединенія металла, — вкраплины).

Только благодаря наблюденіямъ металлографіи удалось подтвердить весьма серьезную гипотезу пр. Чернова о закалкѣ и отжигѣ стали. По вопросу о ликвиціяхъ металлографія тоже можетъ дать весьма цѣнныя указанія. Явленія выдѣленія феррита въ цементитъ, въ широкомъ смыслѣ слова, надо причислять къ ликвиціямъ. Нѣтъ никакого углеродистаго желѣза, кромѣ эвтектическаго которое, не проявляло бы

*) Microscopic interval flaws inducing fracture in steel by Thomas Andrews. London. 1896.

ликвации. Но въ болѣе узкомъ смыслѣ слова подѣ ликвацией желѣза разумѣютъ явленіе обогащенія содержанія примѣсей въ той части сплава, которая затвердѣваетъ послѣ всѣхъ, а это уже прямо вытекаетъ изъ теоріи растворовъ. Въ слабыхъ растворахъ сначала застываетъ чистый растворитель, въ данномъ случаѣ углеродистое желѣзо, жидкая же масса еще болѣе обогащается посторонними тѣлами, скопляется въ срединѣ болванки и застываетъ. Аналитически это уже давно доказано, а металлографія даетъ яркую картину этого явленія, приготавливая для этого шлифы путемъ протравъ (Фиг. 30, 31 таб. IV).

Явленіе ликвации наиболѣе серьезныя послѣдствія вызываетъ при отлитіи болванокъ изъ желѣза, предназначенныхъ для дальнѣйшей обработки, ибо скопленіе постороннихъ примѣсей въ срединѣ болванки значительно понижаетъ ея однородность и мех. свойства. Анализы такихъ отдѣленій въ срединѣ болванки даютъ слѣдующіе результаты*).

Fe.	Mn O.	Si O ₂ .	Ca O.	S.	P ₂ O ₅ .
24,74	63,03	9,16	0,64	0,61	0,227
27,01	59,05	10,18	0,84	0,76	0,316
23,12	71,02	5,01	0,21	—	0,090

Такимъ образомъ внутреннія вкрапины болванки состоятъ главнымъ образомъ изъ окисловъ главныхъ элементовъ желѣза и кромѣ этого, подобное отдѣленіе въ въ болванкахъ чаще всего встрѣчается въ верхней трети болванки, а слѣдовательно, все это вмѣстѣ взятое даетъ возможность сдѣлать слѣдующее предположеніе: кислородъ, растворенный въ расплавленномъ металлѣ во время охлажденія послѣдняго, поднимается постепенно къ верху болванки и окисляетъ по пути главные элементы желѣза Fe, Mn, Si, образуя съ ними легкоплавные шлаки; эти шлаки, а также и тѣ, что остались еще въ болванкѣ отъ плавки, вслѣдствіе меньшаго удѣльнаго вѣса, всплываютъ на верхъ болванки и собираются въ верхней трети ея. Примѣсь въ шлакахъ CaO, S и P₂ O₅ чаще всего встрѣчается въ болванкахъ мартеновской стали, когда плавку ведутъ изъ шихты съ большимъ содержаніемъ чугуна и, для ускоренія хода самого процесса плавки, къ шихтѣ прибавляютъ руду и обрѣзки желѣза; такимъ образомъ CaO, Si и P₂ O₅, навѣрное, переходятъ въ желѣзо еще во время самой плавки, какъ составныя части шихты.

На вредныя послѣдствія ликвации стали надо обращать серьезное вниманіе при отлитіи отвѣтственныхъ валовъ; нельзя сильно перегрѣвать сталь до отливки, ибо съ температурой растетъ способность стали къ ликвации. Такъ по исслѣдованіямъ Arnold'a **) химическій составъ

*) Stahl und Eisen. S. 41. 1897.

**) Stahl und Eisen. S. 307. 1897.

одного литого вала, поломка котораго вызвала большое несчастье, въ различныхъ мѣстахъ былъ совершенно различенъ:

	C	Si	Mn	P	S
Въ срединѣ вала . . .	0,470	0,031	0,986	0,167	0,150
По краямъ вала . . .	0,310	0,037	0,828	0,058	0,055

Очевидно, что главная причина поломки вала его неоднородность; середина вала, вслѣдствіе присутствія большого количества сѣры и фосфора, была слабѣе его окраинъ, а поэтому и разрушеніе вала началось постепенно, незамѣтно, отъ его середины къ периферіи, что вполне подтвердилось микроскопическими наблюденіями пр. Arnold'a.

Примѣчаніе. Для уменьшенія явленія ликваціи стали надо прибавлять отъ 60 до 120 грам. алюминія на тонну мартеновской стали и отъ 80 до 210 грам. алюминія на тонну бессемеровской стали. См. Borchers. Metallhüttenkunde Aluminium. 1900.

Весьма обстоятельныя микроскопическія наблюденія были сдѣланы Stead'омъ *) надъ причинами поломки рельсъ и бандажей даже послѣ незначительнаго срока службы. Рельсы, бывшія въ употребленіи, очень легко разрушаются при изгибѣ, если только головка рельса при этомъ работаетъ на растяженіе, т. е. обращена внизъ. Еще Smith **) замѣтилъ, что рельсъ, бывший въ службѣ, снова приобретаетъ свои хорошія свойства и ничѣмъ не отличается отъ новаго, если только головку рельса обстругать приблизительно на 3 mm. толщины, но причину такого явленія не могъ выяснитъ. Только Stead'у подъ микроскопомъ удалось замѣтить на внутренней поверхности головки долго работавшаго рельса цѣлую серію рванинъ, проникающихъ на глубину 0,1—0,25 mm. и никогда не болѣе 3 mm. внутрь рельса (Фиг. 32 таб. IV). Дальнѣйшія микроскопическія наблюденія Stead'a показали, что головка рельса подъ вліяніемъ ударовъ ската поѣзда съ теченіемъ времени измѣняетъ свое строеніе, а сообразно съ этимъ и мех. свойства. Частицы металла подъ вліяніемъ ударовъ ската начинаютъ перемѣщаться по направленію движенія поѣзда, металлъ уплотняется, теряетъ свою вязкость и наконецъ подъ вліяніемъ дальнѣйшихъ ударовъ ската начинаетъ рваться съ поверхности. Рельсъ, бывший незначительный періодъ въ употребленіи, имѣетъ только измѣненную по строенію головку безъ присутствія рванинъ; достаточно такой рельсъ нагрѣть до свѣтло-краснаго каленія и медленно охладить, чтобы всѣ хорошія механическія качества желѣза возвратились-бы обратно.

*) Stead „Microscopic metallography“ „Micro-Mechanics examination of old Steel rails and tyres“ Journl of the West of Scotland Iron and Steel Institute. Voll. IV. P 23 и 24

**) Stahl und Eisen. S. 304. 1897.

Наконецъ металлографіи принадлежитъ послѣднее слово въ дѣлѣ выясненія нѣкоторыхъ весьма интересныхъ явленій механической обработки металловъ вообще. Словомъ задача металлографіи обширна и металлографія, какъ наука, несомнѣнно имѣетъ громадное будущее.

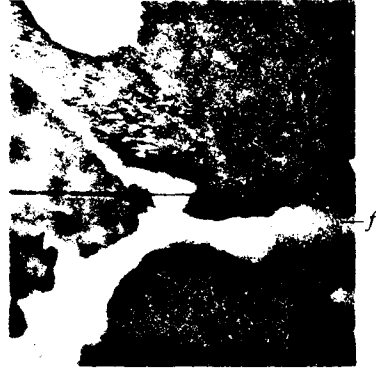
За недостаткомъ достаточнаго количества шлифовъ я не упомянулъ также въ своемъ краткомъ очеркѣ о весьма оригинальныхъ работахъ позднѣйшаго періода въ области металлографіи, но впрочемъ я питаю надежду, что въ очень недалекомъ будущемъ снова вернусь къ этимъ весьма интереснымъ вопросамъ.

Мягкая броневая сталь, прокатан.
под вальцами.



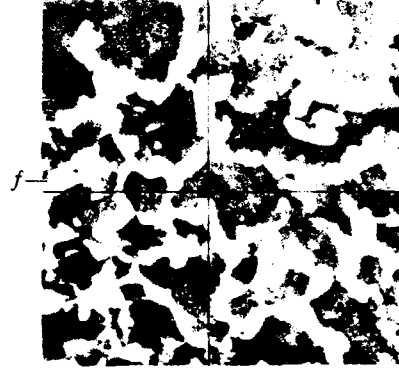
№ 7. V=100.

Образец взят из середины
маргенов. болванки с содер.
0,69% С. и 0,48% Мп., нагрѣтъ
до 550° С. и медленно охлажденъ.
f—ферритъ.



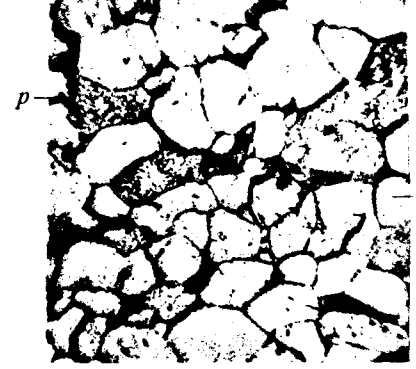
№ 5. V=100.

Мягкая сталь сь 0,6% С.
f—ферритъ.



№ 3. V=100.

Мягкая основная сталь сь 0,14%
С. *f*—ферритъ, *p*—перлитъ.



№ 1. V=300.

№ 8. V=100.



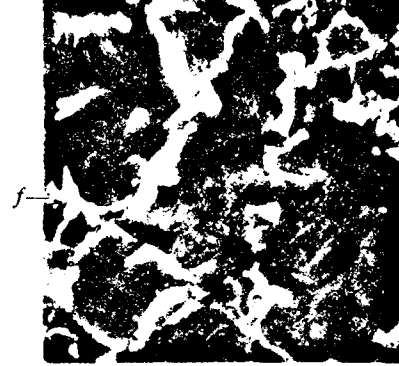
Сталь сь 0,95% С. Рельефная
полировка. *c*—цементитъ.

№ 6. V=100.



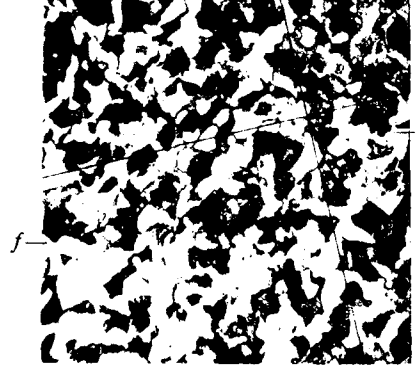
Кованная сталь. *f*—ферритъ.

№ 4. V=100.



Сталь сь 0,72% С. *f*—ферритъ.

№ 2. V=100.



Мягкая сталь сь 0,45% С.
f—ферритъ.

Сѣрый чугунъ, рафинированный въ бессемер. ретортѣ. *g*—графитъ, *p*—перлитъ.



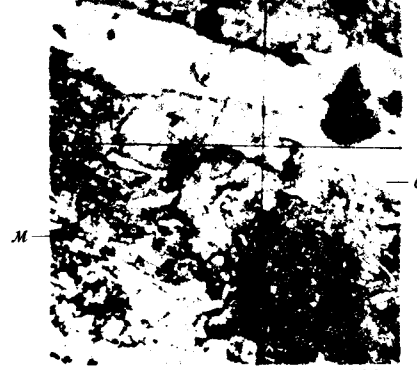
№ 15. V=200.

Твердая отожженная сталь. Перлитъ.



№ 13. V=600.

Сталь съ 1,5% С. Рельефная полировка. *c*—цементитъ и *m*—мартензитъ.



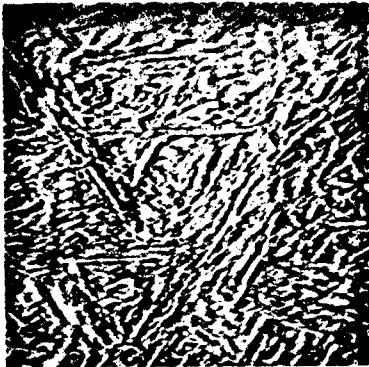
№ 11. V=100.

Цементная сталь съ 1% С. Рельефная полировка. *c*—цементитъ.



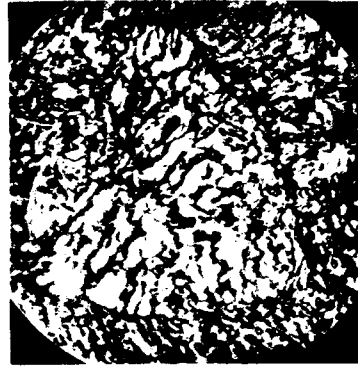
№ 9. V=100.

№ 16. V=1000.



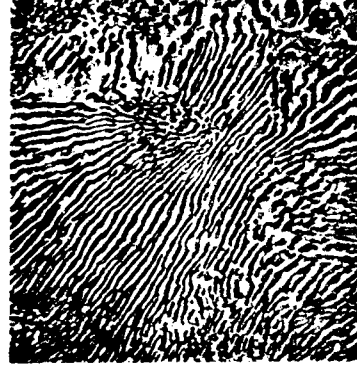
Сталь съ 0,45% С. нагрѣта до 825° и закалена при 720° С. Рельеф. полиров. съ протравой. Мартензитъ.

№ 14. V=1240.



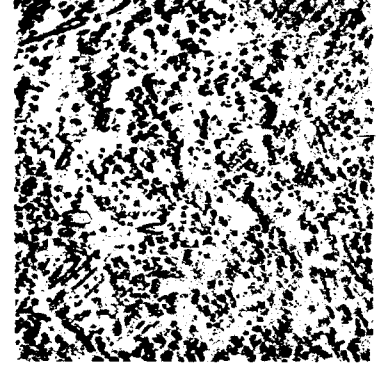
Кован. тигельн. сталь съ 0,92% С. Зернистый перлитъ.

№ 12. V=1000.



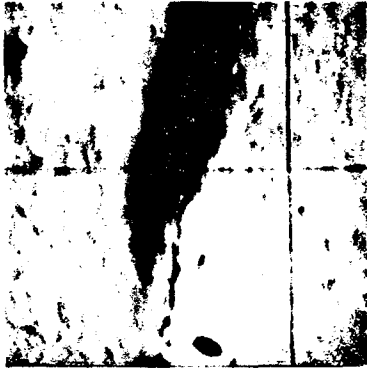
Сталь съ 0,45% С., нагрѣта до 800° и закалена при 720° С. Рельефная полиров. съ протравой.

№ 10. V=1000.



Сталь съ 1,24% С. Рельефная полировка. *c*—цементитъ.

Кованная литая сталь.



№ 23. V=100.

Цементная сталь. *c*—цементит, *m*—мартензит, *ш*—шлак.



№ 21. V=100.

Томасовский чугун послѣ 108 ч. отжига въ древес. углѣ. Рельефная полировка. *g*—(черное) углеродъ отжига, *c*—цементитъ, *p*—перлитъ.



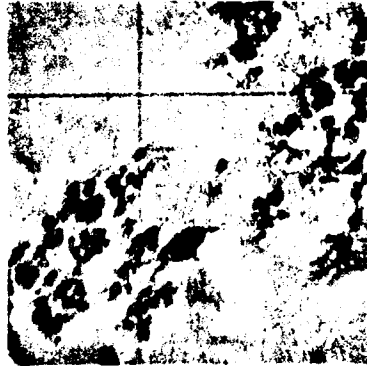
№ 19. V=270.

Закаленная сталь съ 0,85% С. Мартензитъ.



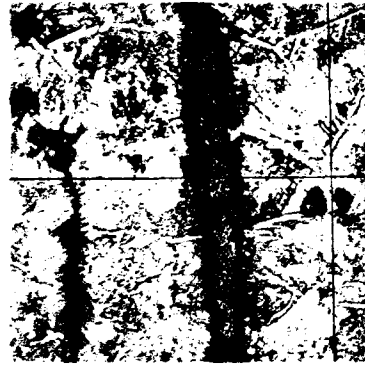
№ 17. V=800.

№ 24. V=100.



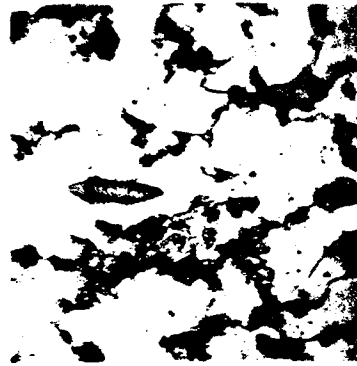
Кованная литая сталь.

№ 22. V=100.



Прокатанная сталь.

№ 20. V=500.



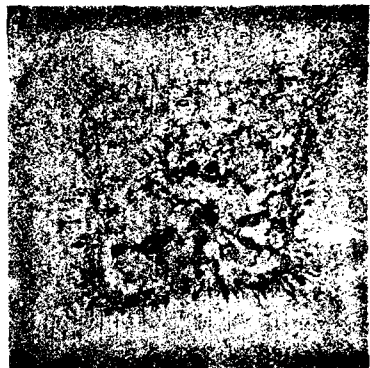
Образецъ взятъ изъ словагшаго вала.

№ 18. V=90.



Сѣрый чугунъ съ 0,72% Si., 1,43% Mn. и 1,8% P. Рельефная полировка. *p*—перлитъ (въ углубленіи), *c*—цементитъ (выдается) и *g*—графитъ.

Медленно охлажден. болван. изъ слабо перегрѣтаго желѣза.



№ 31.

Сталь съ содержаніемъ 0,03% S.



№ 29.

V=500.

Никкелевая сталь съ 0,3% С. и 3% Ni. *f*—ферритъ.



№ 27.

V=100.

Образецъ сварочнаго желѣза. Рельеф. полировка (мѣста сварки имѣють блестящую поверхность).



№ 25.

V=1,1.

№ 32.

V=5.



Видъ головки работавшаго рельса сверху.

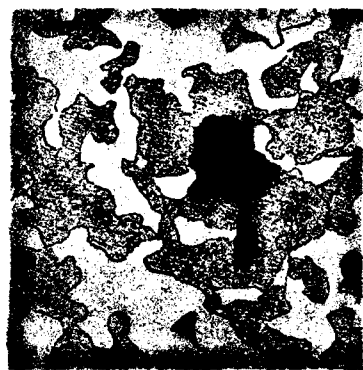
№ 30.



Медленно охлажден. болван. изъ сильно перегрѣтаго желѣза.

№ 28.

V=500.



Сталь съ содержаніемъ 0,02% S.

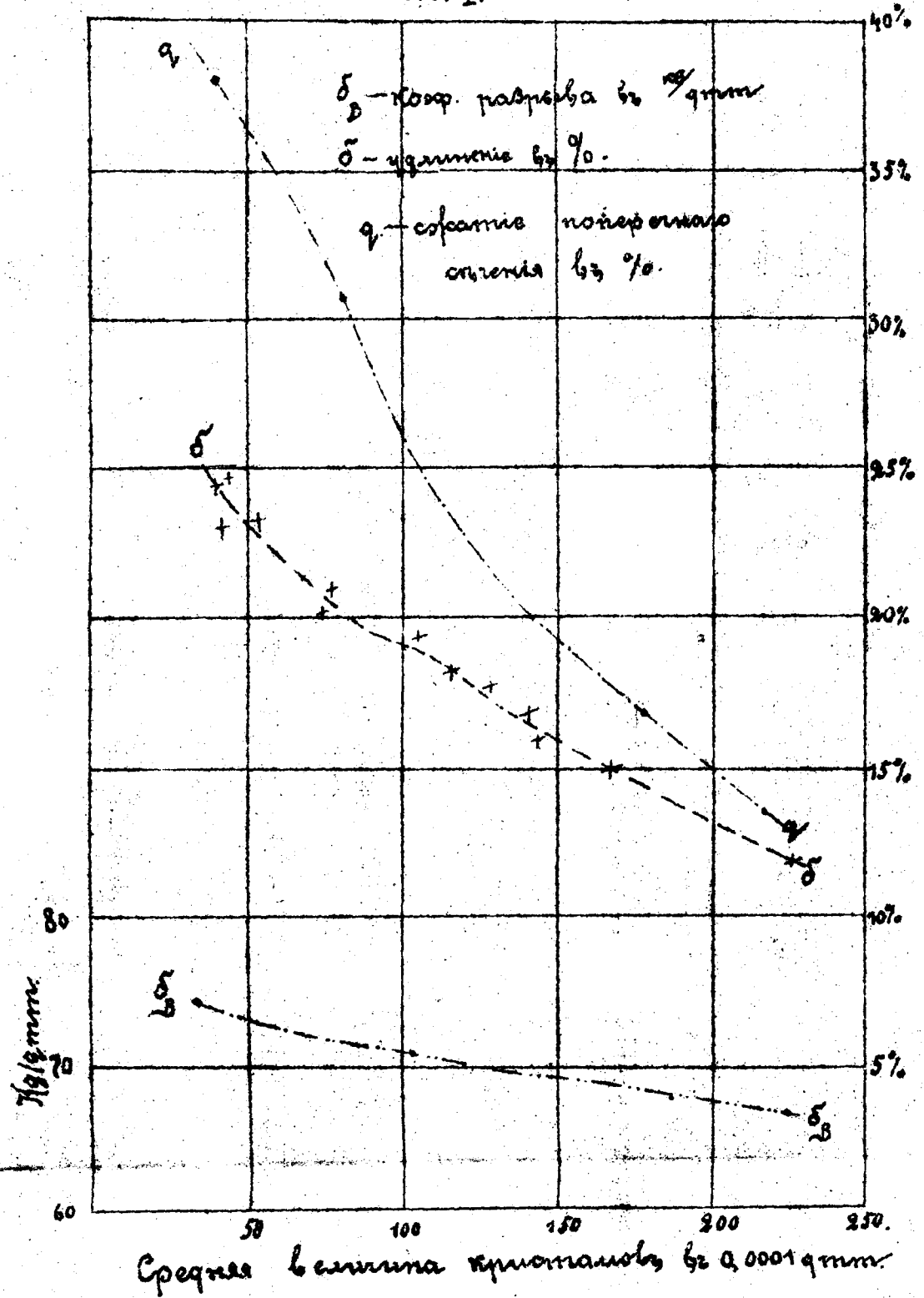
№ 26.

V=100.

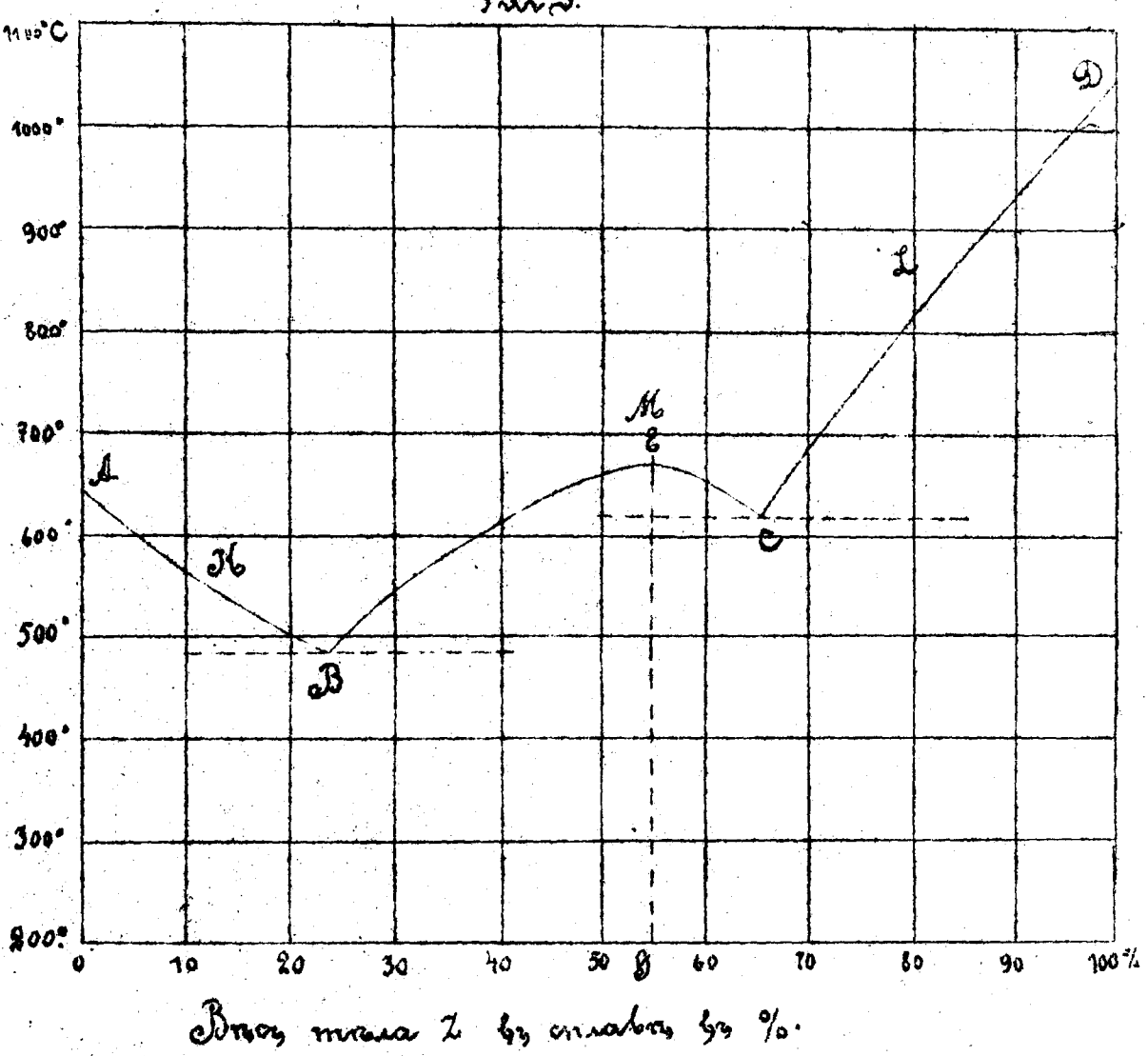


Никкелевая сталь съ 0,25% С. и 2% Ni. *f*—ферритъ.

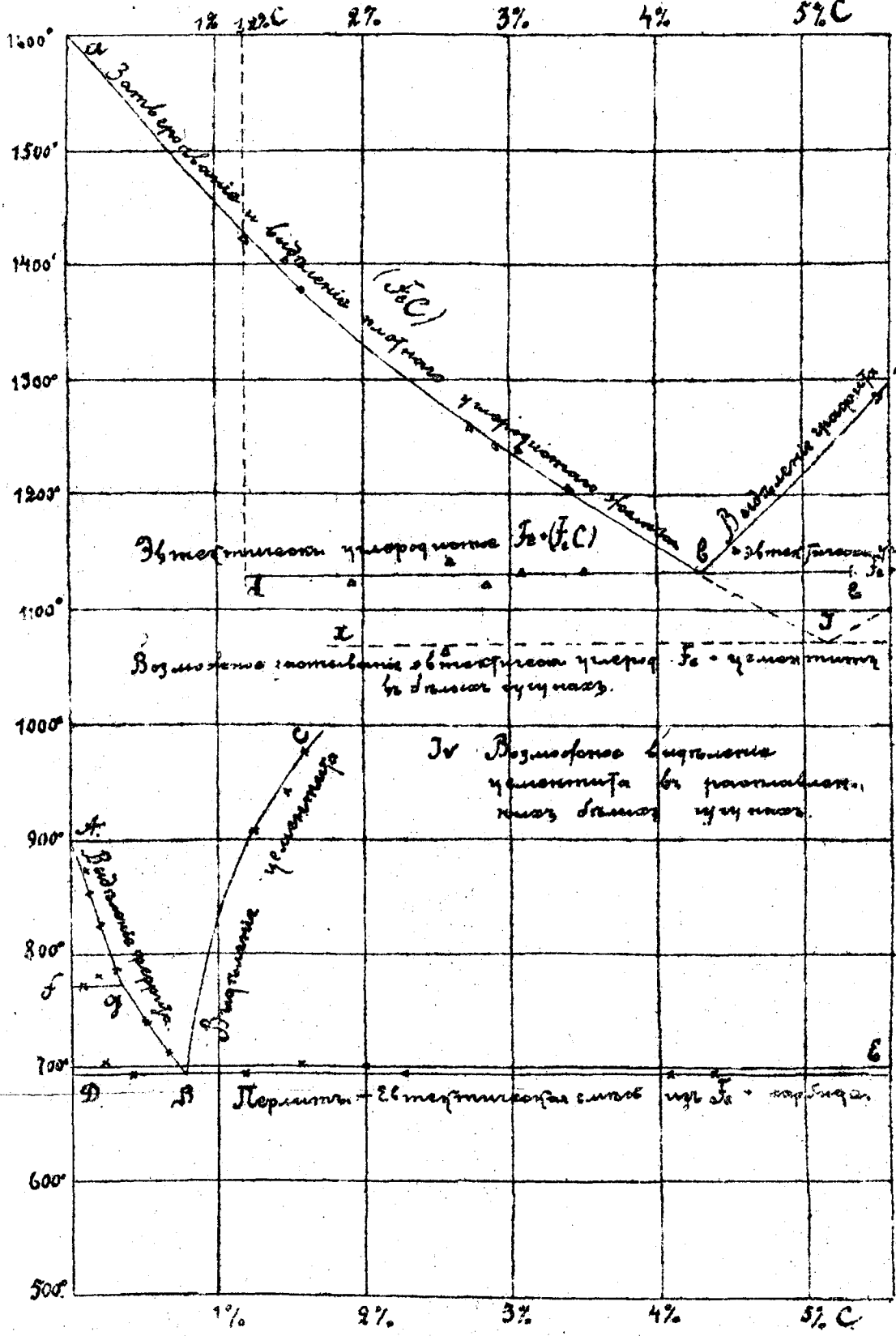
Фиг. 1.



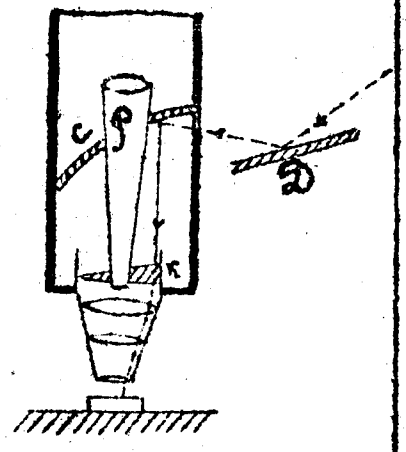
Фиг. 3.



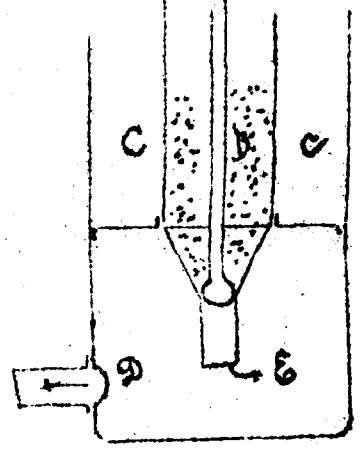
Фиг. 8.



Фиг. 9.



Фиг. 10.



Средняя температура кипения воды, $\text{в } 0,0001 \text{ г мм}.$

Рис 2.

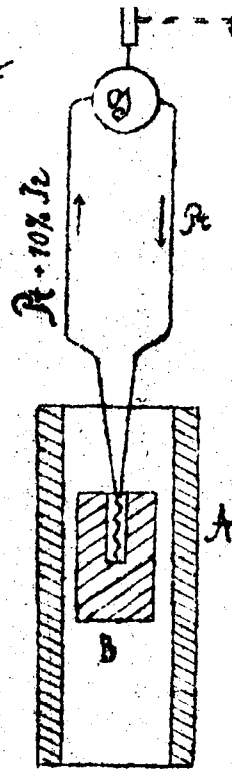
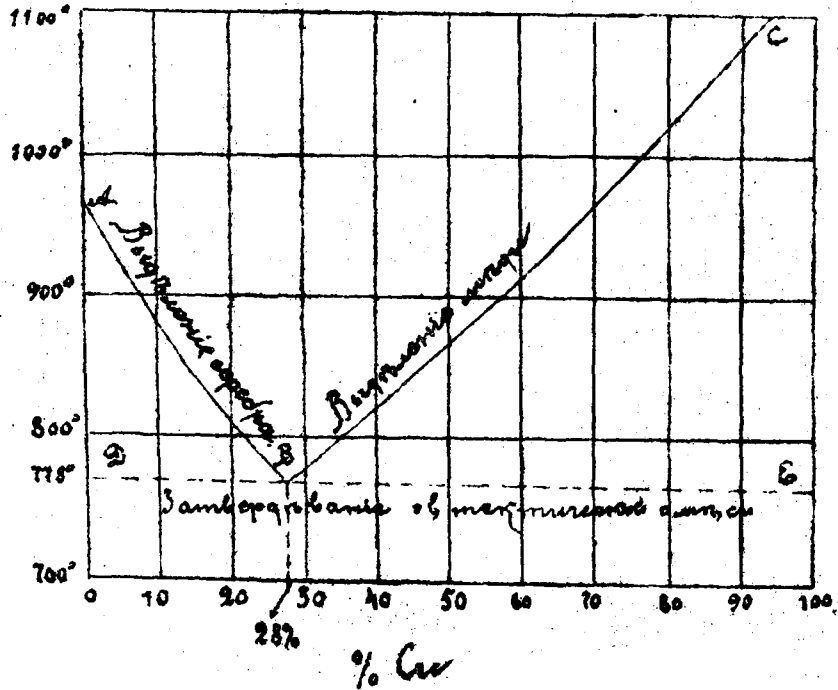


Рис 5.

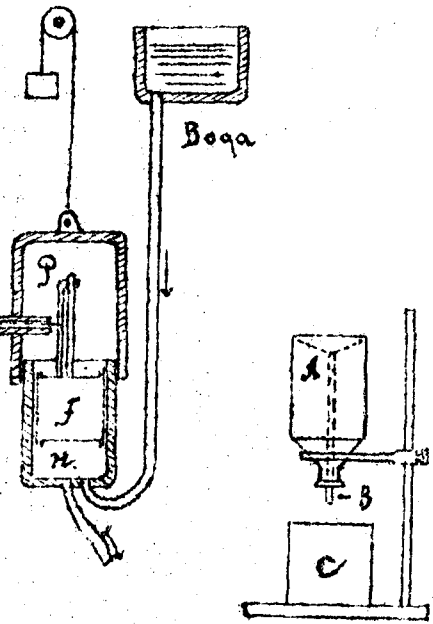


Рис 1.

Рис 1а

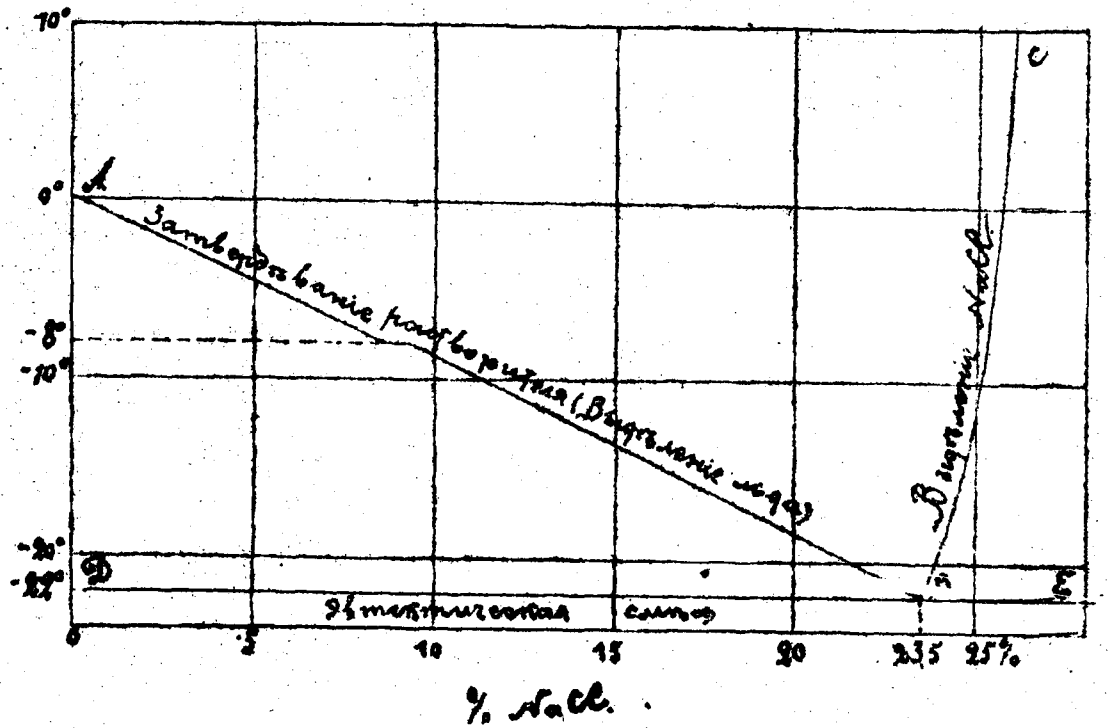


Рис 3



Рис 4

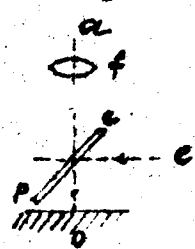
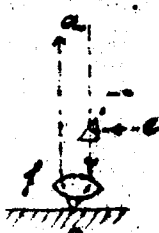
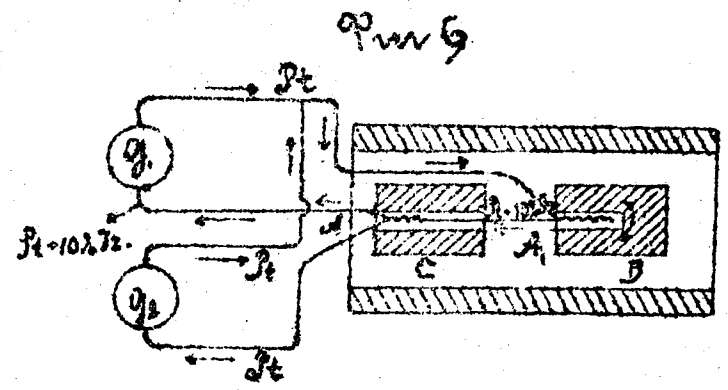
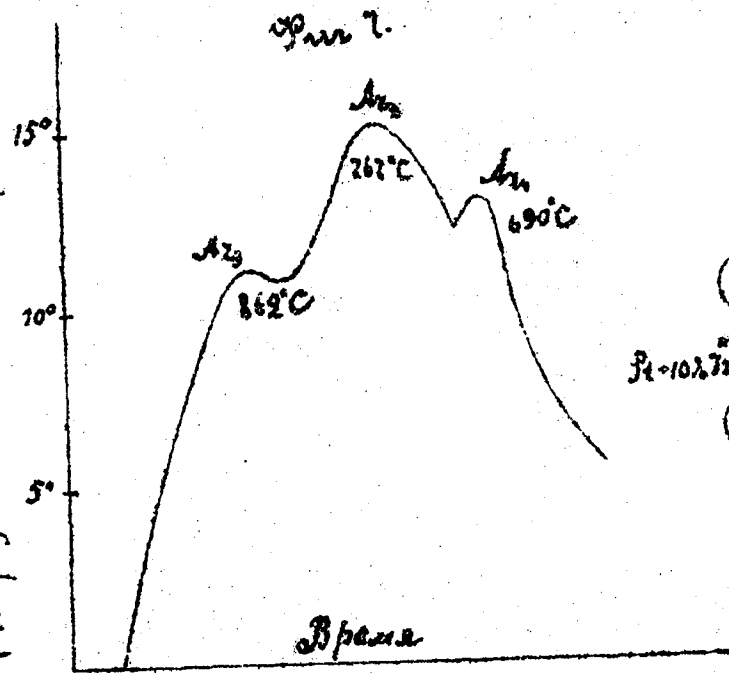


Рис 5



0 - предмет, f - предметная область, по которой
отрабатывается материал, по правилу, в зависимости
из и а - соответствующий из.

Робота на термопарни измерители
(Програма на лабораторна работа)



Инженеръ Л. Н. Любимовъ.

ВОСЕМНАДЦАТИФУНТОВЫЙ РЕЛЬСЪ

и

ЕГО СЛУЖБА

на Сибирской дорогѣ.



ТОМСКЪ.

Паровая Типо-Литографія П. И. Макушина, Благовѣщ. пер., соб. дощъ.

1903.



перевозочными средствами и обезпечена способами ихъ храненія и ремонта. .. На перегонахъ между станціями должны быть устроены площадки для путей съ такимъ расчетомъ, чтобы съ устройствомъ сихъ разъѣздовъ пропускная способность дороги могла быть доведена до *7 паръ* сквозныхъ воинскихъ поѣздовъ».

Значительность строительнаго капитала и вмѣстѣ съ тѣмъ обусловливаемая малонаселенностію края и развитія въ немъ промышленности, гадательность: явится ли уже въ ближайшемъ будущемъ необходимость усиливать движеніе дороги до вышеупомянутаго *предельнаго* предначертанія—*семи паръ* поѣздовъ:— все это заставило намѣтить для постройки возможно скромныя первоначальныя условія. Такимъ образомъ въ основаніе проектированія дороги, между прочимъ, было принято достиженіе наименьшей первоначальной стоимости сооруженія путемъ соотвѣтствующихъ упрощеній въ техническихъ условіяхъ, насколько это могло быть конечно допущено безъ ущерба для прочности. По вышеуказанной причинѣ рельсовый путь Сибирской магистрали устроенъ *облегченнаго* типа, съ предположеніемъ допущенія скорости движенія *не превосходящей* 25 верстъ въ часъ, и при условіи обращенія лишь шестиколесныхъ паровозовъ. На этомъ основаніи были уложены *легкіе* рельсы, вѣсомъ 18 фунтовъ въ погонномъ футѣ, уменьшена толщина балластнаго слоя до 0.12 сажени (подъ подошвою рельса), при ширинѣ по верху 1.30 сажени, и допущены шпалы длиною 1.15 сажени, вмѣсто 1.25 сажени.

Неожиданно большой ростъ движенія (въ настоящее время предстоитъ развитіе путей для пропуска *16 паръ* поѣздовъ), вызвавшій въ свою очередь необходимость ускоренія сего послѣдняго и назначенія въ обращеніе болѣе сильныхъ паровозовъ, заставили въ самомъ скоромъ времени признать всю несостоятельность дальнѣйшаго оставленія на дорогѣ *легковѣсныхъ* 18-ти фунтовыхъ рельсовъ.

Главныя обстоятельство, выяснившія все несоотвѣтствіе этихъ рельсовъ: I. *Недостаточность ихъ сопротивленія горизонтальнымъ силамъ*. II. *Исключительно сильный износъ* и III. *Лопанье*.

I.

Недостаточность сопротивленія рельсовъ горизонтальнымъ силамъ.

Недостаточность сопротивленія 18 фунтоваго рельса горизонтальнымъ силамъ выражается въ троякаго рода явленіяхъ: 1) *Изгибъ* рельса *въ горизонтальной плоскости*. 2) *Подъѣданіи* костылей. 3) *Выкаптовываніи* рельса *и волнообразномъ сдвигѣ* пути.

§ 1. *Изгибъ* рельса *въ горизонтальной плоскости*. Обращаясь къ изслѣдованію перваго изъ вышеуказанныхъ явленій—*изгибу* рельса *въ горизонтальной плоскости*, я позволю себѣ отмѣтить, что континентальность суроваго Сибирскаго климата, гдѣ температура колеблется въ столь широкихъ предѣлахъ, какъ -40 и до $+40^{\circ}$ R. крайне тяжело отзывается на верхнемъ строеніи пути вообще. Въ данномъ же случаѣ вліяніе жаровъ сказывается въ довольно исключительномъ видѣ: наблюдается, что при повышеніи температуры *рельсы не преодолеваютъ* тренія при туго заболченныхъ накладкахъ, а *выгибаются* въ горизонтальной плоскости въ различныхъ мѣстахъ звена, образуя извилины съ замѣтною иногда даже сравнительно издалика стрѣлою изгиба. Такимъ образомъ *зазоръ* въ стыкѣ, не смотря на свое *наличіе—теряетъ все свое значеніе*. Понятно, что выгибъ можетъ достигнуть и такихъ размѣровъ, при которыхъ—колеса подвижнаго состава провалятся во внутрь колеи, или же самъ путь на болѣе или менѣе значительномъ протяженіи сдвинется нѣсколько въ сторону. Такихъ случаевъ наблюдалось на Сибирской дорогѣ нѣсколько, но особенно характеренъ одинъ изъ нихъ, условія котораго могутъ дать вполне ясное представленіе: какъ о самой картинѣ явленія, такъ и о

тяжелыхъ послѣдствіяхъ имъ вызываемыхъ. Рѣчь идетъ о крушеніи почтоваго поѣзда № 3, шедшаго 12 мая 1900 года изъ Иркутска въ Челябинскъ на 1765 верстѣ отъ Челябинска (между станціями Маріинскъ и Боготоль). Поѣздъ этотъ, шедшій въ составѣ одного багажнаго, одного почтоваго и семи класныхъ вагоновъ при одномъ восьмиколесномъ паровозѣ потерпѣлъ крушеніе на 1765 верстѣ при нижеслѣдующихъ обстоятельствахъ: при слѣдованіи поѣзда по 0.008 подъему и кривой радіуса 250 саж. со скоростью около 15 в. въ часъ, машинистъ такового, не доѣзжая около 20 саж. до мѣста схода, замѣтилъ перекосъ упорной колеи во внутрь въ *видѣ угла*. Сознавая неминуемую опасность, онъ успѣлъ однако только закрыть регуляторъ. Черезъ минуту послѣ сего паровозъ уже сошелъ съ рельсовъ и, пройдя по шпаламъ около 27 саж., зарылся влѣво въ насыпь. Машинистъ, его помощникъ и кочегаръ успѣли соскочить съ паровоза и, падая, получили лишь незначительные ушибы. За паровозомъ сошли: его тендеръ (переднимъ скатомъ и заднимъ лѣвомъ колесомъ), багажный вагонъ № 563 сталъ подъ угломъ къ тендеру, слѣдующій за таковымъ вагонъ III класса сошелъ переднимъ скатомъ влѣво. Какъ паровозъ, такъ и вагоны оказались значительно помятыми и съ множествомъ поломанныхъ частей. При дальнѣйшемъ осмотрѣ оказалось, что путь испорченъ на протяженіи пятидесяти сажень, а отъ начала и до конца мѣста схода—совершенно изрытъ паровозомъ, шпалы переломаны и рельсы выкантованы. Въ первомъ звенѣ (см. схему на листѣ чертежей № I) лѣвый рельсъ *aa* опрокинутъ головкой влѣво по направленію движенія, правый же рельсъ *a₁a₁* лежитъ нормально, начальные стыки *ss* обѣихъ колеи остались въ неразрывной связи съ предшествующими звеньями, на которыхъ вліяніе общей деформации пути отразилось слабо. Во второмъ звенѣ лѣвый рельсъ *bb* опрокинутъ головкой влѣво по направленію движенія, а правый *b₁b₁* лежитъ нормально. Оба стыка *ab* и *a₁b₁* разорваны, стыкъ *bc* также. Стыкъ *b₁c₁*—цѣлъ. Въ третьемъ звенѣ рельсъ *cc* лежитъ на бровкѣ полотна опрокинутымъ влѣво по направленію движенія. Рельсъ *c₁c₁* выкантованъ влѣво, но стыки его съ сосѣдними рельсами не разорваны. Въ четвертомъ звенѣ рельсъ *dd* лежитъ опрокинутымъ подошвою вверхъ, рельсы *d₁d₁* искривлены; стыкъ *cd*

разорванъ. Въ пятомъ звенѣ лѣвый рельсъ въ разстояніи 1.60 саж. отъ стыка (въ сторону Иркутска)—лопнулъ. При этомъ часть s_1 осталась скрѣпленною съ лѣвымъ рельсомъ предшествующаго звена, а часть s_2 — отогнута въ сторону Челябинска. Сломанный конецъ i найденъ упертымъ въ нижнюю часть котла, конецъ i_1 — торчащимъ изъ подъ паровоза, при этомъ стыкъ его съ лѣвымъ рельсомъ послѣдующаго звена не разорванъ, а сей послѣдній согнутъ *въ дугу* (см. фототипію № 1). Стыкъ правой колеи разорванъ, а само звено изогнуто *въ дугу*. Въ шестомъ звенѣ обѣ колеи выгнуты въ дугу въ правую сторону, смотря по направленію движенія. Седьмое звено сдвинуто лишь нѣсколько вправо, но не изогнуто. Въ дальнѣйшихъ звеньяхъ путь вполнѣ нормаленъ.

Произведенное разслѣдованіе показало, что шпалы въ мѣстѣ схода укладки того-же 1900 г., уширеніе и повышеніе въ частяхъ кривой до и послѣ схода вполнѣ нормальны, балластный же слой былъ лишь 0.12 саж. Въ виду сего причиною схода слѣдуетъ считать вышеуказанное искривленіе рельсъ, явившееся послѣдствіемъ слабой профили таковыхъ и сдвига пути при ихъ искривленіи, благодаря невольнѣ нормальному количеству балласта *).

Вышеуказанное явленіе искривленія происходитъ иногда почти *внезапно*. Такъ, на примѣръ, въ данномъ случаѣ за *полтора часа* только до крушенія п. № 3 по тому же мѣсту вполнѣ благополучно прослѣдовалъ почтовый же п. № 4.

§ 2. Подѣданіе костьюлей. Явленіе это находится несомѣнно въ тѣсной зависимости отъ указаннаго въ предъидущемъ § продольнаго изгиба рельсовъ благодаря слабости ихъ профили и и выражается въ неуклонномъ *подпиливаніи* стержня костьюли близъ его головки подошвою рельса при проходѣ подвижнаго состава. Нѣкоторое представленіе объ этомъ явленіи можно получить изъ разсказа одного изъ машинистовъ, ѣхавшаго съ товарнымъ поѣздомъ по одному изъ горныхъ перегоновъ Восточнаго участка дороги. Машинистъ этотъ только что прибывшій

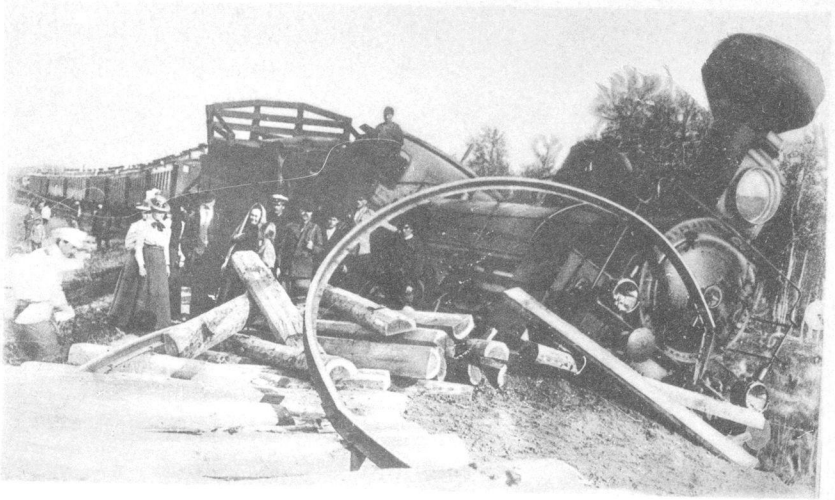
*) Последнее обстоятельство не могло быть поставлено въ вину администраціи дороги, такъ какъ полная балластировка Восточнаго участка Сибирской дороги будетъ закончена лишь въ 1903 году.

на станцію своего тягового участка, гдѣ стоялъ въ это время поѣздъ, съ которымъ я ѣхалъ, тотчасъ же просилъ мѣстнаго Начальника участка тяги передать мнѣ пять головокъ костылей, заявивъ, что слѣдя весьма медленно по 0.017 подъему услышалъ (былъ довольно сильный морозъ при совершенно тихой погодѣ) вполне отчетливо «щелканье», сначала: *разъ*, затѣмъ *второй* разъ, за симъ еще *три* раза подрядъ. Думая, что случилась какая либо поломка въ паровозѣ, онъ остановилъ поѣздъ на ближайшей площадкѣ, осмотрѣлъ паровозъ и, не найдя въ немъ никакихъ неисправностей, заключилъ, что, быть можетъ, лопнулъ подъ поѣздомъ рельсъ. Возвратившись по сему пѣшкомъ къ мѣсту, гдѣ было услышано имъ щелканье—онъ нашелъ и подобралъ, какъ оказалось, отлетѣвшія отъ *подъѣденныхъ* костылей вышеупомянутыя пять головокъ. Прилагаемый фототипическій снимокъ № II представляетъ собою не умышленно сгруппированный сортаментъ такихъ костылей, а взятый на выдержку изъ кучи приготовленныхъ къ сдачѣ въ ломъ на дворѣ участковой кладовой одного изъ горныхъ участковъ.

Опредѣленіе въ натурѣ средней величины подѣданія костылей вышеупомянутаго снимка даетъ для промежуточнаго костыля отъ 3 мм. до 5 мм. (съ 14 мм. на 9 мм.)—для стыковаго 5 мм. (съ 14 мм. на 9 мм.). Понятно, что на дѣлѣ встрѣчаются случаи и бѣльшаго подѣданія, доходящаго какъ было указано выше, до полнаго *отскакиванія* головки. Нетрудно видѣть, что при проходѣ поѣзда пружинящіе въ горизонтальномъ направленіи рельсы послѣ прохода принимаютъ снова нормальное положеніе.

По изслѣдованіямъ извѣстнаго германскаго ученаго Вебера, произведеннымъ имъ на хорошо содержимыхъ дорогахъ, относительно давленія, претерпѣваемаго рельсами въ кривыхъ, оказывается, что при малыхъ радіусахъ нажатіе на упорную колею достигаетъ 8, а на внутреннюю—7 м.м. Нажатіе это, а вслѣдствіе сего и *временное уширеніе* пути обнаруживаются *мгновенно* при давленіи закраины бандажа, стремящейся опрокинуть рельсъ, который принимаетъ, какъ было сказано, первоначальное положеніе, какъ только кончается это минутное давленіе.

Наибольшая допускаемая на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ ширина колеи на кривыхъ колеблется, какъ извѣстно, въ пре-



Крушение поезда № 3 на 1765 верстѣ 13 мая 1900 года.

№ II.



Подъѣданіе костьюлей.

дѣлахъ отъ 1544,7 м.м. (0.724°) и до 1553 м.м. (0.728°), причемъ въ вышеуказанныя цифры входитъ и то *временное уширеніе*, которое можетъ послѣдовать отъ движенія поѣздовъ. На Сибирской дорогѣ общее уширеніе это для радіусовъ отъ 120° до 150° установлено въ 0.01 сажени. Такимъ образомъ предѣльная ширина пути въ кривыхъ выразится черезъ 0.724 сажени = 1544,7 м.м. ∞ 1545 м.м.—Если прибавить сюда *временное нажатіе* на упорную колею, положимъ, *только въ 5 м.м.* и *игру* въ подѣдѣ костылей—получимъ $1545 + 2 \times 5 = 1555$ м.м.—т. е. ширину безъ условно *крайне опасную*, такъ какъ при сказанномъ нажимѣ ребордъ колесъ на наружную колею—закраины противоположащихъ колесъ будутъ едва-едва держаться на внутреннемъ рельсѣ (вѣрнѣе на внутренней боковой грани его головки).—Само собою разумѣется, что достаточно малѣйшаго толчка въ пути, чтобы произошелъ сходъ.

Равнымъ образомъ почти неминуемъ сходъ и въ томъ случаѣ, если по кривой малаго радіуса слѣдуетъ подвижной составъ на такихъ ходовыхъ частяхъ, кои въ силу той или другой—неисправности излишне распираютъ путь, т. е., другими словами, увеличиваютъ упомянутое нажатіе до предѣловъ еще болѣе высокихъ, чѣмъ опредѣлилъ Веберъ.—Такое явленіе замѣчалось неоднократно на Сибирской дорогѣ при малыхъ скоростяхъ поѣздовъ и нѣкоторыхъ недостаткахъ въ телѣжкахъ вагоновъ, благодаря которымъ таковыя лишь съ *трудомъ поворачивались* въ кривой, и наступалъ моментъ, когда та или другая телѣжка (особенно *задняя*) принимала такое положеніе, при которомъ скаты ея распирала ослабленную подѣдомъ костылей внутреннюю колею и выкантовывали ее наружу. Таковы были, на примѣръ, обстоятельства схода почтового поѣзда № 4, 25 декабря 1900 года. При слѣдованіи сего поѣзда по кривой радіуса 250° на 2386 верстъ *) отъ Челябинска сошли съ рельсовъ: 3-й отъ паровоза вагонъ III класса правыми колесами задней телѣжки; 4-й микстъ I—II класса—лѣвыми колесами передней телѣжки и правымъ колесомъ одного ската задней; 5-й вагонъ II класса лѣвыми колесами передней телѣжки и правымъ колесомъ одного ската задней телѣжки и 6-й—III класса лѣвымъ переднимъ ко-

*) Между станціями Иланская и Тайшетъ.

лесомъ передней телѣжки. Поѣздъ былъ остановленъ тормазомъ Вестингауза въ растояніи 20 сажень отъ мѣста схода, причемъ благодаря тому обстоятельству, что поѣздъ шелъ на 0.016 подъемъ со скоростью только около 15—17 верстъ въ часъ—сходъ обошелся не только безъ несчастій съ людьми, но и почти что безъ поломокъ въ подвижномъ составѣ. Проверка пути послѣ происшествія показала въ общемъ его полную нормальность по уровню и шаблону, достаточную толщину балласта и хорошее качество шпаль. Въ самомъ мѣстѣ схода—упорная колея въ сторону направленія движенія осталась совершенно не тронутой. Одно звено этой же колеи отъ начала схода въ сторону противоположную направленію движенія сдвинуто съ своего нормальнаго положенія на *толщину костыля*. Одинъ костыль, прикрѣпляющій рельсъ къ подкладкѣ и шпальъ съ наружной стороны упорной колеи срѣзанъ.—Четыре звена *внутренней* колеи были *выкантованы* наружу примѣрно на 45° отъ нормальнаго положенія. Костыли, укрѣпляющіе эту колею съ наружной стороны, хотя и остались на мѣстѣ, но сильно подѣдены, а головки ихъ *даже отогнулись*. Костыли съ внутренней стороны (по два на каждой шпальѣ) выдернуты изъ шпальъ приблизительно на $\frac{1}{3}$ своей длины. Разслѣдованіемъ установлено, что сходъ начался съ задней телѣжки вагона III класса, реборды колесъ которой, упираясь въ головку внутренняго рельса, выкантовали его благодаря слабому сопротивленію подѣденныхъ костылей наружу.—Подробный осмотръ телѣжки вышеуказаннаго вагона (кузовъ вагона былъ поднятъ на ближайшей къ мѣсту схода станціи въ обратномъ депо, и телѣжки выкачены)—далъ нижеслѣдующіе результаты: 1) Заточка у шкворня телѣжки въ соприкасающихся между собою частяхъ телѣжки и кузова показала, что части этой опоры сравнительно долгое время были уже въ бездѣйствіи, такъ какъ поверхности нижняго уступа заточки, какъ кузова такъ и телѣжки оказались покрытыми слоемъ *старой ржавчины*, мѣстами же липкой грязью. Кромѣ того на шкворневой заточкѣ у кузова вагона оказались *глубокія задины* по направленію вращенія соприкасающихся поверхностей.

2) У одной изъ боковыхъ подушекъ телѣжки вагона, по которымъ скользилъ кузовъ его при поворотахъ—оказалась бле-

стящая, полированная поверхность отъ постоянного соприкасанія, а у другой, кромѣ сказанной гладко-отполированной поверхности, замѣчался цѣлый рядъ концентрическихъ, идущихъ вдоль подушки бороздъ. Третья и четвертая подушки: на половину— блестяще полированы, а на половину покрыты ржавчиной. Изъ сего ясно, что кузовъ вагона всею своею тяжестью опирался совершенно неравномѣрно на подушки обѣихъ телѣжекъ, а именно: на одной телѣжкѣ на *половину* поверхности подушки, а на другой — на *всю* ихъ поверхность, шкворневые же заточки совершенно не служили точками опоры и въ передачѣ груза не участвовали.

Многочисленность сходовъ отъ совокупности вышеуказанныхъ причинъ взаимодѣйствія слабого пути и нѣкоторыхъ неисправностей ходовыхъ частей подвижнаго состава заставила администрацію дороги обратить вниманіе главнымъ образомъ на усиленіе пути въ смыслѣ подведенія добавочныхъ подкладокъ на каждой шпалѣ въ кривыхъ радіуса до 300 включительно, съ забивкою добавочныхъ костылей. Подъѣздъ костылей послѣ сего, правда, нѣсколько уменьшился, но въ общемъ продолжалъ достигать весьма внушительныхъ цифръ:

Такъ, на примѣръ, за два года: 1900 и 1901 г.г.—смѣнено на 7 только участкахъ дороги по причинѣ *подгъда* 288.500 штукъ костылей, въ этомъ числѣ *промежуточныхъ* 244.500 и *стыковыхъ* 44.000 штукъ!

§ 3. **Выкантовываніе рельсовъ и волнообразный сдвигъ пути.** Слабость профиля рельса выразилась съ особенною ясностію въ такихъ случаяхъ, какъ разрушеніе пути при чрезмѣрныхъ скоростяхъ движенія поѣздовъ.

Извѣстно, что сила боковыхъ ударовъ паровозовъ несравненно выше сопротивленія рельсоваго пути и, если не происходитъ постоянныхъ сходовъ, то это благодаря только тренью рельсовъ обѣ бандажи тѣхъ же стремящихся опрокинуть ихъ колесъ. Сила тренія конечно пропорціональна нагрузкѣ на колесо и въ случаяхъ разгрузки одного или другого колеса вслѣдствіе неправильныхъ временныхъ перемѣщеній тяжести паровоза, являющихся при чрезмѣрно быстрой ѣздѣ,—сила сохраняющаго путь тренія—болѣе или менѣе исчезаетъ, и остается одно лишь разрушающее дѣйствіе боковыхъ ударовъ отъ временно слабо нагруженныхъ колесъ, противъ вліянія которыхъ недостаточны со-

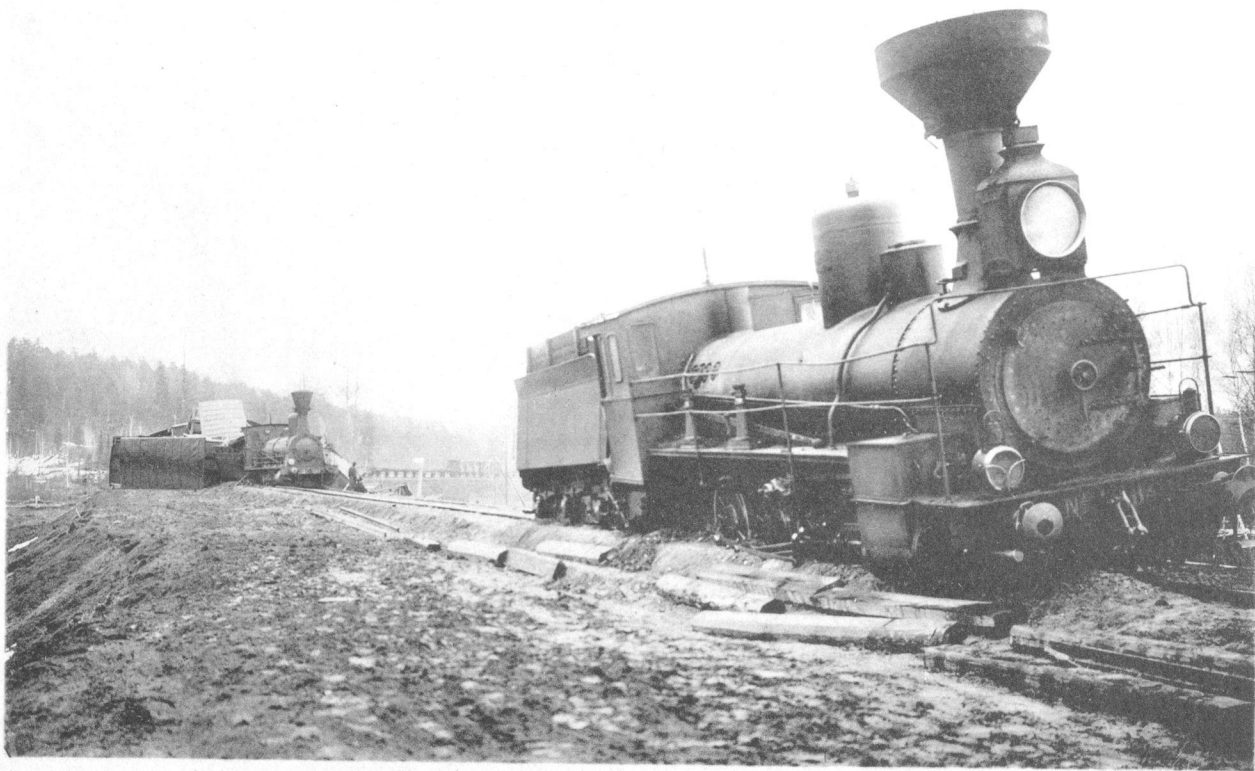
противленія костылей даже усиленныхъ подкладками. Но все же степень вѣса и жесткости профиля рельсовъ должны бы въ дѣлѣ этого сопротивленія оказывать существенную помощь—между тѣмъ 18-тифунтовый рельсъ здѣсь болѣе чѣмъ гдѣ либо показываетъ свою полную несостоятельность, такъ какъ картина почти cadaго крушенія отъ вышеуказанной причины сопровождалась или: а) *выкантовываніемъ* рельсовъ на значительномъ протяженіи, какъ будто бы они были пришиты простыми гвоздями, а не костылями, или б) *волнообразнымъ* сдвигомъ пути. Въ первомъ случаѣ весьма часто рельсы *ложились* совершенно *плшмя*, такъ что часть подвижнаго состава проходила по *желобку*, образованному головкою и подошвою рельса.—Въ этомъ отношеніи весьма поучителенъ случай крушенія п. № 33 на 2436 верстѣ (между станціями Тайшетомъ и Нижнеудинскомъ) 6-го апрѣля 1901 года.

Поѣздъ этотъ, слѣдовавшій въ составѣ двухъ паровозовъ, одного груженаго и 42 порожнихъ вагоновъ, при выходѣ съ 0.015 уклона на площадку потерпѣлъ въ концѣ кривой радіуса 150° крушеніе, причемъ сначала сошелъ съ рельсовъ 2-й паровозъ, затѣмъ оторвался отъ него первый паровозъ, разорвалъ упорный рельсъ и, *выкантовавъ* всю упорную *колею* на протяженіи 23 сажень, прошелъ правымъ колесомъ по желобку между головкою и подошвою опрокинутой колеи на всемъ указанномъ пространствѣ и зарылся засимъ въ насыпи, какъ показано на фототипи № III; при этомъ разбито въ дребезги двадцать три порожнихъ вагона, нагромоздившихся на протяженіи всего лишь 18 сажень одни на другіе. Изъ лицъ, сопровождавшихъ поѣздъ, по какому то особому счастью получили, и то только незначительные ушибы, лишь двое.—Отмѣчу, что вышеуказанное опрокидываніе рельса произошло *несмотря* на то, что ради большей устойчивости пути вся кривая была уложена *сплошь* на каждой шпальѣ на подкладкахъ, изъ коихъ подкладки подъ упорною колеєю пришиты *четырьмя* костылями, а на внутренней—тремя.

Независимо отъ случаевъ схода при большихъ скоростяхъ съ явленіемъ выкантовыванія рельса—неоднократно наблюдалось полное опрокидываніе *внутренней* колеи на кривыхъ при малыхъ скоростяхъ.

Характернымъ примѣромъ *волнообразнаго сдвига* пути при большой скорости движенія на значительномъ протяженіи мо-

№ III.



Крушение поезда № 33 на 2436 верстѣ 3 апрѣля 1901 года.

жетъ служить крушеніе п. № 31 5 сентября 1901 года, на 2819 верстѣ отъ Челябинска, между станціями Зимой и Иркутскомъ. Обстоятельства происшествія были слѣдующія:

Поѣздъ № 31, вышедшій со ст. Тыреть въ составѣ 17 груженыхъ чаемъ, углемъ, камнемъ и известью и 2-хъ порожнихъ нетормазныхъ платформъ, отъ выгруженнаго на предшествовавшемъ перегонѣ камня и помѣщенныхъ въ хвостѣ поѣзда, — въ 7 часовъ утра по Петербургскому времени (по мѣстному около 12 ч. 45 м. дня) потерпѣлъ крушеніе на 2819 верстѣ, 0.015 спускѣ, въ крутой кривой $R=150$ саж., при чемъ убитъ главный кондукторъ Лазурчукъ, а 4 человекъ изъ поѣздной прислуги ранены. Паровозъ Компаундъ № 486 свалился внутрь кривой на откосъ насыпи (въ этомъ мѣстѣ вышиною 0.78 саж.), и врѣзался колесами въ землю, за нимъ на полотнѣ остался поврежденный крытый груженный вагонъ, а затѣмъ остальные: груженные 14 крытыхъ и 1 платформа совершенно разбиты въ щепки и нагромождены на пространствѣ менѣе 40 саж.; одинъ не тормазной крытый груженный и двѣ порожнія платформы оказались поврежденными легко и остались на рельсахъ.

При осмотрѣ состоянія пути, прибывшею черезъ 1 часъ послѣ крушенія комиссіею—выяснено, что путь уложенъ легкими 18 фунтовыми рельсами на трехдырныхъ подкладкахъ на каждой шпалѣ укладки 1901 года, прибитыхъ на *наружной колѣ 4-мя*, а на внутренней 3-мя костылями (на обѣихъ со стороны выпуклости кривой—двумя), при толщинѣ балласта подъ подошвой рельса 0.15 саж. и ширинѣ 1.35 саж. На уцѣлѣвшихъ подъ послѣдними вагонами звеньяхъ путь оказался *волнообразно* сдвинутымъ, при чемъ наибольшему сдвигу пути соответствовало и наибольшее расширение колеи; а именно въ трехъ волнахъ этого сдвига, послѣдовательно отъ хвоста къ головѣ поѣзда ширина колеи была: 0.726, 0.729 и 0.739 саж. Наоборотъ, въ оставшихся на мѣстѣ точкахъ пути, ширина колеи равнялась требуемой радіусомъ 150 саж. величинѣ—0.724 саж. Размѣры сдвиговъ были въ той же послѣдовательности: 0.010, 0.010, 0.012 сажени.

Обстоятельства, сопровождавшія сходъ, были слѣдующія: предъидущія сутки шелъ почти непрерывно дождь, особенно усилившійся ко времени крушенія. Въ виду сплошнаго предѣльнаго

спуска отъ развѣзда Шетика къ ст. Зима, поѣздъ, несмотря на усилія машиниста и кондукторской бригады, какъ это установлено разслѣдованіемъ, не умѣрялъ своего хода и развилъ скорость болѣе 40 вер. въ часъ, при чемъ на кривой $R=150$ с. произвелъ сдвигъ и расширеніе колеи, вызванные, помимо несоотвѣствующей скорости хода, еще рѣзкимъ дѣйствіемъ контръ-паромъ: контръ-паръ произвелъ боковую качку паровоза, совершенно разстроившую все увеличивающимися размахами слабое по своей конструкціи верхнее строеніе, вслѣдствіе чего паровозъ, разорвавъ путь, свалился подъ откосъ врѣзавшись въ землю, а на него нагромоздились вагоны, сходящіе и налетающіе другъ на друга, благодаря значительной скорости.

Коммиссія разслѣдованія признала причиной происшествія: 1) несомнѣнный толчекъ, зависѣвшій какъ отъ возможной, въ дождливую погоду, просадки одного изъ рельсовъ, такъ и отъ *неправильной*, какъ обнаружено этимъ случаемъ, *разбивки кривой*, частью сопрягавшейся изъ дугъ меньшаго, чѣмъ допущенный техническими условіями предѣльный для ската 0.015 радіусъ въ 150 саж., который значится по исполнительному строительному профилю.

2) Недостаточность тормазной способности поѣзда, происходящую, какъ отъ несоотвѣствія установленной правилами движенія нормы тормазныхъ осей для уклоновъ спуска отъ Шетика къ Зимѣ (0.015—0.017 по профилю), такъ и отъ неправильнаго размѣщенія тормазовъ въ потерпѣвшемъ крушеніе поѣздѣ, а также сырой погоды и мокрыхъ рельсовъ.

3) Развившуюся вслѣдствіе вышеизложеннаго значительную скорость хода груженаго поѣзда почти предѣльнаго состава, которую не могъ умѣрить машинистъ, хотя и пользовался для того единственной въ профилѣ площадкой 2824 вер., гдѣ и далъ контръ-паръ.

II.

Износъ рельсовъ.

§ 4. Допускаемое предѣльное напряженіе въ рельсахъ. Износъ рельсовъ на горныхъ и нѣкоторыхъ предгорныхъ участкахъ Сибирской дороги является столь сильнымъ дѣятелемъ въ дѣлѣ выясненія полного несоотвѣтствія ихъ условіямъ безопаснаго движенія, что заставляетъ, какъ будетъ не трудно усмотрѣть изъ дальнѣйшаго, обратить на себя особое вниманіе, главнымъ образомъ, въ виду того обстоятельства, что онъ съ должною наглядностію отмѣчаетъ одну изъ тѣхъ сторонъ устройства нашей рельсовой колеи, которая требуетъ установленія нѣсколько болѣе опредѣленныхъ нормъ: я говорю о *предѣлахъ напряженія*, допустимаго въ изношенныхъ рельсахъ. Еще въ 1898 году въ засѣданіи Инженернаго Совѣта отъ 28 ноября былъ заслушанъ докладъ професёра Л. Э. Николаи «По вопросу о тѣхъ руководящихъ началахъ, которыхъ слѣдуетъ держаться при разработкѣ предположенныхъ новыхъ типовъ рельсовъ и по вопросу о *предѣльныхъ коэффициентахъ* напряженій, допустимыхъ въ изношенныхъ рельсахъ», причемъ почтеннымъ докладчикомъ высказано, между прочимъ, что, хотя «напряженіе въ рельсѣ зависитъ не только отъ сѣченія рельса и взаимнаго разстоянія между шпалами, но и отъ размѣровъ шпаль, качества балласта, высоты его и проч.,—но въ виду того обстоятельства, что *въ изношенномъ* рельсѣ матеріалъ уже подвергался нѣсколько разъ перенапряженію и, *допускаемое напряженіе* должно быть скорѣе *понижено*—то слѣдуетъ установить норму исключительно того: до какого предѣла *можно допустить* увеличеніе напряженія въ рельсѣ вслѣдствіе уменьшенія его высоты отъ изнашиванія, не требуя соотвѣтственнаго измѣненія остальныхъ элементовъ

верхняго строенія». — По журналу Инженернаго Совѣта отъ 23 марта и 3 июня 1898 года № 163 установлено: при опредѣленіи взаимнаго разстоянія между шпалами, при данныхъ размѣрахъ шпаль, толщинѣ и качества балласта, напряженіе *въ новыяхъ* рельсахъ, вычисленное по формулѣ Циммермана, при скорости движенія $V=0$, — не должно превышать $R=14,5$ килограммовъ на одинъ квадратный миллиметръ.

Профессоръ Николаи полагаетъ возможнымъ, по мѣрѣ изнашиванія рельсовъ, *не требуютъ измѣненія* относительно *расположенія шпаль*, размѣровъ ихъ, толщины и качества балласта, если напряженіе въ рельсѣ *повысится не болѣе*, какъ на 20%, что при коэффициентѣ 2,35, отвѣчающемъ значительнымъ скоростямъ, перегрузкѣ на ходу и проч. будетъ составлять для *временнаго* сопротивленія.

$$14,5 \times 1,2 \times 2,35 = 40,89 \frac{\text{кгр}}{\text{мм}^2}$$

Для рельсовой стали съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву около 65 килограммовъ *предѣлъ упругости* составитъ около 0,6 временнаго, т. е. 39 килограммовъ, что *немногомъ* только менѣ вышеуказаннаго предѣла.

§ 5. Расчетъ напряженій въ новыхъ и изношенныхъ рельсахъ типа 18 фунтовъ въ погонномъ футѣ при статической и динамической нагрузкахъ. Формула Циммермана, по которой ведется обыкновенно расчетъ напряженій въ рельсахъ при *статической* нагрузкѣ — имѣетъ, какъ извѣстно, видъ:

$$M^{\max} = \frac{8\gamma + 7}{8(2\gamma + 5)} Pl \dots \dots \dots (A)$$

Здѣсь: M^{\max} — наибольшій изгибающій моментъ

P — наибольшее давленіе на колесо паровоза въ тоннахъ

l — разстояніе между осями шпаль въ сантиметрахъ

$\gamma = \frac{B}{D}$ — отношеніе силы (въ килограммахъ), которая въ состояніи вызвать въ свободно лежащемъ на двухъ опорахъ (шпалахъ) кускѣ рельса длиною $2l$ прогибъ въ 1 сантиметръ къ силѣ D (въ килограммахъ), понижающей опору, состоящую изъ шпалы половинной длины, на 1 сантиметръ.

$B = \frac{6EI}{l^3}$, гдѣ I —моментъ инерціи рельса. E —модуль упругости стали.

$D = \frac{abC}{2}$, гдѣ a —длина шпалы, b —ея ширина, а C —коэффициентъ упругости балласта т. е. то давленіе (въ килограммахъ на квадратный сантиметръ балласта), подъ дѣйствіемъ котораго послѣдній претерпѣваетъ упругое пониженіе на 1 сантиметръ.

Указанныя выше величины для Сибирской дороги въ зависимости отъ ея условій въ первое время послѣ передачи въ эксплуатацію имѣли нижеслѣдующія значенія:

$P_1 = 6.25$ тоннъ для трехъ-осныхъ товарныхъ паровозовъ съ нагрузкою на ось $12\frac{1}{2}$ тн.

$P_2 = 6.50$ тоннъ для четырехъ-осныхъ товарныхъ паровозовъ «Compaund» съ нагрузкою на ось $12.84 \infty 13$ тн.

l —при 12 шпалахъ $= 0.35^\circ = 74,7$ сантиметровъ.

$$E = 2200000 \frac{\text{кгр}}{\text{см}^2}$$

$$I = 468,6 \text{ см}^4.$$

$$a = 1.15^\circ = 245,4 \text{ см.}$$

$$b = 4\frac{1}{2} \text{ вершковъ} = 20 \text{ см.}$$

$$C = 3 \text{ килограммовъ.}$$

Подставляя данныя величины въ соотвѣтствующія выраженія, находимъ:

$$B = \frac{6EI}{l^3} = \frac{6 \times 2.200.000 \times 468,6}{74,7^3} = 14839,3$$

$$D = \frac{abC}{2} = \frac{245,4 \times 20 \times 3}{2} = 7362$$

$$\gamma = \frac{B}{D} = \frac{14839,3}{7362} = 2.016$$

$$\text{Отсюда: } P_1 l = 6,25 \times 1000 \times 74,7 = 466875$$

$$P_2 l = 6,50 \times 1000 \times 74,7 = 485550$$

$$\text{Далѣ: } \frac{8\gamma+7}{16\gamma+40} = \frac{8 \times 2,016 + 7}{16 \times 2,016 + 40} = \frac{23,128}{72,256} = 0,320$$

$$M_1^{\max.} = 0,320 \times 466875 = 149400$$

$$M_2^{\max.} = 0,320 \times 485550 = 155376.$$

При такихъ условіяхъ и W —моментъ сопротивленія *не изношеннаго* рельса, равномъ 87 стм³.

Напряженіе рельса при *статической* нагрузкѣ выразится соотвѣтственно черезъ:

$$R_1 = \frac{M_1}{W} = \frac{149400}{87} = 1717 \frac{\text{кгр}}{\text{стм}^2} \text{ или } 17,17 \frac{\text{кгр}}{\text{мм}^2}$$

$$R_2 = \frac{M_2}{W} = \frac{155376}{87} = 1786 \frac{\text{кгр}}{\text{стм}^2} \text{ или } 17,86 \frac{\text{кгр}}{\text{мм}^2}$$

Принявъ дѣйствующія нынѣ *лучшія* условія состоянія пути, въ смыслѣ балласта и шпаль, чѣмъ въ первые годы эксплуатаціи дороги, т. е. длину шпалы въ 1.25° при максимальной ширинѣ 6¹/₂—7 вершковъ и количествѣ шпаль 13 штукъ на звено, т. е.

$$C=5.$$

$$a=1.25^\circ=266,6 \text{ стм.}$$

$$b=6\frac{1}{2} \text{ вершковъ } =30 \text{ стм.}$$

$$l=0.324^\circ=69,1 \text{ стм.}$$

$$\text{Находимъ: } V = \frac{6EI}{l^3} = \frac{6 \times 2200000 \times 468,6}{\frac{-3}{69,1}} = 18748,8$$

$$D = \frac{abC}{2} = \frac{266,6 \times 30 \times 5}{2} = 19995$$

$$\gamma = \frac{V}{D} = 0,937$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ измѣнились однако и типы паровозовъ, обращающихся на дорогѣ, а именно: прибавились товарные паровозы системы «Duplex» съ нагрузкою на ось 13,6 тоннъ и

пассажирскіе паровозы съ нагрузкою на ось 13,85 тоннъ. Вотъ почему въ дальнѣйшемъ расчетѣ получимъ, сохраняя прежнія обозначенія:

$$P_1 = 6,25 \times 1000 \times 69,1 = 431875$$

$$P_2 = 6,50 \times 1000 \times 69,1 = 449150$$

$$P_3 = 6,80 \times 1000 \times 69,1 = 469880$$

$$P_4 = 6,93 \times 1000 \times 99,1 = 478863.$$

Опредѣленіе отношенія $\frac{8\gamma+7}{16\gamma+40}$ даетъ:

$$\frac{8\gamma+7}{16\gamma+40} = \frac{8 \times 0,937 + 7}{16 \times 0,937 + 40} = \frac{14,496}{54,992} = 0,264$$

Отсюда:

$$M_1^{\max.} = 0,264 \times 431875 = 114015$$

$$M_2^{\max.} = 0,264 \times 449150 = 118575$$

$$M_3^{\max.} = 0,264 \times 469880 = 124048$$

$$M_4^{\max.} = 0,264 \times 478863 = 126419.$$

При условіи износа рельса въ 2 мм. и 5 мм., соответственныя моменты сопротивленія будутъ $W=83$ и $W=80$. Отсюда:

Для износа 2 мм.			Для износа 5 мм.	
$R_1 = \frac{M_1}{W} = \frac{114015}{83 \times 100} = 13,73$	$\frac{\text{кгп}}{\text{мм}^2}$		$R_1 = \frac{114015}{80 \times 100} = 14,25$	$\frac{\text{кгп}}{\text{мм}^2}$
$R_2 = \frac{M_2}{W} = \frac{118575}{83 \times 100} = 14,29$	»		$R_2 = \frac{118275}{80 \times 100} = 14,78$	»
$R_3 = \frac{M_3}{W} = \frac{124048}{83 \times 100} = 14,94$	»		$R_3 = \frac{124048}{80 \times 100} = 15,51$	»
$R_4 = \frac{M_4}{W} = \frac{126419}{83 \times 100} = 15,231$	»		$R_4 = \frac{126419}{80 \times 100} = 15,80$	»

Переходя къ опредѣленію напряженія въ рельсахъ при динамической нагрузкѣ при различныхъ скоростяхъ воспользуемся

для сего формулою, установленною послѣдними «Техническими условиями сооруженія магистральныхъ линий», гдѣ статическое давленіе P замѣняется давленіемъ:

$$P' = \frac{P}{1 - \frac{8\gamma + 7}{16\gamma + 40} \times \frac{Plv^2}{EIg}} \quad (\text{Б})$$

Здѣсь P —нагрузка на колесо въ килограммахъ.

I —моментъ инерціи рельса въ сантиметрахъ.

C —коэффициентъ балласта въ килограммахъ.

l —разстояніе между осями шпаль въ сантиметрахъ.

v —скорость въ сантиметрахъ въ 1 секунду.

g —ускореніе силы тяжести въ сантиметрахъ въ секунду.

E —модуль упругости стали.

Случай 1. Первоначальныя условія состоянія пути, въ которыхъ онъ переданъ былъ въ эксплуатацію: Наибольшая скорость движенія 25 верстъ въ часъ—741 $\frac{\text{СТМ.}}{\text{СЕКУНДУ}}$ *) $C=3$; $E=2.200.000$
 $I=468,6$; 12 шпальъ подъ звеномъ, т. е. $l=74,7$ сант.; наибольшее давленіе на колесо $P=6500$ кгр. При такихъ условіяхъ, какъ мы видѣли раньше:

$$\gamma = 2.016; \frac{8\gamma + 7}{16\gamma + 40} = 0.320;$$

Формула (Б) принимаетъ видъ:

$$P' = \frac{6500}{1 - 0.320 \times \frac{6500 \times 74,7 \times 741}{2200000 \times 468,6 \times 981}} = 7098,844$$

*) 1 верста=1.06679 килограммъ.

$$P_1 = 7098,844 \times 74,7 = 530283,6468$$

$$M_{\max.} = P_1 \times 0,320 = 169690,7669$$

$$R = \frac{M_{\max.}}{W} = \frac{M_{\max.}}{8700} = 19,504 \text{ килогр. на 1 квадрат. миллиметр.}$$

Случай 2-й. Современное состояніе пути: $C=5$; 13 шпальть подь звеномъ, т. е. $l=69,1$ сант.; $P=6930$; $\gamma=0,937$; $\frac{8\gamma+7}{16\gamma+40}=0,264$
 $V=25$ верстъ въ часъ $=741 \frac{\text{стм.}}{\text{секунду}}$ Рельсъ новѣй.

$$P_1 = \frac{6930}{1 - 0,264 \times \frac{6930 \times 69,1 \times 741}{2200000 \times 468,6 \times 981}} = 7440,7$$

$$P_1 = 7440,7 \times 69,1 = 514152,37$$

$$M_{\max.} = 514152,37 \times 0,264 = 135736,225$$

$$R = \frac{M_{\max.}}{W} = \frac{M_{\max.}}{8700} = 15,60$$

Случай 3-й. Современное состояніе пути: $C=5$; 13 шпальть подь звеномъ,

т. е. $l=69,1$ сант.; $P=6930$; $\gamma=0,937$; $\frac{8\gamma+7}{16\gamma+40}=0,264$.

$V=35$ верстъ въ часъ $=1037 \frac{\text{стм.}}{\text{сек.}}$; износъ рельса 2 мм. $W=83$. Износъ рельса 5 мм.; $W=80$.

При такихъ условіяхъ формула (Б) принимаетъ видъ:

$$P_1 = \frac{6930}{1 - 0,264 \times \frac{6930 \times 69,1 \times 1037}{2200000 \times 468,6 \times 981}}$$

и

Определенное въ силу новыхъ условий:

$$R_1 = \frac{M^{\max.}}{W} = \frac{P_1 \times 0,264}{8300} = 17,597$$

$$R_2 = \frac{M^{\max.}}{8000} = 18,26$$

Случай 4-й. Тѣ же условія пути, давленія на ось и износа рельса, что для случая 3-го, но скорость = 50 верстъ въ часъ = $1482 \frac{\text{ст.м.}}{\text{сек.}}$ — Тогда:

$$P_1 = \frac{6930}{2} \\ 1 - 0,264 \times \frac{6930 \times 69,1 \times 1482}{2200000 \times 468,6 \times 981}$$

$$R_1 = \frac{M^{\max.}}{W} = \frac{M^{\max.}}{8300} = 20,99 \text{ килограммовъ на 1 кв. миллиметр.}$$

Случай 5-й. Тѣ же условія пути, давленія на ось и скорости движенія, что для 4-го случая, но износъ рельса 5 мм. и моментъ сопротивленія $W = 80$:

На основаніи предъидущихъ соображеній:

$$R_1 = \frac{M^{\max.}}{W} = 21,78 \text{ килограммовъ на 1 кв. миллиметр.}$$

Сопоставленіе напряженій отъ динамическихъ нагрузокъ съ напряженіями при статистическихъ, добытыхъ разсчетомъ по вышеуказаннымъ двумъ формуламъ (А) и (Б) даетъ слѣдовательно:

Для *новаго* рельса при первоначальныхъ условіяхъ пути и обращенія паровозовъ.

При $V = 0$ вер.; $R = 17,86$ килограммовъ на 1 кв. миллиметр.

» $V = 25$ » $R = 19,50$ » » » » »

Для *новаго* рельса при современномъ состояніи пути и паровозовъ, при $V=25$; $R=15,60$.

Для *изношеннаго* на 2 мм. рельса при современномъ состояніи пути и паровозовъ.

При $V=0$ вер.; $R=15,231$ килограммовъ на 1 кв. миллиметръ.

При $V=35$ » $R=17,597$ » » » » »

При $V=50$ » $R=20,99$ » » » » »

Для *изношеннаго* на 5 мм. рельса при современномъ состояніи пути и паровозовъ.

При $V=0$ вер.; $R=15,80$ килограммовъ на 1 кв. миллиметръ.

При $V=35$ » $R=18,256$ » » » » »

При $V=50$ » $R=21,78$ » » » » »

На самомъ дѣлѣ при движеніи подвижного состава происходятъ, какъ извѣстно, иногда гораздо болѣе значительныя разницы между результатами вліянія статическаго и динамическаго давленія колесъ на рельсы. Причемъ основными дѣятелями въ этомъ обстоятельствѣ являются:

- 1) Дѣйствіе противовѣсовъ паровозовъ.
- 2) Игра рессоръ.
- 3) Неравномѣрность износа бандажей, а иногда и выбоины въ таковыхъ.
- 4) Неравномѣрность размѣровъ поперечнаго сѣченія смежныхъ рельсовъ въ смыслѣ неодинаковости износа, какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ.
- 5) Искривленіе *новыхъ* рельсовъ по оси вслѣдствіе выправки не тотчасъ же по выходѣ изъ вальцовъ, а пресомъ въ холодномъ состояніи, вызывающее вліяніе подвижного состава по пути и неравномѣрное натяженіе волоконъ различныхъ точекъ одного и того же рельса.
- 6) Неоднородность строенія матеріала въ рельсѣ, вслѣдствіе чего различныя мѣста одного и того же рельса могутъ обнаружить неодинаковое сопротивленіе.
- 7) Существующее въ рельсѣ нѣкоторое *собственное* напряженіе волоконъ, вслѣдствіе прокатки.

8) Колебание самого изгибаемого рельса въ пути около положенія равновѣсія, вслѣдствіе внезапнаго приложенія груза—колеса.

9) Вліяніе тормаженія.

10) Неисправность пути въ смыслѣ: плохой подбивки шпаль, плохого направленія, неравномѣрности подъуклонки, неправильнаго состоянія по шаблону и уровню, неравномѣрной разгонки шпаль и т. п.

11) Давленіе вѣтра на подвижной составъ.

Сколько нибудь вполнѣ точная зависимость этого увеличенія отъ совокупности вышеуказанныхъ факторовъ, къ сожалѣнію, еще не изслѣдована настолько, чтобы быть выраженной какими либо опредѣленными формулами, но во всякомъ случаѣ, добыты нѣкоторыя несомнѣнныя данныя, доказывающія значительное превышеніе напряженій отъ динамической нагрузки, исчисленныхъ для таковыхъ, нормъ. Такъ:

По п. 1. По изслѣдованіямъ *Аста* колебанія въ давленіи колесъ паровоза при движеніи, достигаютъ до $\pm 0,50$ статическаго давленія колесъ *).

По п. 2. По наблюденіямъ *Michel* и *Brière* игра въ рессорахъ вызываетъ иногда измѣненіе въ нагрузкѣ осей до $\pm 0,63$ статическаго давленія колесъ *).

По п. 5. По отзыву инженера *A. von Dormus*. на Сѣверной Австрійской дорогѣ Императора Фердинанда такія даже малыя уклоненія какъ 2 мм.—дѣйствовали крайне пагубно на рельсы этой дороги **).

По п. 6. Въ этомъ убѣждаютъ въ достаточной степени изслѣдованія рельсовъ по методѣ инженера *Varba* ***).

По п. 8. По соображеніямъ инженера *Богуславскаго* †) увеличеніе напряженія отъ этой причины колеблется отъ 0—до 100% въ зависимости отъ скорости.

*) См. *Der Eisenbahnbau der Gegenwart*. Blum, Brisei und Barkhausen. стр. 133.

**) „Nouvelles études sur l'acier pour les rails“. Bulletin de la Commission Internationale du Congrès des chemins de fer. 1899. стр. 977.

***) *ibid.* стр. 937.

†) „Къ вопросу объ усиленіи верхняго строенія пути“. Жур. М. П. С. 1899. I).

По п. 10. Неудовлетворительность подбивки шпаль увеличивает, по расчетам инженера Холодецкаго, напряжение въ рельсѣ иногда до 5⁰/о.

По свидѣтельству *) американскаго инженера Dudley имъ наблюдалось напряжение въ рельсахъ, доходящее до 83 килограммовъ на 1 кв. миллиметръ не смотря на блестящее состояніе пути!!

Кромѣ того опытомъ инженера Васютынскаго на Варшавско-Вѣнской ж. д. установлено, что самая формула Циммермана въ примѣненіи къ рельсамъ *легкаго* типа даетъ погрѣшность въ сторону *уменьшенія* напряженія: такъ для рельсовъ типа 22¹/₂ фунта напряженія, опредѣленные непосредственными наблюденіями, оказались на 17⁰/о *больше* разчитанныхъ на формулѣ Циммермана. Для рельсовъ типа 18 фун. въ погонномъ футѣ разница эта, по всему вѣроятію, *значительно* больше и въ нѣкоторыхъ случаяхъ превышаетъ предѣлъ упругости, доходя до временнаго сопротивленія: это, подтверждается, какъ будетъ видно ниже—огромнымъ количествомъ лопающихся рельсовъ этого типа.

Можно съ увѣренностью сказать, что, если при рельсахъ съ слабымъ профилемъ, поѣзда ходятъ еще благополучно, то это, большею частію, зависитъ или отъ безусловно хорошо содержаемаго пути и условій его профиля или отъ какихъ либо другихъ исключительно мѣстныхъ обстоятельствъ: какъ на примѣръ, *наибольшій* скорости движенія—совпадаютъ иногда съ тѣмъ благопріятнымъ условіемъ, что поѣздъ идетъ именно *подъ уклонъ*, а, слѣдовательно, *безъ* работы разстраивающихъ путь и перенапрягающихъ рельсы противовѣсовъ паровоза. Равнымъ образомъ нѣкоторую гарантію въ меньшемъ перенапряженіи пути съ легковѣсными рельсами представляютъ конечно тѣ участки дорогъ, гдѣ происходитъ главнымъ образомъ почти исключительно пассажирское движеніе, т. е. проходы поѣздовъ, хотя и быстрыхъ, но сравнительно легкихъ и *одинаковыхъ* по составу подвижнаго состава.

§ 6. Предположенія Высочайше утвержденной Коммисіи инженера Михайловскаго о допустимыхъ для 18-ти фунтоваго рельса напряже-

*) См. *Compte rendu général du Congrès international des chemins de fer.* 1901. Т. I, стр. 176.

ніяхъ. Въ своихъ расчетахъ*) Коммиссія инженера Михайловскаго предполагаетъ, что напряженіе въ рельсахъ при динамической нагрузкѣ можетъ быть допущено *до предѣла упругости*, который равенъ 0,6 временнаго сопротивленія, и, считая, что отъ дѣйствія динамической нагрузки, отъ вертикальной слагающей центробѣжной силы, вызываемой вращеніемъ противовѣсовъ паровозовъ, отъ ударовъ при неровностяхъ бандажа и другихъ причинъ»—дѣйствительныя напряженія превосходятъ въ $\frac{4}{9}$ величины напряженій, опредѣленныхъ при статической нагрузкѣ—принимаетъ, что *прочное* сопротивленіе можетъ быть допущено не болѣе $\frac{4}{9} \times 0.60 = 0,267$ отъ временнаго при статической нагрузкѣ или кругло 0,25.—Далѣе такъ какъ для рельсовъ заказа до 1894 года сталь выдерживала при испытаніи на разрывъ отъ 54 до 60 килограммовъ на 1 кв. миллиметръ, а для рельсовъ заказа съ 1894 года временное сопротивленіе стали разрыву—принято 65 килограммовъ на 1 мм.²—то коммиссія устанавливаетъ *два предѣла напряженій при статической нагрузкѣ*:

Для рельсовъ заказа до 1894 г.— $54 \times 0,25 = 14,5$ кругло **14** килограммовъ на 1 кв. миллиметръ.

Для рельсовъ заказа съ 1894 г.— $65 \times 0,25 = 16,25$ килограммовъ на 1 кв. миллиметръ.

При *динамической* нагрузкѣ:

Для рельсовъ заказа до 1894 г.— $54 \times 0,6 = 32,4$ килограмма на 1 кв. миллиметръ.

Для рельсовъ заказа съ 1894 г.— $65 \times 0,6 = 39$ килограмма на 1 кв. миллиметръ.

Послѣдняя изъ этихъ цифръ—тождественна, слѣдовательно, съ допускаемою профессоромъ Николаи.

§ 7. Дѣйствительная служба 18-ти фунтоваго рельса на Сибирской дорогѣ. Переходя къ результатамъ дѣйствительной службы легкаго рельса на Сибирской дорогѣ, я считаю необходимымъ сдѣлать предварительно нижеслѣдующія оговорки:

*) Отчетъ Высочайше утвержденной Коммиссія для выясненія на мѣстѣ необходимыхъ мѣропріятій по усиленію пропускной и провозной способности Сибирской желѣзной дороги и по увеличенію скорости движенія на нѣ поѣздовъ стр. 139.

а) Динамическія напряженія въ рельсѣ при настоящихъ условіяхъ его службы рассчитаны были мною въ предположеніи $C=5$, то есть такого качества балласта, каковой на самомъ дѣлѣ имѣется лишь въ видѣ исключенія на сравнительно весьма короткихъ протяженіяхъ. Гораздо согласнѣе съ истиной будетъ принять дѣйствительную величину C равною 4, а на Западномъ участкѣ дороги много, много 3,5: песокъ здѣсь крайне мелокъ, легко выдувается вѣтромъ и поднимается при движеніи поѣздовъ *). Вотъ почему напряженія, высчитанія по формуламъ (А) и (Б), соотвѣтствуютъ лишь тѣмъ, такъ сказать, «идеальнымъ» мѣстамъ пути, гдѣ имѣется условіе $C=5$. Во всѣхъ же прочихъ они конечно гораздо выше, *независимо* отъ всѣхъ прочихъ обстоятельствъ (перечисленныхъ въ § 5), влияющихъ на увеличеніе напряженій отъ динамической нагрузки.

б) Модуль упругости стали E —введенный мною въ формулу (Б)—принять по старымъ условіямъ поставка рельсѣ, т. е. равнымъ 2.200.000.—По новымъ же таковой нѣсколько ниже:—2.000.000.

Разсматривая службу рельса на Сибирской дорогѣ прежде всего слѣдуетъ сдѣлать строгое различіе въ отношеніи тѣхъ участковъ, гдѣ таковой лежитъ, а именно:

а) На Западной ли части дороги—представляющей почти сплошь одинъ *равнинный* участокъ съ предѣльными уклонами не свыше 0,0074 и кривыми не круче 200 с.

б)—*Предгорныхъ* ли участкахъ бывшей Средне-Сибирской дороги съ характеромъ профиля: уклонами до 0,008 и кривыми не круче 200.

в)—*Горныхъ* ли участкахъ бывшей Средне-Сибирской дороги, профиль которыхъ весьма труденъ, а именно уклоны до 0,0174 и кривыя отъ 120 сажень.

І. *Западный участокъ дороги.*—Еще Коммиссіею инженера Михайловскаго, при осмотрѣ таковою дороги лѣтомъ 1898 года было установлено, что износъ рельсовъ, уложенныхъ въ 1893 году, за пять лѣтъ службы оказался равнымъ 1,5 миллиметра, уложенныхъ же въ 1894 году—1 миллиметръ въ прямыхъ и 2 м.м.

*) Вслѣдствіе сего въ настоящее время начата его покрыша щебнемъ.

въ кривыхъ радіуса въ 200. Кромѣ того замѣчено смятіе въ стыкахъ. Въ настоящее время износъ въ прямыхъ частяхъ этого участка доходитъ до 3—3½ м.м.

Выше было опредѣлено, что для изношеннаго на 2 м.м. рельса и *улучшеннаго* состоянія пути напряженіе при *статической* нагрузкѣ равно 15.231 килограмму на 1 кв. миллиметръ, тогда какъ допущенное напряженіе для рельсовъ заказа до 1894 г. только 14.

При нынѣ дѣйствующихъ скоростяхъ движенія 35—50 в. напряженія были исчислены въ 17,597 и въ 20.99 килограммовъ на 1 квадратный миллиметръ. Нетрудно видѣть посему, что при износѣ въ 3—3½ м.м. и скорости до 50 верстъ въ часъ—напряженія въ этихъ рельсахъ при наличіи прочихъ перечисленныхъ въ § 5 побочныхъ причинъ—несомнѣнно доходятъ, а иногда и *превышаютъ предѣлъ упругости*, что, между прочимъ, подтверждается, какъ сказано выше и массовымъ лопаньемъ рельсовъ.—Такимъ образомъ ясно, что: а) предложенное комиссією инженера Михайловскаго и выполненное нынѣ почти полностью улучшение устойчивости: пути: 1) Доведеніе числа шпалъ подъ каждымъ рельсомъ до 13, вмѣсто уложенныхъ 12 и увеличеніе длины шпалъ съ 1.15 саж. до 1.25 саж. 2) Укладка на каждой шпалѣ трехдырныхъ подкладокъ съ забитіемъ трехъ костылей. 3) Доведеніе балластнаго слоя до нормальной высоты явилось такою только временною мѣрою, которая *не помогаетъ положенію дѣла въ корнѣ* и что: б) Состояніе рельсовъ заставляетъ придти къ заключенію, что средній срокъ ихъ службы гораздо *ниже* предположеннаго комиссією—12 лѣтняго срока *).

II. *Равнинная часть Восточнаго участка.* Здѣсь положеніе дѣла несравненно хуже. Уже тою же комиссією при осмотрѣ въ 1898 году, т. е. черезъ годъ послѣ передачи дороги въ эксплуатацію, былъ опредѣленъ износъ въ 1 м.м. Въ настоящее время износъ этотъ достигаетъ поражающихъ размѣровъ.

Въ нижеизложенной таблицѣ указано нѣсколько такихъ износовъ, относящихся до рельсовъ укладки 1894 и 1895 и пролежавшихъ въ пути слѣдовательно 7 и 6 лѣтъ **).

*) Стр. 140 отчета.

**) Наблюденія произведены въ 1901 году

Таблица величинъ износа и потери вѣса 18-ти фунтовыхъ рельсовъ на равнинной части Восточнаго участка Сибирской дороги.

№№ по порядку.	ПРОФИЛЬ:		Длина рельса.	Марка рельса.	Наи- боль- шій износъ въ мм.	Нормаль- ный вѣсъ		Вѣсъ изношен- наго рельса В	Величина потери въ вѣсѣ S=A-B.	Примѣчаніе.	
	Прямая или кривая.	Площадка или укловъ				рельса А	рельса В			Потеря вѣса въ ‰	Потеря вѣса на 1 пог- футъ въ фунтахъ
1	ПРЯМАЯ	ПЛОЩАДКА	28'	ДЕМИД. 1895	3 ^{1/2}	12 24	12 17	7	1,4	0,25	
2	"	"	28'	О. П. З. 1895	2	12 24	12 12	12	2,4	0,43	
3	"	i=0.008	28'	О. П. З. 1894	2 ^{1/2}	12 24	12 1 ^{1/2}	23 ^{1/2}	4,7	0,84	
4	"	i=0.007	28'	ДЕМИД. 1895	2 ^{1/2}	12 24	12 18	6	1,2	0,21	
5	R=150	ПЛОЩАДКА	28 ^{11/8} "	О. П. З. 1894	3 ^{1/2}	12 24	12 10	14	2,7	0,50	
6	R=150	"	28'	О. П. З. 1894	6	12 24	12 8	16	3,2	0,57	
7	R=150	i=0.008	28 ^{11/2} "	ДЕМИД. 1894	6	12 24	12 1 ^{1/2}	23 ^{1/2}	4,7	0,84	
8	R=150	i=0.008	28 ^{11/4} "	О. П. З. 1894	4	12 24	12 3	21	4,2	0,75	
9	R=250	ПЛОЩАДКА	28 ^{11/4} "	ДЕМИД. 1895	3 ^{1/2}	12 24	12 6	18	3,5	0,64	
10	R=250	"	28 ^{11/4} "	ДЕМИД. 1894	4	12 24	12 1 ^{1/2}	4 ^{1/2}	0,9	0,16	
11	R=250	i=0.006	28 ^{11/4} "	ДЕМИД. 1895	3	12 24	12 2	22	4,3	0,78	
12	R=250	i=0.009	28 ^{11/4} "	ДЕМИД. 1894	4	12 24	12 6	18	3,5	0,64	
13	R=300	ПЛОЩАДКА	28'	ДЕМИД. 1894	4 ^{1/4}	12 24	12 2	22	4,3	0,78	
14	R=300	ПЛОЩАДКА	28'	О. П. З. 1894	4 ^{1/2}	12 24	12 1	23	4,6	0,82	
15	R=300	i=0.006	28 ^{11/4} "	ДЕМИД. 1894	2 ^{3/4}	12 24	12 1 ^{1/2}	23 ^{1/2}	4,7	0,84	
16	R=300	i=0.008	28 ^{11/8} "	ДЕМИД. 1894	4	12 24	12 1 ^{1/2}	23 ^{1/2}	4,7	0,84	
17	R=300	i=0.008	28'	ДЕМИД. 1895	1 ^{1/2}	12 24	12 8	16	3,2	0,57	

Примѣчаніе. Относящіяся до настоящей таблицы профили рельсовъ, снятые съ натуры, приложены въ концѣ настоящаго изслѣдованія.

Грузъ brutto*) въ тоннахъ, прошедшій по сказаннымъ рельсамъ:

Въ 1895 году	}	= 432.000 тоннъ.
» 1896 »		
» 1897 »		
» 1898 »		
» 1899 »		= 1.224.000 »
» 1900 »		= 1.344.600 . »
» 1901 »		= 1.893.600 »

Итого=4.894.200 тоннъ или кругло 5.000.000 тоннъ.

Сопоставляя эту цифру съ данными вышеприведенной таблицы, находимъ, что износъ по высотѣ головки:

а) Въ *прямыхъ* частяхъ пути сказаннаго участка колеблется въ предѣлахъ отъ $2\frac{1}{2}$ до $3\frac{1}{2}$ мм. (См. листы №№ II и III профиля №№ 3 и 1), давая *средний износъ* въ 3 мм. или по $\frac{3}{5}$ мм. =
= 0.6 мм. на каждыя 1.000.000 тоннъ пробѣга груза brutto.

б) Въ *кривыхъ* частяхъ пути тотъ же износъ колеблется въ границахъ отъ: 2,75 мм. (См. листъ IX, профиль № 15) до $4\frac{1}{2}$ мм. (См. листъ VIII, профиль № 14), давая *средний износъ* въ: $3,63$ мм. или по $\frac{3.63}{5}$ =
= 0.72 мм. на каждыя 1.000.000 тоннъ пробѣга груза brutto.

в) Величина же боковаго износа измѣняется отъ $3\frac{1}{2}$ мм. (См. листъ VI, профиль № 9) до 6 мм. (См. листы: IV и V, профиля №№ 6 и 7) и въ *среднемъ* составляетъ: $\frac{4.75}{5}$ =
= 0.95 мм. на каждыя 1.000.000 тоннъ пробѣга груза brutto.

По даннымъ Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens**) *средний нормальный износъ по высотѣ головки рельса на каждыя 1.000.000 тоннъ достигаетъ на дорогахъ съ равниннымъ*

*) Грузъ brutto $G=3 \times 2 \times 360 [16n + 100]$, гдѣ n — число вагоновъ = 25, а 100 тн. — въсь паровоза и тендера.

**) 1886 годъ стр. 223.

характеромъ (слабыми уклонами—меньшими $\frac{1}{180}$ и кривыми большими радиусовъ)—отъ 0,05 и до 0,1 мм.

Для равнинныхъ участковъ съ нѣсколько болѣе крутыми уклонами ($\frac{1}{150}$ до $\frac{1}{120}$) и кривыми большими радиусовъ—тотъ же средній нормальный износъ:—отъ 0,14 до 0,17 мм. на каждыя 1.000.000 тоннъ.

Для участковъ дорогъ съ уклонами отъ $\frac{1}{100}$ до $\frac{1}{60}$ и кривыми радиуса отъ 500 до 200 метровъ—такой износъ принимается въ 0,25 мм.

Такимъ образомъ *вертикальный износъ* рельсовъ равнинныхъ участковъ Восточной части Сибирской дороги *превосходитъ вышеуказанныя максимальныя нормы (0,25 мм.) и (0,1 мм.) отъ трехъ (0,72 мм.) до шести (0,6 мм.) разъ.*

Боковой износъ въ сравнительно пологихъ кривыхъ ($R=300$) достигаетъ, какъ видно (см. листъ IX, профиль № 16),—4 мм. при общей потерѣ вѣса въ 23½ фунта или 0,84 фунта на погонный футъ длины рельса.

Разсматривая въ дальнѣйшемъ нѣкоторыя изъ профилей, напримѣръ, профиля: №№ 1, 12, 13, 14 и 16—нельзя не усмотрѣть полной деформации сравнительно съ начальнымъ состояніемъ, выражающейся частью въ одномъ только *сплющиваніи* (№№ 12, 13 и 16) или же: въ сплющиваніи и вмѣстѣ съ тѣмъ *отколъ* части головки продольною трещиною (№№ 1 и 14).

Нетрудно посему уяснить всю слабую сопротивляемость подобныхъ рельсовъ. Любопытнымъ примѣромъ сей послѣдней можетъ служить случай, бывшій въ маѣ 1902 года на станціи Боготоль: подъ паровозомъ, *стоявшимъ* на переходной кривой съ главнаго на тракціонныя пути, лопнулъ рельсъ на семь частей. Раздробленіе рельса произошло совершенно *внезапно*, безъ участія какого либо инаго механическаго дѣятеля, кромѣ давленія самой массы паровоза.

III. *Горная часть Восточнаго участка дороги.* При рельсахъ укладки 1895—1896 годовъ пришлось наблюдать нижеслѣдующіе средніе износы на 18 участкѣ Службы Пути дороги.

№№ по порядку.	Профиль пути.		Длина рельса въ футахъ.	МАРКА.	Износъ съ мм.
	Прямая или кривая.	Площадка или уклонъ.			
18	R=150	i=0.0174	28	А.Ю.Р.З.Б.О.95.П.	4
19	R=150	i=0.0174	—	—	3 ¹ / ₂
20	R=150	площадка	—	1896.VI.H.З.Б.Г.О.	4
21	R=150	площадка	—	—	4
22	прямая	i=0.016	—	—	3
23	прямая	i=0.016	—	—	3 ¹ / ₂
24	R=300	i=0.015	—	—	3
25	R=300	площадка	—	—	3 ¹ / ₄
26	R=150	площадка	—	—	3 ¹ / ₄

Примѣчаніе профиля рельсовъ за №№ 18—26 приложены въ концѣ настоящаго изслѣдованія.

Грузъ brutto въ тоннахъ, прошедшій по данному участку:

Въ 1897 году	}	= 216.000 тоннъ.
» 1898 »		
» 1899 »		= 1.296.000 »
» 1900 »		= 1.350.000 »
» 1901 »		= 2.075.000 »

Итого=4.937.000 тоннъ или кругло 5.000.000 тоннъ.

Такимъ образомъ *средній* износъ:

а) Въ прямыхъ частяхъ пути горнаго участка колеблется въ предѣлахъ : отъ 3 до 3¹/₂ мм. и даетъ, значитъ, среднюю

цифру : $\frac{3,25}{5} =$

= 0,65 мм. на каждыя 1.000.000 тоннъ пробѣга груза brutto.

б) Въ *кривыхъ* частяхъ *средній* износъ на каждыя 1.000.000 тоннъ выражается цифрою: $\frac{3+4}{2 \times 4} = 0,7$ мм.

Въ общемъ *та же* почти цифра, что и для износа кривыхъ на равнинной части дороги (0,72 мм.).

По даннымъ того же «Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens *) *средній нормальный* износъ для *горныхъ* участковъ на каждыя 1.000.000 для уклоновъ въ 0,017 и кривыхъ радиуса около 100 сажень—0,50 мм. и достигаетъ 1 мм. только для уклоновъ около 0.025 и кривыхъ радиуса около 100 сажень.

Такимъ образомъ *средній вертикальный износъ прямыхъ* частей *горныхъ* участковъ *безусловно выше* обычныхъ нормъ, а износъ въ *кривыхъ* въ общемъ также крайне *высокъ*.—Что же касается до *бокового* износа въ кривыхъ малыхъ радиусовъ (150 сажень)—то мнѣ лично приходилось видѣть на 19 участкѣ Сл. Пути два рельса, боковые износы коихъ достигали 8 мм. По заявленію же мѣстнаго начальника участка имъ было снято разновременно нѣсколько рельсовъ съ боковымъ износомъ до 11 и даже 12 мм. Рельсы эти лежали на обходномъ пути, вѣроятно кривая обхода была разбита или не совсѣмъ правильно или же съ слишкомъ крутымъ радиусомъ.—Вообще же такой исключительно *большой* или же *не равномерный* износъ одного и того же звена въ различныхъ его мѣстахъ всегда является показателемъ того или другаго существеннаго упущенія въ разбивкѣ данной кривой: такъ, на примѣръ, выше (стр. 11) былъ упомянутъ случай крушенія поѣзда № 31 на 2819 верстѣ отъ Челябинска. Разслѣдованіе указало совершенно неправильную разбивку кривой, съ различною степенью износа рельсовъ, входившихъ въ составъ таковой. На дѣлѣ оказалось, что кривая эта, значившаяся по строительному профилю радиуса 150 сажень—въ дѣйствительности состояла (см. листъ XV) изъ совокупности малыхъ дугъ *семи* различныхъ, бѣльшею частію меньшихъ 150 сажень радиусовъ, чередовавшихся притомъ совершенно непослѣдовательно:

Такъ за радиусомъ 176 шелъ радиусъ 114, за симъ послѣднимъ радиусъ 154, засимъ 149, потомъ 130, 122 и, наконецъ, 156.

*) 1886 годъ. Стр. 223.

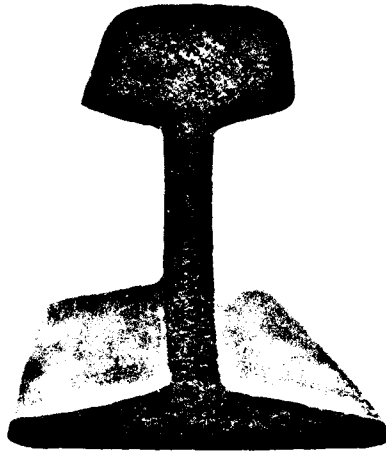
Винить строителей въ подобной крупной неисправности особенно строго нельзя, если вспомнить съ одной стороны ту спѣшку, при которой шла работа, гдѣ требовалось во что бы то нистало скорѣе сомкнуть различные участки въ одну общую магистраль,—съ другой же стороны принять во вниманіе и тѣ исключительно тяжелыя условія, при которыхъ приходилось работать на постройкѣ Сибирской дороги и особенно ея Восточнаго лѣснаго участка съ непроходимыми дѣбрями тайги и болотъ, малярією и подавляющимъ обиліемъ всякаго «гноса», т. е. мошекъ, комаровъ и оводовъ.

Несомнѣнно, однако, что такихъ неправильностей, какъ вышеприведенная, существуетъ еще не одна, но всѣ онѣ могутъ быть найдены лишь самою тщательною провѣркою всего профиля 3000 верстной дороги—работа, конечно, довольно дорогая, но тѣмъ не менѣе *безусловно необходимая*.

§ 8. Взаимодѣйствіе изношенныхъ рельсовъ и бандажей. Изнашиваемость рельсовъ въ обѣихъ колеяхъ кривыхъ въ большинствѣ случаевъ оказывается совершенно различною по своему характеру: такъ въ упорной колеѣ срѣзается *внутренняя боковая грань*,—во внутренней же *верхъ*, причемъ на внутренней грани сей послѣдней весьма часто остается нѣкоторая кромка, служащая, между прочимъ, вполне нагляднымъ показателемъ того обстоятельства, что при движеніи поѣзда *закрайны* бандажей паровоза и вагоновъ почти что не касаются внутренней грани внутренней колеи.

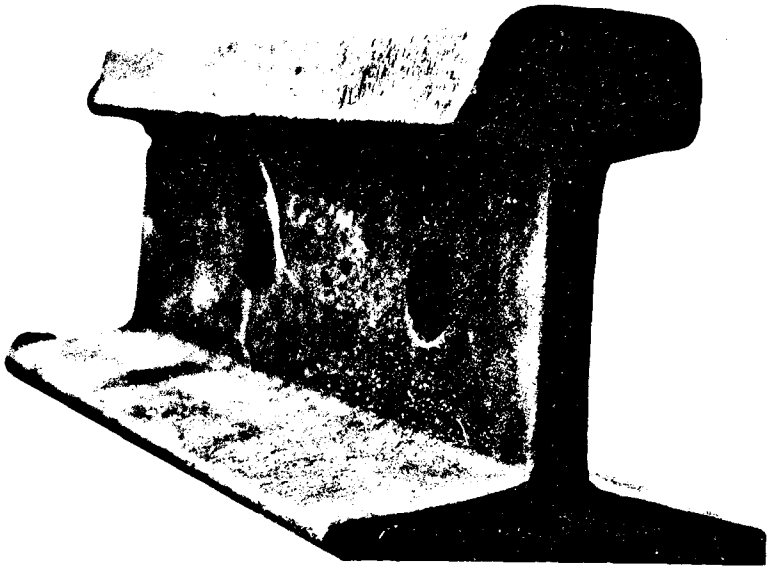
При переходѣ подвижного состава съ прямой на закругленіе отклоненіе паровоза отъ прямолинейнаго направленія начинается съ той минуты, когда реборда перваго колеса (имѣющаго двигаться по упорной колеѣ)—*набѣгаетъ* на внутреннюю боковую грань упорнаго рельса, и, паровозъ, стремящійся въ каждое послѣдующее мгновеніе прохожденія по закругленію двигаться по касательной къ таковому—вслѣдствіе сопротивленія упорнаго рельса (направляющаго движеніе)—отодвигается въ бокъ по направленію оси, поворачиваясь вокругъ внутренняго колеса задней своей оси, какъ центра вращенія. При набѣгѣ *закрайны* бандажа передняго колеса на вышеупомянутую боковую грань упорнаго рельса развивается треніе, содѣйствующее ребордѣ

№ IV.



Износъ рельсовъ на кривыхъ. Величина износа $6^m/m$.
Кромѣ того изгибъ шейки.

№ V.



Износъ рельсовъ на кривыхъ. Величина бокового износа $8^m/m$.

взлзаетъ на рельсъ, а для поворота самого паровоза и скольженія колесъ по рельсамъ необходимо, чтобы переднее колесо производило давленіе на упорный рельсъ, зависящее отъ нагрузки передней оси и достаточное для преодоленія этого тренія. Давленіе передней оси передается затѣмъ при помощи рамы на другія оси паровоза. Изъ этого конечно слѣдуетъ, что треніе между рельсомъ и ребордами бандажей паровоза имѣетъ *крайне важное значеніе* при *проходѣ паровоза по кривой*.—Такимъ образомъ взаимодействіе рельса и колесъ, въ существенной степени обусловливаетъ степень безопасности движенія: въ самомъ дѣлѣ: при нѣкоторомъ предѣльномъ износѣ бандажа: когда онъ образуетъ изъ себя нѣчто въ родѣ *остраго клина*,—искусственный ножъ этотъ при каждомъ проходѣ по кривой все болѣе и болѣе сострругиваетъ боковую грань упорной колеи, и въ концѣ концовъ, при достаточной степени износа таковой *взлзаетъ по наклонной плоскости сей послѣдней* на головку рельса, а оттуда наружу колеи—и происходитъ *сходъ*. Вышеописанное явленіе такого опаснаго взаимодействія бандажа и изношеннаго рельса во всей своей неприглядной наглядности сказывается, къ сожалѣнію, и на Сибирской дорогѣ.

Таблицы износовъ на стр. 27 и стр. 30, профили изношенныхъ рельсовъ № 6, № 7, № 10 на листахъ IV, V и VI и фототипіи № IV и № V даютъ достаточное представленіе о степени и характерѣ этого явленія. Разсматривая въ частности фототипію № V (продольной видъ рельса), нетрудно замѣтить, что вся наклонная грань износа изборождена параллельнымъ рядомъ зазубринъ отъ острыхъ ребордъ бандажей, стремившихся взбираться по наклонной грани на головку рельса. Фототипія № IV показываетъ не только достаточно сильный износъ боковой грани, но и нѣкоторое *искривленіе* шейки рельса вслѣдствіе излишней слабости профили самаго типа легковѣснаго рельса.

На фототипіи № VI съ изношеннаго бандажа паровоза поражаетъ самый видъ реборды.—Она представляетъ собою собою совершенное подобіе остраго рѣзца. Непосредственное измѣреніе этой реборды даетъ 17 мм.*).

*) Нижнеудинскій участокъ, тяги.

На фототипи № VII на ободкѣ реборды ясно отпечатались рядъ параллельныхъ зазубринъ, являющихся послѣдствіемъ вышесказаннаго взлѣзанія реборды на упорную колею.

На приложенныхъ въ концѣ статьи на листѣ XVI чертежахъ №№ 27 и 28 указаны подлинныя профиля, снятыя съ бандажей двухъ паровозовъ одного изъ Восточныхъ участковъ тяги*). На обоихъ гребни толщиной 17 мм. очертанія нормальнаго гребня указаны пунктиромъ.

Таковъ въ общихъ чертахъ характеръ предѣльнаго износа бандажей весьма многихъ паровозовъ, обращающихся на горномъ участкѣ Сибирской дороги. Со стороны службы тяги слышны постоянныя жалобы на необходимость возобновлять обточку бандажей далеко еще до срока при нормальныхъ условіяхъ службы.

Между тѣмъ, сдѣлать что либо въ этомъ направленіи при настоящемъ положеніи дѣла, почти что невозможно: общее количество кривыхъ съ крутымъ радіусомъ 120—150 доходитъ на дорогѣ до внушительной цифры 658**) *верст* и улучшение ихъ возможно было бы въ большинствѣ случаевъ лишь коренною ломкою всей линіи съ проведеніемъ таковой по новымъ вариантамъ, которые частію уже выяснились, частію могутъ еще только выясниться въ будущемъ.

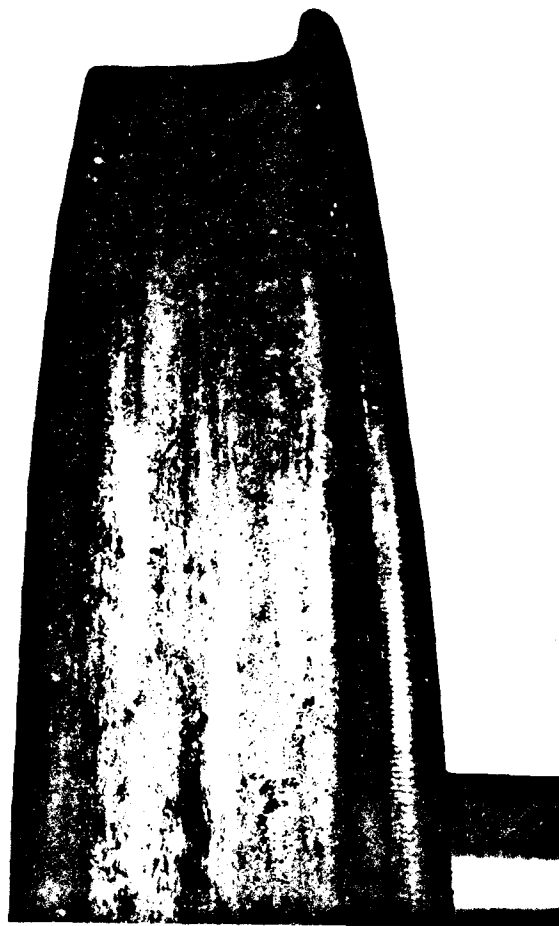
Кое что въ смыслѣ улучшения профили дѣлается и въ настоящее время: при перестройкѣ деревянныхъ мостовъ на желѣзные и на трубы, а равно и при устройствѣ новыхъ разѣздовъ—главнымъ образомъ въ отношеніи перепроектировки полотна съ болѣе пологими кривыми (а равно и уклонами), но все же это лишь капля въ морѣ.

Нѣкоторымъ средствомъ къ уменьшенію износа бандажей и рельсовъ на такихъ крутыхъ кривыхъ могла бы, быть можетъ, служить практикуемая на нѣкоторыхъ заграничныхъ желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ имѣются закругленія съ особо малыми радіусами, *смазка* ребордъ бандажей при помощи особаго приспособленія маслами или нефтяными остатками. По свидѣ-

*) Иланскій участокъ тяги.

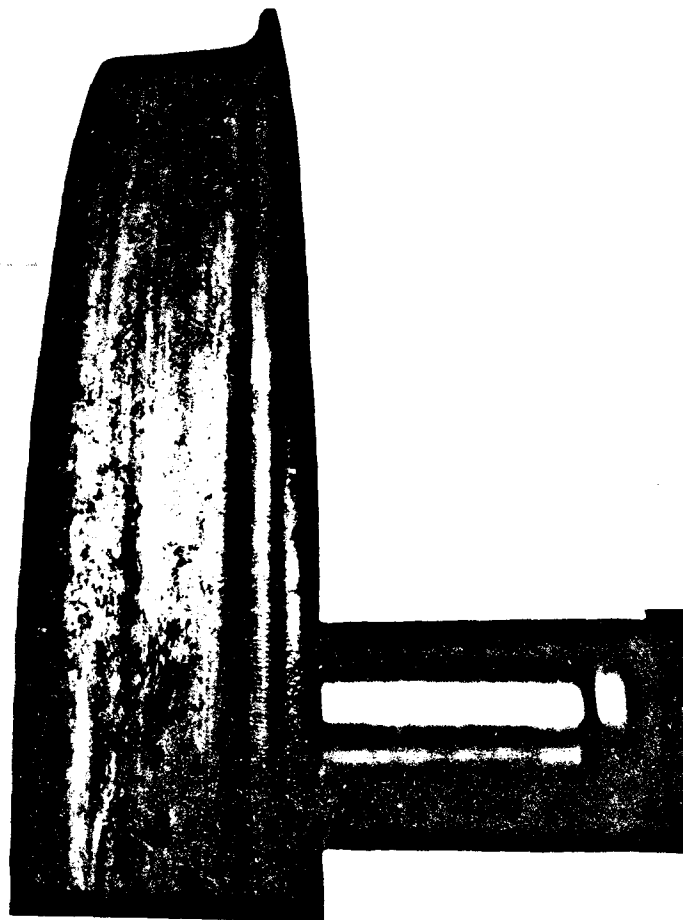
**) Западный участокъ 97,65 верстъ и Восточный 533,73; Томская вѣтвь—26,68 вер.

№ VII.



Износъ бандажей. Гребень остріемъ 17^м/м.

№ VI.



Износъ бандажей. Гребень остріемъ 17^м/м.

тельству германскаго инженера Бёдекера *) срокъ службы бандажа увеличивается такимъ путемъ на 40 — 50⁰/о, а износъ рельсовъ значительно уменьшается. По опытамъ на Баварскихъ желѣзныхъ дорогахъ сопротивление движенію подвижнаго состава по кривымъ радіусовъ отъ 300 до 550 метровъ путемъ смазки уменьшено на 49⁰/о; въ кривыхъ радіусовъ отъ 150 до 200 метровъ—на 54⁰/о; а въ одной кривой радіусомъ въ 100 м.—на цѣлыхъ 61⁰/о.

Вышеуказанный способъ смазки введенъ, между прочимъ, на нижеслѣдующихъ австрійскихъ и нѣмецкихъ желѣзныхъ дорогахъ. «Oesterreichische-Nordwestbahn», «Oesterreichische Südbahn», Kaiserin Elisabeth-Bahn»; Oesterreichische Staats-Eisenbahn-Gesellschaft». Bayerische Staatsbahn». «Oberhessische Bahn». На Берлинской городской желѣзной дорогѣ (Berliner Stadtbahn) паровозы снабжены приспособленіемъ для поливки на крутыхъ кривыхъ ребордъ бандажей водою.

Опытъ со смазкою бандажей маслами полезно бы было сдѣлать и на Сибирской дорогѣ, хотя, быть можетъ, условія исключительныхъ крайностей въ температурѣ могутъ повліять и въ *обратную* сторону: въ смыслѣ нарушенія необходимаго сцѣпленія колесъ съ рельсами (по крайней мѣрѣ на значительныхъ подъемахъ). Повидимому болѣе цѣлесообразнымъ было бы второе средство—т. е. поливка *бандажей* теплою водою.—Такой приемъ, по крайней мѣрѣ, практикуется и на нашихъ дорогахъ въ видѣ поливки самихъ *рельсовъ*, взамѣнъ посыпки пескомъ, въ предупрежденіе буксованія колесъ.

*) „Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene“ Nach eigener Theorie von Boedecker. Hannover. 1887.

III.

Лопанье рельсовъ.

§ 9. Лопанье рельсовъ на Сибирской дорогѣ. Лопанье легковѣсныхъ рельсовъ—представляетъ собою на Сибирской дорогѣ настолько большое мѣсто, что заслуживаетъ нѣсколько болѣе подробнаго разбора.—Не говоря о томъ, что самое количество лопавшихся рельсовъ, какъ нетрудно усмотрѣть изъ нижеслѣдующей таблицы, крайне значительно, но, главнымъ образомъ, весьма часто и самый характеръ излома является особенно опаснымъ для движенія и неоднократно былъ уже причиною крушеній съ весьма серьезными послѣдствіями.

Дѣло въ томъ, что на другихъ дорогахъ въ *большинствѣ* случаевъ лопнувшій рельсъ имѣетъ лишь *одинъ* изломъ—на Сибирской же дорогѣ весьма часто лопавшійся рельсъ разлетается на *нѣсколько* кусковъ, иногда *до* прохода поѣзда, иногда подъ *самымъ паровозомъ*, во время *движенія* сего послѣдняго, подчасъ же и во время стоянки подъ дѣйствіемъ одной только *статической нагрузки* (см. случай уже указанный на стр. 29). Такимъ образомъ тамъ, гдѣ на другихъ дорогахъ возможно подчасъ пропустить совершенно свободно поѣздъ по лопнувшему рельсу, иногда даже (если изломъ на шпальѣ) безъ особыхъ приспособленій и задержекъ поѣзда—въ Сибири это является большею частію *совершенно* невозможнымъ, а лопнувшій и оставшійся незамѣченнымъ рельсъ, или рельсъ лопнувшій подъ самымъ поѣздомъ нерѣдко служитъ причиною серьезныхъ сходовъ.

Количество кусковъ, на которыя лопаются рельсы весьма различно и колеблется отъ простаго излома на двѣ части—до изломовъ на *13* и *23* части.

Мѣста изломовъ—самыя разнообразныя: по дырамъ, внѣ дыръ—(по шейкѣ); отколъ части головки, отколъ всей головки отъ шейки, отколъ подошвы частичный, отколъ всей подошвы

отъ шейки; одновременный: отколъ головки, лопанье шейки на нѣсколько, большею частію, треугольныхъ кусковъ и отколъ подошвы и т. п.

Количество такихъ изломовъ также весьма разнообразно, но большею частію лопанье происходитъ *внѣ* дыръ: такъ, напри- мѣръ, въ одномъ лишь 1901 году лопнуло: *по дырамъ*—только 41 рельсъ; *внѣ* дыръ 2641 штука.

Мѣста по профилю пути за тотъ же 1901 годъ: лопнуло на площадкѣ и на прямой 654 штуки; на площадкѣ и на кри- вой—380; на уклонахъ и на прямой—514 и на уклонахъ и на кривыхъ—1134 штуки.

Вѣдомость лопнувшимъ рельсамъ легкаго типа за 1901 годъ.

НАЗВАНІЕ ЗАВОДОВЪ.	По дырамъ.	Внѣ дыръ	ИТОГО.	ИЗЪ НИХЪ:			
				На площадкѣ.		На скатѣ.	
				На прямой.	На кривой.	На прямой.	На кривой.
Демидова	—	1	1	1	—	—	—
—	—	3	3	1	1	—	1
—	—	1	1	1	—	—	—
—	4	62	66	27	2	16	21
—	12	232	244	99	32	24	89
—	13	773	786	103	141	119	423
—	8	570	578	73	97	106	302
—	1	127	128	32	15	38	43
—	—	2	2	—	1	—	1
—	—	5	5	3	—	2	—
—	—	8	8	5	1	1	1
Надежда	—	7	7	1	—	2	4
—	1	139	140	19	23	38	60
—	—	161	161	38	16	31	76

НАЗВАНИЕ ЗАВОДОВЪ.	По дражжъ.	Внѣ дяръ.	ИТОГО.	ИЗЪ НИХЪ.			
				На площадкѣ.		На скатѣ.	
				На прямой.	На кривой.	На прямой.	На кривой.
—	—	5	5	—	1	2	2
—	—	1	1	1	—	—	—
—	—	1	1	—	1	—	—
А.Ю.Р.З.Б.О.	—	18	18	4	1	8	5
—	1	92	93	69	5	17	2
—	—	68	68	16	11	19	22
—	—	2	2	1	1	—	—
Бѣлосельскаго	—	1	1	1	—	—	—
—	—	82	82	27	5	28	22
—	—	73	73	44	7	15	7
—	—	38	38	22	3	7	6
—	—	2	2	1	1	—	—
—	—	1	1	—	1	—	—
О.П.З.	—	51	51	30	3	14	4
—	—	45	45	5	1	18	21
—	—	2	2	1	1	—	—
—	—	2	2	2	—	—	—
Н.Р.О.	—	8	8	2	3	—	3
—	—	9	9	2	2	—	5
—	—	16	16	3	2	2	9
—	—	1	1	1	—	—	—
Ю.Р.Д.М.О.	1	32	33	19	2	7	5
Итого	41	2641	2682	654	380	514	1134

Всматриваясь въ вышеприведенную таблицу лопнувшихъ рельсовъ за 1901 годъ, нетрудно усмотрѣть, что по маркамъ заводовъ *наибольшій* процентъ падаетъ на рельсы *Демидовскаго завода*, *наименьшій* на рельсы *Новороссійскаго Общества*.

По годамъ эксплуатаціи лопанье рельсовъ представляется въ нижеслѣдующемъ видѣ:

1897.		1898.		1899.		1900.		1901.		Итого.		Всего.
На прямой.	На кривой.	На прямой.	На кривой.	На прямой.	На кривой.	На прямой.	На кривой.	На прямой.	На кривой.	На прямой.	На кривой.	
165	142	501	389	677	781	1097	1236	1168	1514	4705	4062	8677

Итого, слѣдовательно, за пять лѣтъ лопнуло $\frac{8677}{250} = 35$ верствъ рельсовъ или по *семи* верствъ рельсовъ въ одинъ годъ.

Причину столь огромнаго количества лопающихся рельсовъ слѣдуетъ искать въ трехъ обстоятельствахъ:

1) Сильномъ износѣ и слабомъ сопротивленіи вслѣдствіе сего динамическимъ усиліямъ.

2) Недоброкачества самого матеріала.

3) Исключительныхъ условій Сибирскаго климата.

1. *Слабость сопротивленія* отъ профиля и въ частности износа, была мною разсмотрѣна въ §§ 5 и 7 настоящаго изслѣдованія и, полагаю, достаточно выяснена.

2. *Недоброкачество* самого *матеріала* выражается не въ обилии раковинъ и т. п. недостатковъ, а, главнымъ образомъ, въ излишней *мягкости* стали, благодаря которой и происходитъ стружка рельсовъ на кривыхъ, низводящая сопротивляемость профиля до предѣловъ упругости. Особенно выдаются въ этомъ отношеніи рельсы Демидовскаго завода.

3. *Суровость* Сибирскаго *климата* сказывается главнымъ образомъ въ томъ, что рельсъ ставится въ такія условія, гдѣ перенапряженіе металла достигаетъ крайнихъ предѣловъ: тотъ

климатъ, который приписывается Сибири по географіи прежнихъ лѣтъ, т. е. *континентальный*, характеризующійся наибольшими крайностями температуръ лѣтомъ и зимою, существуетъ и понынѣ: жара въ предѣлахъ Сибирской дороги сплошь да рядомъ достигаетъ лѣтомъ, какъ сказано было выше, $+40^{\circ}$ R., спускаясь зимою до -40° R., а иногда и гораздо ниже*), но за то одного изъ условій континентальности климата: *постоянства температуры* за извѣстный болѣе или менѣе продолжительный періодъ времени въ дѣйствительности, повидимому, нѣтъ: зимою являются значительные *скачки* въ температурѣ.—Прилагаемый въ концѣ настоящаго изслѣдованія на листѣ XVII графикъ температуры за октябрь и ноябрь 1902 года можетъ дать нѣкоторое представленіе о крайне неравномѣрномъ ходѣ сей послѣдней.

При составленіи проекта Сибирской дороги, насколько помнится, между прочимъ, приняты были во вниманіе тѣ данныя, при которыхъ была обусловлена постройка дорогъ крайняго сѣвера Сѣверо-Американскихъ Штатовъ. Нужно полагать, что считались и съ условіями службы рельсовъ и на этихъ дорогахъ, но одно, повидимому, не было принято во вниманіе: 1) въ общемъ средняя температура гораздо *ниже* въ Сибири, чѣмъ въ Америкѣ. 2) *Продолжительность* холодовъ далеко не та.

Такъ въ своемъ докладѣ, сдѣланномъ на международномъ желѣзнодорожномъ сѣздѣ, инспекторъ американскихъ дорогъ инж. Dudley говоритъ**), что минимальная температура въ Восточной части Сѣверо-Американскихъ Штатовъ спускается до ($-34^{\circ},4$ Ц.) между тѣмъ какъ въ Сибири таковая доходитъ, какъ было указано выше до -52° R. = 65° Ц. Кромѣ того изъ диаграммъ температуръ за зимніе мѣсяцы, помѣщенныхъ въ томъ же докладѣ—видно, что *настоящая* зима начинается въ С.-Америкѣ собственно только съ самыхъ послѣднихъ чиселъ ноября или вѣрнѣе съ начала декабря и продолжается до начала марта,—тогда какъ въ Сибири зима начинается весьма часто съ первыхъ чиселъ октября и продолжается до послѣднихъ чиселъ марта, значитъ по меньшей мѣрѣ на $2\frac{1}{2}$ мѣсяца продолжительнѣе.

Во всякомъ случаѣ вполнѣ очевидно, что рельсъ, насилуемый при такихъ условіяхъ двумя основными дѣятелями: *перена-*

*) Такъ въ 1902 году были дни съ $t^{\circ} = -43$ R., а въ 1896 году съ $t^{\circ} = -52^{\circ}$.

**) Congrès International des chemins de fer. Compte rendu général I. V. стр. 51.

№ VIII.



Крушение поезда № 36 на 2422 верстѣ.

пряженіемъ собственно отъ быстрого нарушенія внутренняго строенія молекулъ металла подъ вліяніемъ рѣзкихъ переходовъ отъ одной t^0 къ другой и *усиліемъ растягивающимъ* рельсъ при его сокращеніи отъ пониженія температуры, благодаря тому обстоятельству, что его держать болты въ стыкѣ. Въ послѣднемъ нетрудно убѣдиться изъ разсмотрѣнія болтовыхъ отверстій, многія изъ которыхъ носятъ на себѣ слѣды нѣкотораго растяженія, а также и самихъ перекошенныхъ стержней болтовъ.

Крайняя опасность, которую представляетъ для Сибирской дороги изломъ каждаго рельса заставилъ уже съ самыхъ первыхъ временъ перехода дороги въ эксплуатацію повысить премию за находеніе лопнушаго рельса до *трехъ* руб., вмѣсто 1 р.—1 р. 50 к., уплачиваемыхъ на прочихъ дорогахъ Россійской Имперіи. Къ сожалѣнію, случаи крушеній отъ лопающихся рельсовъ, не смотря на это, довольно часты, такъ какъ бываютъ обстоятельства, когда даже привычному глазу не уловить той начинающейся трещинки или вѣрнѣе «сѣдинки», которая влечетъ за собою дальнѣйшій внезапный изломъ рельса подъ поѣздомъ. Такимъ примѣромъ можетъ служить крушеніе п. № 36 на 2422 верстѣ дороги, близъ деревяннаго 10 сажennaго моста этой версты, гдѣ имѣлся даже особый мостовой сторожъ. Обстоятельства этого схода, картину котораго можно видѣть на фототипи № VIII, слѣдующія:

10-го апрѣля 1901 года, около 10 ч. 10 м. утра по Петербургскому времени, поѣздъ № 36 на концѣ пятнадцати-тысячнаго уклона при выходѣ изъ кривой радіуса 150 саж. на прямую потерпѣлъ крушеніе, у имѣющагося на той же верстѣ моста отверстіемъ 19.50 саж. Сошли съ рельсовъ паровозъ и шестнадцать крытыхъ груженыхъ вагоновъ, изъ коихъ разбито пятнадцать, а шестнадцатый лишь легко поврежденъ. Путь исковерканъ на протяженіи восьмидесяти одной сажени. При крушеніи, по счастливой случайности, получили лишь незначительныя ушибы кондукторъ и смазчикъ. Мѣсто схода: насыпь высотой 2.25 саж. Шпалы укладки 1900 года. Толщина балластнаго слоя 0,20 саж. Рельсы, типа 18 фунтовъ въ погонномъ футѣ, пришиты по всей кривой четырьмя костылями на каждой шпалѣ. Причиною крушенія оказался лопнувшій на три

куска подъ паровозомъ у самаго моста рельсъ, причемъ всѣ мѣста изломовъ оказались совершенно свѣжими и лишь на самой *подшивкѣ* рельса замѣтна была микроскопическая старая трещина.

Схожій съ только что описаннымъ случаемъ представляетъ собой и бывшее 14 октября 1902 г. крушеніе поѣзда № 26 на 2294 в. на кривой радіуса 150 сажени, гдѣ причиною крушенія, необошедшагося, къ сожалѣнію, безъ человѣческихъ жертвъ, оказался рельсъ, лопнувшій на 6 кусковъ съ совершенно свѣжими изломами, за исключеніемъ волосянаго продольнаго отслаиванія длиною 188 мм. въ мѣстѣ сопряженія шейки съ подошвою. Усмотрѣть въ обоихъ описанныхъ случаяхъ трещины не было рѣшительно никакой физической возможности.

Какъ бы то ни было, но обиліе *крушеній* по вышеуказанной причинѣ, списокъ коихъ считаю не безынтереснымъ привести въ нижеслѣдующей вѣдомости,—неволью заставляеть призадуматься надъ этимъ крайне нежелательнымъ явленіемъ.

Время происшествія.	№ поѣзда и мѣсто схода.	ПОСЛѢДСТВІЯ СХОДА.		
		Истреблено имущества.	Пострадало людей.	
			УБИТО.	РАВНО.
1899 годъ.				
19 апрѣля.	Крушеніе п. № 3 на 133 верстѣ отъ ст. Енисей.	Повреждено пути на 500 руб. . " подвижн. сост. 21500 р.	—	12
22 августа.	Сходъ п. № 1 на 2372 верстѣ отъ Челябинска.	—	—	—
21 "	Сходъ п. № 201 на 2064 верстѣ отъ Челябинска.	Вагоновъ и пути на 20800 руб.	—	8
26 іюля.	Сходъ п. № 4 на 337 в. отъ Красноярска.	Подвижн. сост. и пути на 18900 р.	—	6
1900 годъ.				
18 января.	Сходъ паровоза въ п. № 202 на 2101 верстѣ.	Изломано 9 рельсовъ	—	—
20 февраля.	Сходъ паровоза въ п. № 25 на 2148 верстѣ.	Поврежденъ паровозъ на 320 р. " путь " 100 р.	—	—
20 "	Сходъ паровоза въ п. № 447 на 2149 верстѣ.	—	—	—
13 мая.	Сходъ п. № 3 на 1765 вер.	Подвижного состава на 8097 р. Пути на 407 р.	—	2

Время происшествія.	№ поѣзда и мѣсто схода.	ПОСЛѢДСТВІЯ СХОДА.		
		Истреблено имущества.	Пострадало людей.	
			УБИТО	РАНЕНО.
17 „	Крушеніе балластнаго п № 451 на 2948 верстѣ.	Подвижнаго состава на 6662 р. Пути 20 сажень	1	2
4 декабря.	Сходъ п. № 11 на 2146 вер.	Иломано 300 болтовъ и 400 костьюлей.	—	—
1901 годъ.				
19 января.	Сходъ п. № 35 на 2147 вер.	—	—	—
4 февраля.	Сходъ и. № 11 на 2478 „	4 ресьса	—	—
10 апрѣля.	Сходъ п. № 36 на 2422 „	Подвижнаго состава на 13588 р. Пути на 867 руб	—	2
3 „	Сходъ п. № 33 на 2436 „	Подвижнаго состава на 24000 р.	—	2
1902 годъ.				
18 октября.	Сходъ п. № 26 на 2294 „	Подвижнаго состава на 18000 р.	1	—

§ 10. Общіе выводы. Заканчивая вопросъ о службѣ легкаго рельса на Сибирской дорогѣ, считаю умѣстнымъ повторить вкратцѣ тѣ основные выводы, къ которымъ приводитъ ближайшее изслѣдованіе сказаннаго вопроса.

I. *Напряженіе 18-ти фунтоваго рельса при статической нагрузкѣ отъ обращающихся по нему паровозовъ выше допускаемаго.*

II. *Напряженіе того же рельса при динамической нагрузкѣ крайне высоко, а иногда несомнѣнно превосходитъ предѣлъ упругости.*

III. *Легковѣсные рельсы опасны для мѣстностей съ значительными лѣтними жарами, вслѣдствіе недостаточно жесткаго для сопротивленія горизонтальнымъ силамъ профиля.*

IV. *Легковѣсные рельсы совершенно негодны для дорогъ съ горнымъ характеромъ профиля, какъ по значительной степени износа, такъ и по малой сопротивляемости боковымъ усиліямъ въ горизонтальной плоскости, благодаря чему является подгьданіе костьюлей и опасное уширеніе пути.*

V. *Легковѣсные рельсы крайне неблагонадежны въ мѣстностяхъ съ сильными морозами по своей малой сопротивляемости излому.*

IV.

Массовая сплошная смѣна легковѣсныхъ рельсовъ тяжелыми.

§ 11. Общія соображенія по сему вопросу Коммиссіи инженера Михайловскаго.

Уже въ 1898 году коммиссія инженера Михайловскаго обратила серьезное вниманіе на существенную неблагонадежность 18-ти фунтоваго рельса и въ своемъ отчетѣ указываетъ, между прочимъ, что «сопоставленіе величинъ допускаемыхъ напряженій—съ величинами вычисленныхъ коммиссіею показывается, что *дѣйствительныя напряжения превосходятъ допускаемое* прочное сопротивленіе металла; кромѣ того рельсъ слабо сопротивляется боковымъ усилямъ. Принимая же во вниманіе трудность профиля Средне-Сибирской и Забайкальской дорогъ съ значительными уклонами до 0,0174 и кривыми описанными радиусомъ 150 саж. и 120 саж., также суровость климатическихъ условій и увеличивающееся число ежегодно лопающихся рельсовъ—слѣдуетъ признать, что 18-ти фунтовые рельсы *не пригодны* къ службѣ при допущеніи поѣздовъ со скоростью болѣе 35 верстъ въ часъ. На этомъ основаніи представляется необходимымъ на указанныхъ дорогахъ при допущеніи скорости больше 35 верстъ въ часъ замѣнить 18-ти фунтовые рельсы болѣе тяжелыми вѣсомъ 24 фунта въ погонномъ футѣ, принятыми для соединительной вѣтви Сибирской дороги съ Восточно-Китайской»^{*)}).

Въ томъ же отчетѣ говорится далѣе:^{**)} «Условія продольнаго профиля Западно-Сибирской дороги при уклонахъ не превышающихъ 0,0074, незначительное количество кривыхъ (7,5%), опи-

^{*)} См. стр. 139 отчета.

^{**)} Стр. 139 и 140 отчета.

санныхъ радіусомъ не менѣе 200 сажень, *позволяютъ допустить къ службѣ* 18-ти фунтовые рельсы до предѣльнаго износа, увеличивъ прочность и устойчивость пути слѣдующими мѣрами:

1) Замѣною на кривыхъ радіуса менѣе 300 саж. 18-ти фунтовыхъ рельсовъ, рельсами типа 24 фунта въ погонномъ футѣ.

2) Доведеніемъ числа шпальъ подъ каждымъ рельсомъ до 13, вмѣсто уложенныхъ 12 и увеличеніемъ длины шпальъ съ 1,15 саж. до 1,25 саж.

3) Укладкою на каждой шпальѣ трехдырныхъ подкладокъ и забитіемъ 3 костылей.

4) Доведеніемъ толщины балластнаго слоя до 0,22 сажени при ширинѣ его по верху 1,45 сажени.

При такихъ условіяхъ *возможно* будетъ допустить по Западно-Сибирской дорогѣ движеніе поѣздовъ съ наибольшею скоростью *до 50 верстъ въ часъ и оставитъ* рельсы 18-ти фунтовые до нормального износа». Далѣе комиссія высказываетъ заключеніе, что средній срокъ службы рельсовъ можно считать не *болѣе 12 лѣтъ*. И что сверхъ всего вышеуказаннаго: «на Западно-Сибирской дорогѣ имѣется весьма незначительное число балластныхъ карьеровъ, имѣющійся въ нихъ песокъ крайне мелокъ, находящійся въ пути балластъ легко выдувается вѣтромъ и поднимается при движеніи поѣздовъ, что вредно отзывается на службѣ подвижнаго состава и рельсовъ. Поэтому представляется необходимымъ прикрыть балластъ въ пути щебнемъ толщиной 0,04 сажени, для чего потребуются на версту 40 кубическихъ сажень щебня; мѣра эта кромѣ того придастъ большую устойчивость пути»... «Что же касается до станціонныхъ, запасныхъ и главнаго путей въ предѣлахъ станцій и существующихъ развѣздовъ, то, такъ какъ поѣзда проходятъ мимо *съ уменьшенною* скоростію, на означенныхъ путяхъ *могутъ быть оставлены 18-ти фунтовые рельсы* въ существующихъ условіяхъ укладки пути и толщины балластнаго слоя»...

У мѣста будетъ упомянуть, что приведенныя въ таблицѣ № 2 на страницѣ 138 того же отчета расчеты напряженій въ рельсахъ при динамической нагрузкѣ *ниже* полученныхъ мною, а именно: при условіи 12 шпаль, $C=3$, длины таковыхъ 1,15 сажени и полномъ слоѣ балласта и давленіи колеса паровоза въ 7000 килограммовъ и новыхъ рельсахъ:

По отчету Комиссіи.

При скорости 25 верстъ въ часъ и давленіи колеса 7000 килограммовъ
 $R=11,6$ килограммовъ.

При улучшенномъ состояніи пути: 13 шпалахъ, длиною 1.25 сажени, полномъ слоѣ балласта и $C=5$.

По отчету комиссіи.

Скорость 25 верстъ въ часъ. Давленіе на колесо 7000 килограммовъ. Рельсъ новый.

$$R=10,8 \text{ килограмма.}$$

Скорость 35 верстъ. Давленіе на колесо 7000 килограммовъ. Износъ рельсовъ 2 мм.

$$R=12,3 \text{ килограмма.}$$

Скорость 35 верстъ. Давленіе на колесо 7000 килограммовъ. Износъ 5 мм.

$$R=12,8 \text{ килограмма.}$$

Скорость 50 верстъ. Давленіе на колесо 7000 килограммовъ. Износъ 2 мм.

$$R=13,5 \text{ килограмма.}$$

Скорость 50 верстъ. Давленіе на колесо 7000 килограммовъ. Износъ 5 мм.

$$R=14 \text{ килограммовъ.}$$

По моему разсчету.

При скорости 25 верстъ въ часъ и давленіи колеса 6500 килограммовъ
 $R=19,50$ килограммовъ.

По моимъ разчетамъ.

Скорость 25 верстъ въ часъ. Давленіе на колесо 6930 килограммовъ. Рельсъ новый.

$$R=15,60$$

Скорость 35 верстъ. Давленіе на колесо 6930 килограммовъ. Износъ рельсовъ 2 мм.

$$R=17,596.$$

Скорость 35 верстъ. Давленіе на колесо 6930 килограммовъ. Износъ 5 мм.

$$R=18,257.$$

Скорость 50 верстъ. Давленіе на колесо 6930 килограммовъ. Износъ 2 мм.

$$R=20,99.$$

Скорость 50 верстъ. Давленіе на колесо 6930 килограммовъ. Износъ 5 мм.

$$R=21,78.$$

Какъ-бы то ни было, но оставленіе на западномъ участкѣ дороги 18-ти фунтовыхъ рельсовъ даже при улучшенномъ состояніи пути, т. е. выполненіи всѣхъ мѣръ, предусмотрѣнныхъ комиссіею, а равно и оставленіе ихъ на главномъ и пассажирскихъ путяхъ развѣздовъ восточнаго участка дороги, гдѣ скорые поѣзда проходятъ развѣзды весьма часто безостановочно со скоростью, могущей случайно доходить и до 30 верстъ въ часъ,—едвали можетъ быть допущено безъ нѣкоторой опаски.

§ 12. Мѣропріятія со стороны управленія дороги къ временной придачѣ большей устойчивости пути. Ради большей безопасности движенія до окончанія всѣхъ мѣропріятій, указанныхъ ком-

миссією, администраціей дороги былъ разновременно предпринятъ цѣлый рядъ мѣръ къ приданію большей устойчивости пути съ легковѣсными рельсами, независимо отъ западнаго участка, и на восточномъ участкѣ дороги, не дожидаясь смѣны таковаго тяжелымъ типомъ рельсовъ, а именно: были, на примѣръ, подведены, какъ было уже указано выше (§ 2), трехдырныя подкладки съ добавочными костылями, но не только на такихъ, кривыхъ, какъ кривыя радіуса 120 и 150, но и на болѣе пологихъ радіусахъ до радіуса 300 включительно. Общее количество такихъ подкладокъ доходитъ до весьма внушительной цифры *одного милліона двухсотъ шестидесяти восьми тысячъ* штукъ. Засимъ всевозможными способами настоятельно ускорилось какъ исходатайствованіе кредитовъ, такъ и сама сплошная смѣна легкихъ рельсовъ тяжелыми и въ настоящее время уложена уже вся часть западнаго участка дороги, предположенная по комиссіи инженера Михайловскаго и *весь горный* участокъ дороги (за исключеніемъ Томской вѣтви)—всего же 1072 версты.

При этомъ въ						
1899	году	было	уложено	на	Западномъ	участкѣ 60 верстъ.
»	»	»	»	»	Восточномъ	» 51 »
1900	году	»	»	»	Западномъ	» 5,5 »
»	»	»	»	»	Восточномъ	» 61 »

§ 13. Организациія и производство массовой сплошной смѣны рельсовъ въ 1901 и 1902 годахъ. Увеличивающееся количество крушеній въ зависимости отъ явной слабости профиля рельса и его ненормальнаго износа побудило Управленіе дороги ускорить во что бы то ни стало самую сплошную смѣну рельсовъ и рѣшено было, начиная съ 1901 года, производить такуюю въ усиленномъ размѣрѣ. Организациія и само производство вышеуказанной работы были поручены мнѣ. Въ виду нѣкотораго интереса, который можетъ представить собою, весьма исключительный въ лѣтописяхъ желѣзнодорожнаго дѣла, опытъ такой массовой сплошной смѣны рельсовъ, усложненной притомъ нѣкоторыми мѣстными обстоятельствами—я позволю себѣ привести нѣкоторыя данныя двухлѣтней смѣны рельсовъ за 1901 и 1902 года.

а) *Количество смѣненныхъ рельсовъ.* Въ 1901 г. смѣнено было 455½ верствъ. Въ 1902 году—438½ верствъ—всего за два года **894** версты.

б) *Клейма и длины рельсовъ.* Почти всѣ рельсы типа 24 фунта получались или съ Демидовскихъ или съ Богословскихъ заводовъ при нормальной длинѣ въ 28 и, главнымъ образомъ, 35 футовъ.

в) *Время начала смѣны и окончанія таковой.* Въ виду исключительно короткаго Сибирскаго лѣта и возможности начинать смѣну лишь послѣ нѣкотораго исправленія сильно искалѣченнаго зимними морозами, изобилующаго множествомъ *пучинъ* (свыше 68.000 пог. сажень пучинъ) пути, приходилось съ одной стороны считаться съ вышеуказанными обстоятельствами, съ другой же—*выжидать* получки рельсовъ, изъ которыхъ большая часть приходила на баржахъ на пристань ст. Обь, слѣдовательно, послѣ открытія навигаціи и прохожденія далекаго пути водою до пристани назначенія, что давало крайне поздній срокъ прибытія даже и на эту конечную пристань. Такъ, на примѣръ, въ 1902 году первая партія Богословскихъ рельсовъ пришла на Обскую пристань лишь *24 іюня*, а послѣдняя партія въ концѣ *августа*. Такимъ образомъ, даже послѣ получки рельсовъ, предстояла до начала укладки еще *развозка* таковыхъ къ мѣстамъ укладки, отстоящимъ отъ Обской пристани на весьма далекое разстояніе; такъ, на примѣръ, ближайшій къ пристани участокъ (XVII близъ Красноярска), на которомъ предстояла укладка, находился въ разстояніи 830 верствъ, а дальнѣйшій (XXV—близъ Иркутска) въ разстояніи 1708 верствъ! Если прибавить къ сему, что въ общемъ требовалась перевозка съ Обской пристани срочно около 1.500.000 пудовъ рельсовъ, для чего приходилось согнать въ одно мѣсто почти весь составъ платформъ дороги, притомъ въ самое горячее время пользованія таковыми для другихъ нуждъ, на примѣръ, для вывозки балласта,—то легко убѣдиться въ какихъ тяжелыхъ условіяхъ находилось и самое начало дѣла задолго еще до приступа къ самой работѣ. Такимъ образомъ, въ общемъ начало смѣны рельсовъ въ полномъ объемѣ можно было считать во всякомъ случаѣ не раньше самыхъ послѣднихъ чиселъ іюня. Конецъ въ зависимости отъ получки рельсовъ—затягивался иногда до конца октября или даже первыхъ чиселъ ноября.

г) *Организація* самыхъ работъ представляла также значительныя трудности, одною изъ основныхъ которыхъ явилось почти полное отсутствіе сколько нибудь опытнаго не только въ смѣнѣ рельсовъ, но вообще въ какихъ бы то ни было путевыхъ работахъ, личнаго состава. Обстоятельство это ничуть не удивительно, если принять въ соображеніе ту страшную смѣняемость въ служащихъ, которая наблюдается изъ года въ годъ на Сибирской дорогѣ: таблицы увольняемости, составленныя Завѣдующимъ пенсіонною кассою Сибирской дороги г. Сентянинымъ *), показываютъ, что подавляющее большинство лицъ, оставляющихъ службу на Сибирской дорогѣ, уходитъ по *собственному желанію*, благодаря неблагоприятнымъ условіямъ службы, климатическимъ невздамъ, отдаленности и некультурности края, дороговизнѣ жизни и полной необезпеченности **). Такъ, на примѣръ, въ 1898 году уволилось 3293 человекъ, въ 1899 году—4257, въ 1900 г.—3809 и т. д. Понятно, что при такихъ условіяхъ нѣтъ возможности создать сколько нибудь опытный составъ людей. Приходится выписывать ихъ изъ Россіи. Но за весьма *немногими* исключеніями удастся заполучить конечно только такихъ служащихъ, которые по разнымъ причинамъ не могутъ удержаться въ Россіи. Ввѣрять такимъ агентамъ отвѣтственныя работы крайне рискованно, — но волею неволею приходится мириться и съ этимъ.

Съ цѣлью организовать сколько нибудь удовлетворительно работу смѣны, было выписано съ различныхъ дорогъ одновременно за два года 26 опытныхъ и болѣе или менѣе благонадежныхъ дорожныхъ мастеровъ, лично извѣстныхъ мнѣ или кому либо изъ агентовъ дороги по предшествующей совмѣстной службѣ въ Россіи, притомъ на значительно повышенныхъ противъ окладовъ Европейской Россіи условіяхъ. Опытъ показываетъ, что эти и *лучшіе* дорожные мастера по истеченіи изумительно быстрого времени портятся, начинаютъ лѣниться, небрежно вести дѣло, пьянствовать и приписывать въ табеляхъ. Наболѣе же порядочные *уходятъ*, умоляя ихъ отпу-

*) „Статистическій очеркъ личнаго состава Сибирской желѣзной дороги“. В. Е. Сентянинъ. Томскъ. 1902.

**) См. подробности въ приложеніи № 2 „Выписка изъ статистическаго очерка личнаго состава Сибирской дороги“. В. Е. Сентянина.

стить обратно въ Россію на гораздо болѣе низкіе оклады даже чѣмъ тѣ, которые они получали тамъ до своего перехода въ Сибирь, а иногда уходятъ даже прямо на «ура»—безъ надежды на мѣсто! Какъ велись работы при такихъ условіяхъ, можно судить изъ нижеприлагаемой копіи съ одной изъ моихъ депешъ, данной при осмотрѣ работъ на линіи 1-го іюня 1901 года.

„Отъ Челябинска до Томска и Иннокентьевской Начальникамъ участковъ пути. Копія Начальнику дороги, Начальникамъ Отдѣленій пути. Изъ осмотра производящейся нынѣ сплошной смѣны рельсовъ убѣдился, что почти вездѣ таковая, несмотря на изданную по сему поводу Инструкцію и циркуляръ № 5491, ведется неправильно, а на нѣкоторыхъ участкахъ даже явно опасно для движенія поѣздовъ. Такъ почти на всѣхъ участкахъ новое и старое скрѣпленіе валяются на протяженіи цѣлыхъ верстъ безъ уборки, позволяя самую легкую покражу. Болты на смѣненныхъ рельсахъ слабо подтянуты, а мѣстами уложены не по чертежу, такъ что, благодаря близости головки костыля, ихъ и нельзя заболтить надлежащимъ образомъ. Подъ нѣкоторыми стыковыми шпалами и подъ промежуточными подкладками съ ребордами допущены малопостелистыя и даже маломѣрные шпалы, такъ что края подкладокъ на-вѣсу. Стыки въ большинствѣ случаевъ не по угольнику. Въ нѣкоторыхъ шпалахъ затеска сдѣлана не по шаблону, а криво, такъ что между подкладкой и шпалой угловой прозоръ. Изъ особо крупныхъ непорядковъ отмѣчу: на одной кривой уложены на правой колеѣ рядомъ рубки *въ семь сотыхъ и двадцать три сотыхъ* сажени, а на лѣвой колеѣ, напротивъ, рубка въ *двадцать шесть сотыхъ*. На другомъ участкѣ уложено на прямой въ мѣстѣ смычки съ легкими рельсами на правой колеѣ рубка въ *пять сотокъ*, а на противоположной колеѣ рубка въ *семь сотокъ*, а рядомъ съ ней въ прозорѣ между торцомъ рубки и торцомъ рельса засунуть для заполнения пространства *стыковой костыль*. Нѣсколько костылей забиты *мимо шпалъ* въ балластѣ и подкладки положены косо. На томъ же участкѣ, на протяженіи около *восьми* верстъ, всѣ стыки не по угольнику. Путь на прямой на сплошной смѣнѣ рельсъ шить на одномъ участкѣ на трехъ верстахъ явно на-глазъ, а именно въ предѣлахъ отъ 0.709 до 0.719 сажени. На другомъ участкѣ путь при пропускѣ

поѣзда оказался совершенно расшитымъ на трехъ стыкахъ на одной и на трехъ стыкахъ на другой колеѣ. Подкладки положены криво и косо, стыки не по угольнику. На двухъ участкахъ оказались неправильно уложенными накладки несмотря на то, что порядокъ ихъ укладки указанъ въ приложенномъ къ инструкціи чертежѣ. Еще разъ прошу Г.г. Начальниковъ участковъ освоиться съ инструкціею и неуклонно требовать ея исполненія, помня всю *ответственность* работъ, какъ въ техническомъ отношеніи, такъ и въ смыслѣ безопасности движенія. Полученіе настоящей депеши телеграфируйте. № 4742. Любимовъ.

Приходилось неустанно учить, учить и брать одною лишь упорною настойчивостью, ибо къ сколько нибудь серьезнымъ взысканіямъ прибѣгать было совершенно немыслимо: люди *тотчасъ же уходили*.

Крайнія затрудненія представляло и представляетъ собою образованіе кадра даже опытныхъ простыхъ рабочихъ, такъ какъ были участки, напримѣръ, между Канскомъ и Нижнеудинскомъ, между станціею Зимою и Иркутскомъ и др., гдѣ въ рабочую пору *ни за какія деньги нельзя* было достать рабочихъ вообще. Приходилось возить на такіе участки рабочихъ со ст. Обь, или еще изъ болѣе далекихъ мѣстъ, напримѣръ, изъ Каинска и Омска, т. е. съ разстоянія въ первомъ случаѣ около 950 верстъ; во второмъ—свыше 1200; въ третьемъ—свыше 1500 верстъ! На долю Начальника участка, гдѣ производилась смѣна, выпадала тогда еще далеко не легкая обязанность заботиться *о продовольствіи* всей толпы пріѣзжихъ рабочихъ, что сопряжено было подчасъ съ огромными трудностями, въ виду неимѣнія продуктовъ на мѣстѣ.

д) *Общій порядокъ смѣны*. Для развозки рельсовъ и скрѣпленія были заблаговременно составлены особыя разсылочныя вѣдомости*) съ показаніемъ перегоновъ, подлежащихъ смѣнѣ на каждомъ участкѣ, количества рельсовъ и количества скрѣпленій по сортамъ. Такими вѣдомостями снабжались, какъ Матеріальная Служба, такъ и смотрители ея главныхъ складовъ, а равно и всѣ Начальники участковъ получатели. Къ правиламъ сплошной смѣны и сигнализациі работъ, ничѣмъ не отли-

*) См. приложение № 4.

чавшимся отъ общепринятаго нормальнаго порядка такой работы, разосланнымъ Начальникамъ участковъ въ количествѣ, достаточномъ для раздачи всѣмъ отвѣтственнымъ агентамъ по смѣнѣ, былъ приложенъ особый циркуляръ *) съ нѣскольکو болѣе подробнымъ указаніемъ обстоятельствъ организациі работъ въ зависимости отъ крайней малоопытности не только низшихъ, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ и высшихъ агентовъ, никогда не имѣвшихъ случая до этого ознакомиться на практикѣ съ такою работою.

Начальникамъ участковъ вмѣнялось въ обязанность въ концѣ каждой недѣли сообщать срочными депешами количество смѣненныхъ за недѣлю верствъ. Для изготовленія необходимыхъ рубокъ учреждена небольшая рельсорѣзочная мастерская на ст. Зима—изъ двухъ пильныхъ и двухъ сверлильныхъ станковъ при одномъ локомотивѣ. На каждомъ участкѣ работало столько артелей, сколько можно было поставить по количеству полученныхъ рельсовъ и наличію опытныхъ въ дѣлѣ дорожныхъ мастеровъ.— Первоначально установленный порядокъ смѣны особыми дорожными мастерами укладчиками, независимо отъ околодочныхъ, далъ несовсѣмъ благоприятные результаты въ виду небрежности, съ какою производилась работа: укладчикъ *зналъ* работу «во всю», не заботясь о надлежащей подбивкѣ вслѣдъ перегнанныхъ шпаль, надлежащей подъуклонкѣ, исправленію прозоровъ и т. п. добавочныхъ работахъ, вслѣдствіе чего результатъ работы былъ далеко неудовлетворительный. Въ текущемъ 1902 году такіе отдѣльные дорожные мастера укладчики были поставлены лишь на такихъ околодкахъ, дорожные мастера коихъ совершенно не были знакомы съ этою работою, на всѣхъ же прочихъ сплошная смѣна поручена *мѣстнымъ околодочнымъ* мастерамъ, а на время занятія ихъ этою работою, завѣдываніе поручалось особому временному командированному дорожному мастеру замѣстителю. Результатъ получился гораздо болѣе удовлетворительный, ибо каждый околодочный дорожный мастеръ, ведя смѣну, *зналъ*, что самъ себѣ напортитъ и усложнитъ въ дальнѣйшемъ уходъ за околодкомъ плохою работою.

е) *Успѣхи смѣны*. Суточный успѣхъ смѣны не вездѣ былъ одинаковъ, а зависѣлъ конечно какъ отъ мѣстныхъ условій

*) Циркуляръ по службѣ Пути № 5491. 1901 г. См. приложение № 3.

(обилія кривыхъ) такъ и отъ личной энергіи Начальника участка и его ближайшихъ сотрудниковъ при всѣхъ остальныхъ одинаковыхъ условіяхъ. Въ общемъ же средній *суточный* успѣхъ артели былъ довольно *малъ*, въ зависимости главнымъ образомъ отъ крайне перерѣзанной мѣстности съ обиліемъ кривыхъ и искусственныхъ сооружений. Наибольшій успѣхъ работы на артель выражался 1,2 версты въ день на артель въ 60 человекъ при одномъ дор. мастерѣ и одномъ артельномъ старостѣ. Наименьшій 80 сажень на артель въ 12 человекъ при одномъ дор. мастерѣ и одномъ артельномъ старостѣ; *конечный* же успѣхъ работы былъ въ общемъ *вполнѣ удовлетворителенъ*, если принять во вниманіе, что за іюнь, іюль, августъ, сентябрь и октябрь 1901 и 1902 годовъ, т. е. за 10 неполныхъ мѣсяцевъ (краткость дня въ сентябрѣ и октябрѣ)—смѣнено безъ малаго 900 верстъ рельсовъ.

ж) *Цѣны на рабочія руки*. Цѣны на рабочихъ на различныхъ участкахъ колебались въ довольно широкихъ предѣлахъ, смотря по мѣстности и по времени года. Наболѣе дешевый рабочій обходился 60 копѣекъ, наболѣе дорогой—1 р. 30 копѣекъ въ день. Костылышки получали на 25% больше.

з) *Несчастные случаи при смѣнѣ*. За два года массовой смѣны рельсовъ по особо счастливому ходу обстоятельствъ было только два случая схода поѣздовъ *на мѣстѣ* сплошной смѣны рельсовъ.

Первый случай былъ съ почтовымъ поѣздомъ № 4, обошелся вполнѣ благополучно, но произошелъ по винѣ агентовъ пути, притомъ не при самой смѣнѣ, а черезъ *два недѣли* послѣ смѣны. Благодаря небрежному досмотру дорожнаго мастера укладчика верхняя постель шпалы была плохо выметена передъ положеніемъ на таковую промежуточной подкладки съ ребордою съ наружной стороны колеи. (Нормальный типъ подкладки 24 фунтоваго рельса для Сибирской дороги). На верхней постели шпалы остались камешки и комочки мерзлаго балласта, которые вдавившись мало по малу подъ вліяніемъ прохода поѣздовъ въ нее, заставили подкладку сѣсть нѣсколько неравномѣрно, причемъ край подкладки съ ребордою нѣсколько перекосился, подошва рельса выскочила изъ реборды подушки и получилось уширеніе пути.

Второй случай имѣлъ мѣсто уже не по винѣ Службы Пути: въ августѣ 1902 года сошелъ съ рельсъ п. № 31 близъ станціи Тулунъ, вслѣдствіе невыдачи дежурнымъ по станціи надлежащаго предупрежденія о смѣнѣ, причемъ паровозъ, проѣхавъ зеленый сигналъ и разбивъ два красныхъ и петарды, ограждавшія мѣсто смѣны, значительно уже замедлившій ходъ послѣ разбитія перваго краснаго сигнала, тихо съѣхалъ подъ откосъ высокой насыпи.

Служба тяжелыхъ рельсовъ на Сибирской дорогѣ.

§ 14. Неожиданность нѣкоторыхъ обстоятельствъ, выяснившихся тотчасъ же послѣ перваго времени службы тяжелыхъ рельсовъ. Опытъ двухъ лѣтъ послѣ первой массовой сплошной смѣны легкихъ рельсовъ тяжелыми на горныхъ участкахъ Сибирской дороги приводитъ, къ сожалѣнію, къ совершенно *неожиданнымъ* результатамъ. Не прошло и десяти мѣсяцевъ послѣ того, какъ были уложены первые изъ этихъ рельсовъ, какъ начало выясняться значительное *смятіе* стыковъ. Если бы такое явленіе происходило только на одномъ какомъ нибудь околodкѣ того или другаго участка, если бы рельсы укладывались въ этихъ мѣстахъ позднею осенью во время заморозковъ, какъ это было, на примѣръ, съ рельсами укладки 1900 года—когда нельзя было ни произвести, ни требовать надлежащей подбивки стыковъ и приходилось на зиму временно подводить добавочныя шпалы подъ стыки и въ прочихъ мѣстахъ на пространствѣ звена, гдѣ разстояніе между осями шпалъ было выше нормы—то явленіе смятія стыковъ могло бы быть объяснено исключительно одною плохою подбивкою стыковъ. Но, имѣя въ виду, что обстоятельство сплющиванія стыковъ наблюдалось повсемѣстно, даже на такихъ околodкахъ, гдѣ рельсы уложены были въ *самое удобное* для хорошей работы время, т. е. въ іюнѣ, іюлѣ и августѣ и на околodкахъ даже самыхъ опытныхъ и *добро-совестныхъ* дорожныхъ мастеровъ—то волею неволею приходилось придти къ заключенію, что причина явленія кроется исключительно въ чрезмѣрной *мягкости* металла. Предположеніе это перешло въ полную увѣренность, когда явилось со стороны Начальниковъ участковъ массовое требованіе на смѣну едва

лишь $1\frac{1}{4}$ года какъ уложенныхъ тяжелыхъ рельсовъ, такъ, на примѣръ, одинъ только 19-й участокъ пути, уложенный въ количествѣ 94 верстъ тяжелыми рельсами лѣтомъ 1901 года—уже въ августѣ 1902 года заявилъ необходимость смѣны въ общемъ 5 верстъ рельсовъ, т. е. 6,3% общаго протяженія, по причинѣ *смятія* не только стыковъ, но и пролетныхъ частей звеньевъ. При личномъ осмотрѣ моемъ въ сентябрѣ 1902 года подтвердилась полная справедливость заявленія Начальника участка. Характеръ смятія стыковъ виденъ на прилагаемыхъ фототипіяхъ № IX и № XII. Характеръ сплющиванія въ промежуточныхъ частяхъ—на фототипіяхъ № X, № XI и на приложенныхъ въ концѣ настоящаго изслѣдованія (листъ XVIII) чертежахъ №№ 30 и 31.

Размѣръ сплющиванія по высотѣ головки рельса доходитъ до $8\frac{1}{2}$ мм., по ширинѣ же головки указанъ подробно на черт. 30.

Въ нѣкоторыхъ рельсахъ, какъ на примѣръ въ рельсѣ, смѣненномъ на 2485 верстѣ (см. фототипія № XII), имѣются *сквозныя* осевыя трещины.

На участкахъ съ крутыми уклонами, на примѣръ, на 16 участкѣ близъ Красноярска, гдѣ рельсы уложены также лѣтомъ 1901 года наблюдается еще и нѣсколько иное явленіе: послѣ прохода поѣзда въ нѣкоторыхъ рельсахъ *отслаивается* часть головки въ видѣ тонкаго листочка какъ бы почтовой бумаги. Листочекъ этотъ совершенно легко отрывается рукою. Явленіе это повторяется послѣ прохода почти каждаго поѣзда.

Въ рельсахъ получки 1902 года, служба коихъ еще не могла опредѣлиться сколько нибудь наглядно, уже выяснилось однако же такое обстоятельство, которое заставляеть, къ сожалѣнію, усумниться и въ ихъ долговѣчности. Дѣло въ томъ, что въ числѣ ихъ множество искривленныхъ въ горизонтальной плоскости, причемъ искривленіе не съ одною общеою стрѣлою выгиба, а съ нѣсколькими, расположенными въ обратныя стороны, что указываетъ, повидимому, на отсутствіе надлежащей выправки рельсовъ въ горячемъ состояніи и на быстрое ихъ охлажденіе гдѣ либо наружу на морозѣ, а не на постепенное въ крытомъ помѣщеніи. Въ тоже время поверхность рельсовъ крайне *шероховата*, мѣстами съ множествомъ наростовъ грибообразнаго шлака, лишающаго рельса возможности получить правильный накатъ и заставляющаго предполагать, что болванки

№ X.

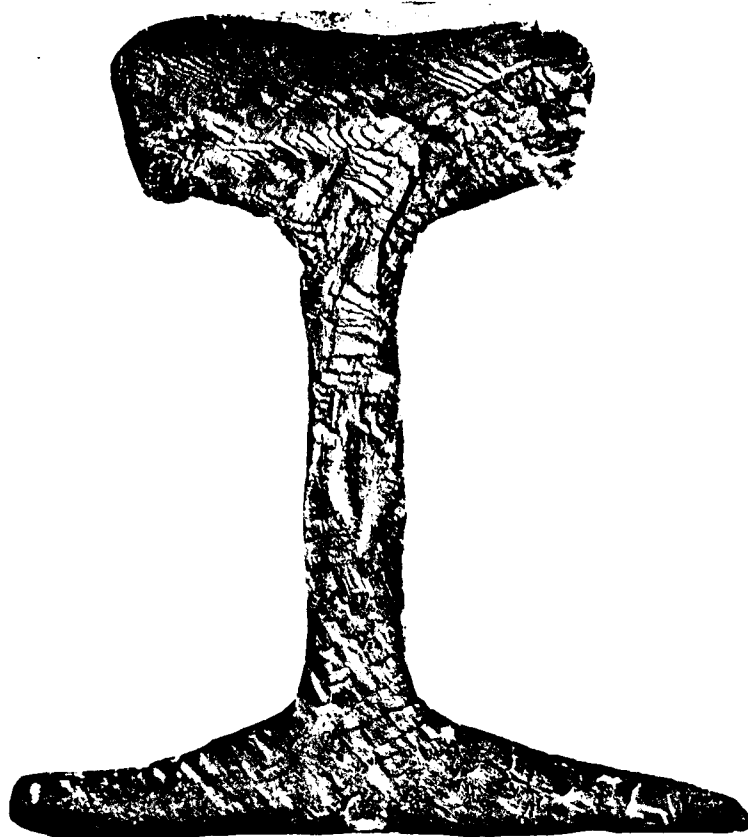


№ IX.



Типы смятія стыка тяжелаго рельса.

№ XII.



Типъ сплющиванія въ стыкѣ и торцевой трещины тяжелаго рельса.

№ XI.



Типъ сплющиванія тяжелаго рельса въ промежуточныхъ частяхъ.

через вальцы пропускались прямо послѣ отливки, а не послѣ предварительнаго охлаждения и послѣдующаго нагрѣва въ печи, вслѣдствіе чего шлакъ выжимался при прокаткѣ наружу *).

Особо плохими по смятію оказались рельсы Демидовскихъ заводовъ и завода «Надежда» Богословскихъ заводовъ. Отслаиваніе листочками наблюдается у рельсовъ той же марки «Надежда» завода. — Искривленность и бугорчатая шлаковка поверхности также у рельсовъ Богословскихъ заводовъ. Недоброкачественность рельсовъ выступаетъ съ особою яркостію при сравненіи ихъ со службою англійскихъ рельсовъ вѣсомъ $22\frac{1}{2}$ фунта въ погонномъ футѣ, привезенныхъ въ устье Енисея извѣстнымъ англійскимъ капитаномъ Виггинсомъ и уложенныхъ при постройкѣ дороги въ 1894 году въ количествѣ 17 верстъ близъ Красноярска: эти послѣдніе отличаются замѣчательно ровнымъ и ничтожнымъ износомъ, прекраснымъ накатомъ и почти полнымъ отсутствіемъ сплющиванія стыковъ.

Въ смыслѣ прочности по отношенію къ сопротивленію дѣйствию мороза выясняется также неоспоримое преимущество сихъ послѣднихъ. Это видно, между прочимъ, и изъ прилагаемой таблицы лопнувшихъ тяжелыхъ рельсовъ за 1901 годъ.

Марка завода.	На площадкѣ.		На уклонѣ.		Всего.	Время укладки
	На прямой	На кривой	На прямой	На кривой		
Демидова . . .	4	12	10	15	31	1900 и 1901 года
Завода «Надежда»	8	14	6	6	34	1900 и 1901 »
Бѣлосельскаго .	2	1	3	6	10	1900 »
Англійскіе . . .	—	—	—	2	2	1893 »

Во многихъ случаяхъ лопнушіе рельсы обнаруживаютъ значительную неоднородность строенія металла въ головкѣ съ одной стороны и въ шейкѣ и подошвѣ съ другой. (См. фототипію № XIII).

§ 15. Мѣропріятія къ устраненію указанныхъ въ § 14 явленій. Остановливаясь на разсмотрѣннй ближайшихъ причинъ вышеуказанныхъ ненормальныхъ и крайне нежелательныхъ явленій

*) Другіе пороки можно видѣть въ приложеніи № 5.

слѣдуетъ прежде всего, мнѣ кажется, высказать пожеланіе, чтобы наши заводы относились по возможности внимательнѣе къ столь серьезному дѣлу какъ приготовленіе рельсовъ, не смотря на рельсъ *исключительно* только съ точки зрѣнія полочки за обдѣланный въ соотвѣтствующій профиль кусокъ металла извѣстной попутной платы, а какъ на издѣліе, отъ *прочности* котораго зависитъ зачастую и *жизнь* сотенъ людей. Съ другой же стороны слѣдуетъ и измѣнить нынѣ дѣйствующія техническія условія на поставку рельсовъ. Въ этомъ отношеніи*): 1) *нельзя не признать, повидимому, желательнымъ нѣкоторое усиленіе твердости рельсовой стали, тѣмъ болѣе что опытъ русскихъ дорогъ давно показываетъ, по заявленію столь авторитетнаго лица, какъ инженеръ В. М. Верховскій, что мягкость рельсовой стали русскихъ заводовъ совершенно не исключаетъ лопанія таковыхъ**).

2) *Слѣдуетъ установить кромѣ пробы на изломъ посредствомъ удара подъ копромъ, еще отдѣльную пробу «на смятіе» стыковъ, ставя составленный стыкъ рельса по возможности въ тѣ нормальныя условія, въ которыхъ онъ будетъ находиться въ пути при ударахъ подвижного состава. Съ этою цѣлью можно бы было, на примѣръ, подвергать испытуемый стыкъ послѣдовательному ряду ударовъ небольшого пароваго молота, при различныхъ скоростяхъ движеніе таковаго.*

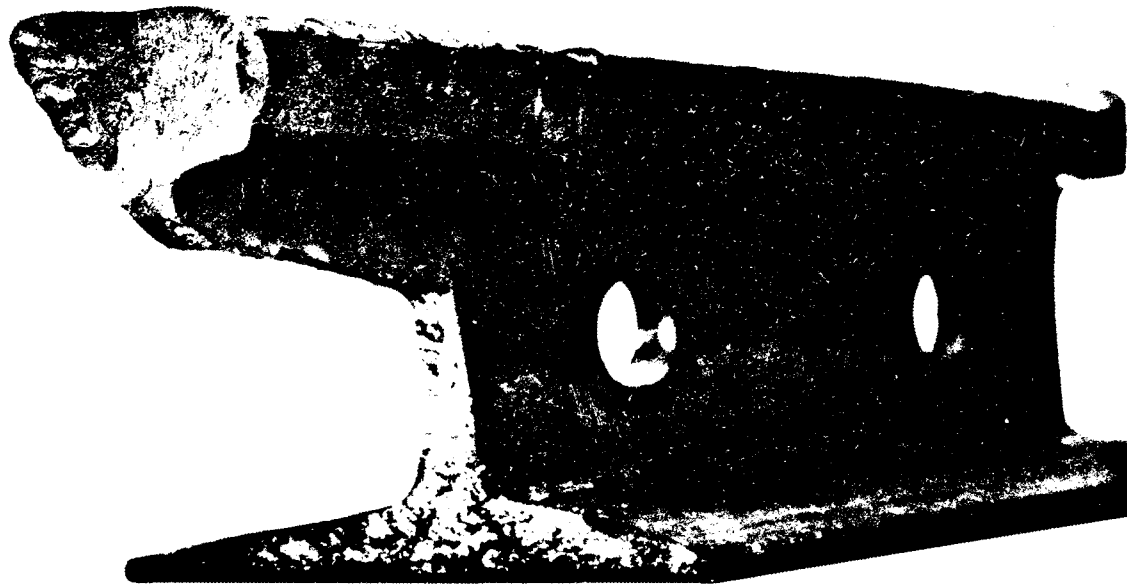
3) *Весьма полезно было бы, ради убѣжденія въ надлежащей однородности металла, ввести въ наши техническія условія методъ инженера Барба испытанія однородности строенія металла при помощи образцовъ, вынутыхъ отъ головки надсѣчкою этихъ образцовъ въ различныхъ мѣстахъ и отломомъ небольшою бабкою вѣсомъ въ 18 килограммовъ, падающей съ высоты 3 центиметровъ на соотвѣтственную зарубку**).*

4) *Для рельсовъ, доставляемыхъ на дороги крайняго сѣвера, необходимо при испытаніи копромъ понизить температуру замораживанія до той крайней температуры, которая присуща мѣстности, гдѣ будутъ лежать рельсы и уже въ такомъ видѣ подвергать ихъ пробѣ на изломъ.*

*) *Congres International des chemins de fer. Compte rendu général. T. I. Стр. 290.*

***) *„Nouvelles études sur l'acier pour rails“. Par Anton R. von Dormus, См. Bulletin de la Commission Internationale du Congrès des chemins de fer. 1899. vol. XIII № 7.*

№ XIII.



Строение металла въ лопнувшемъ рельсѣ тяжелаго типа.

5) Желательно произвести ту же пробу переходя отъ самой пониженной температуры до температуры на 10—15 градусовъ выше; затѣмъ еще нѣсколько выше, доходя послѣдовательно до 0°—т. е. ставя по возможности рельсы въ тѣ условія, при которыхъ ему придется работать въ действительности.

6) Необходимо поставить въ обязательное условіе заводамъ производить надлежащую выправку рельсовъ еще въ горячемъ видѣ.

З а к л ю ч е н і е.

Заканчивая настоящее изслѣдованіе я позволю себѣ высказать самыя горячія пожеланія, чтобы дѣлу упорядоченія верхняго строенія великаго Сибирскаго пути и въ дальнѣйшемъ было бы оказано всевозможное содѣйствіе со стороны подлежащихъ сферъ въ смыслѣ *усиленнаго* разрѣшенія настоятельно необходимыхъ средствъ къ неотложной массовой смѣнѣ *не* только *главнаго пути* всей остающейся еще несмѣненной равнинной части Восточнаго участка, Томской вѣтви и Западнаго участка дороги,— но и *всѣхъ главныхъ и пассажирскихъ путей* на станціяхъ и въ *первую очередь развязовъ, съ замѣною одновременно съ симъ всѣхъ находящихся на этого рода путяхъ легкихъ стрѣлокъ* тяжелымъ типомъ. Какъ бы ни казался великимъ вызываемый перечисленными работами расходъ — съ нимъ приходится мириться, иначе съ каждымъ годомъ должно увеличиваться опасеніе болѣе или менѣе серьезныхъ крушеній.

Инженеръ Л. Любимовъ.

Таблица № 1 *)

величинъ напряженій въ рельсахъ опредѣленныхъ по формулѣ Циммермана при статистической нагрузкѣ.

Условіе, въ которомъ находится рельсъ.	W	R при C						Примѣчаніе.
		3	4	5	6	7	8	
Рельсъ нормальной высоты, уложенной на 13 шпалахъ длиною 1,15 сажень	87	18,1	16,8	15,9	15,2	—	—	Гдѣ W=моментъ сопротивленія головки рельса. R=испытываемое напряженіе. и C=коэффициентъ годности балласта. Нагрузка на колесо принята 7000 kgr.
Тоже изношенный на 2 мм.	83	19,1	17,7	16,7	16,0	—	—	
Тоже при износѣ на 2 мм.	80	19,8	18,4	17,4	16,6	—	—	
Рельсъ нормальный, уложенный на 13 шпалахъ длиною 1,25 саж.	87	17,4	16,2	15,3	14,6	14,0	—	
Тоже при износѣ на 2 мм.	83	18,4	17,1	16,2	15,4	14,8	—	
Тоже при износѣ на 5 мм.	80	19,0	17,7	16,7	16,0	15,3	—	
Рельсъ нормальный, уложенный на 14 шпалахъ, длиною 1,25 саж.	87	16,9	15,7	14,7	14,1	13,3	13,0	
Тоже при износѣ на 2 мм.	83	17,9	16,6	15,6	15,0	14,4	13,8	
Тоже при износѣ на 5 мм.	80	18,5	17,2	16,2	15,6	15,0	14,5	

*) Выписка изъ стр. 137 и 158 Отчета Комиссіи Инженера Михайловскаго.

Таблица № 2

величинъ напряженій въ рельсахъ, опредѣленныхъ по формулѣ Винклера и принимая во вниманіе скорость.

Условіе, въ которомъ находится рельсъ.	W	R при V					Примѣчаніе.
		25	35	45	50	60	
Рельсъ нормальной высоты; уложенный на 12 шпалахъ, длиною 1,15 саж.	87	11,6	12,4	13,4	14,0	15,9	W=моментъ сопротивленія головки рельса R = напряженіе. V=скорость версты въ часъ
Тоже при износѣ на 2 мм.	83	12,2	13,0	14,0	14,7	16,7	
Тоже при износѣ на 5 мм.	80	12,6	13,5	14,6	15,2	17,3	
Рельсъ нормальный, уложенный на 13 шпалахъ, длиною 1,25 саж.	87	10,8	11,7	12,9	12,4	14,5	Нагрузка на колесо принята 7000 klgr.
Тоже при износѣ на 2 мм.	83	11,3	12,3	13,5	13,5	15,2	
Тоже при износѣ на 5 мм.	80	11,8	12,8	13,0	14,0	15,6	
Рельсъ нормальный, уложенный на 14 шпалахъ, длиною 1,25 саж.	87	9,6	10,2	10,9	11,7	12,5	
Тоже при износѣ на 2 мм.	83	10,2	10,8	11,4	12,5	13,3	
Тоже при износѣ на 5 мм.	80	10,6	11,1	11,9	13,0	13,8	

Выписка изъ Статистическаго очерка личнаго состава Сибирской дороги В. Е. Сентянина.

«Чтобы нѣсколько ближе ознакомиться съ бытомъ служащихъ на линіи, говоритъ г. Сентянинъ*), я испросилъ разрѣшеніе разослать вопросные листы всѣмъ начальникамъ станцій и разъѣздовъ и собралъ 118 отвѣтовъ.

Большею частью получались сжатые, казенные отзывы, но нѣкоторые изъ начальниковъ станцій замѣчательно ярко обрисовали свою неприглядную жизнь среди безлюдной, мѣстами лишенной всякой растительности мѣстности, или же среди дикой, угрюмой тайги.

Начну съ отвѣтовъ о климатическихъ условіяхъ, въ которыхъ живутъ служащіе.

Относительно 73 остановочныхъ пунктовъ получились почти тождественные отзывы. «Зима суровая, лѣто жаркое. Морозы мѣстами достигаютъ 40—45°, лѣтомъ жара доходитъ до 50°».

Благодаря болотной мѣстности, въ большинствѣ случаевъ окружное близъ станціи населеніе и сами станціонные агенты страдаютъ лихорадками, инфлуэнціей, въ особенности же весной и осенью. Мошка, паутъ, комары и другой гнусъ являются почти повсемѣстнымъ бичемъ станціоннаго населенія.

На нѣкоторыхъ станціяхъ всѣ служащіе лѣтомъ спасаются отъ мошки особо приспособленными сѣтками; даже начальники станцій встрѣчаютъ поѣзда въ такихъ оригинальныхъ уборахъ.

Въ особенности отъ этихъ докучливыхъ насѣкомыхъ страдаютъ дѣти.

Станціи, расположенныя въ Барабинской степи, находятся въ этомъ отношеніи въ исключительно неблагоприятныхъ условіяхъ; вотъ напр. что отвѣчалъ начальникъ ст. Дупленская—

*) См. стр. 29 Статистическаго очерка.

Западн. уч. «Зима періодически очень сурова, лѣто страшно жаркое съ удушливыми испареніями. Начиная съ весны и кончая глубокою осенью населеніе страдаетъ лихорадкой особаго вида—очень продолжительной, безъ озноба, но съ частымъ и сильнымъ жаромъ, сопровождаемымъ бредомъ, ломотой въ ногахъ и полнѣйшимъ упадкомъ силъ. Затѣмъ, окружное населеніе страдаетъ отъ комаровъ и мошекъ; гнуса бываетъ такъ много, что съ весны до конца сентября жизнь въ этой мѣстности составляетъ тяжелую пытку. Лѣтомъ во время сильной жары здѣсь развивается сибирская язва».

Съ Восточнаго участка со станціи Сорокино, Черемхово, Зима, Тулунъ, Шерагуль, Козулька и др. получены не менѣе утѣшительные отзывы: болота, лихорадки, мошкара и т. п. гнуса,— вотъ краснорѣчивые факторы обывательскаго существованія на линіи.

Правда, Восточный участокъ въ значительно лучшихъ климатическихъ условіяхъ: есть отзывы объ умѣренномъ, здоровомъ климатѣ, гористой мѣстности; имѣется даже нѣсколько восторженныхъ отвѣтовъ о климатѣ, въ которомъ живетъ станціонное населеніе.

Начальникъ ст. Шетикъ, напр., даетъ такой отзывъ: «очень красивая лѣсная мѣстность съ необыкновенно здоровымъ климатомъ. Зима ровная, неособенно суровая. Лѣто жаркое, сухое. Гнуса мало».

Въ общемъ же климатическія условія какъ на одномъ, такъ и на другомъ участкахъ крайне неблагоприятны и мѣста съ умѣреннымъ и здоровымъ климатомъ являются довольно рѣдкимъ исключеніемъ.

Вода, почти вдоль всей линіи Западнаго участка, или горько-соленая, или съ болотистымъ, отвратительнымъ вкусомъ и совершенно негодная къ употребленію. Есть станціи, куда вода доставляется въ тендерахъ отъ сосѣдей и ведрами разносится по квартирамъ.

Расположенныя вокругъ станцій озера и болота лѣтомъ въ ночное время выдѣляютъ массу испареній и распространяютъ удушливый, неприятный запахъ.

Относительно продуктовъ первой необходимости, дороговизна на которые растетъ съ каждымъ годомъ, дорога рѣзко раздѣ-

ляется на двѣ части. На Западномъ уч. жизнь значительно дешевле, продукты доставляются легче, чѣмъ на Восточномъ, гдѣ мясо, напр., мѣстами доходитъ до 15 коп. за фунтъ, въ общемъ же пудъ мяса на Западномъ участкѣ колеблется между 1 руб. 60 до 3 руб. 60 к., на Восточномъ отъ 3 руб. 20 к. до 6 руб. (Свѣд. относящ. къ 1900 г.).

Разница въ стоимости зерновыхъ продуктовъ на этихъ двухъ участкахъ также значительно велика; хлѣбъ дорогъ, въ особенности же въ мѣстностяхъ, приближающихся къ Иркутску. Сахаръ мѣстами доходитъ до 28 коп., въ среднемъ же на Восточномъ участкѣ не дешевле 23—24 коп., на Западномъ падаетъ до 20 к. Масло отъ 18 до 20 коп. на Западномъ и отъ 20 до 40 на Восточномъ.

Обувь, платье, бѣлье значительно дороже цѣнъ Европейской Россіи и закупка ихъ представляетъ большія затрудненія. Только въ крупныхъ торговыхъ центрахъ имѣются магазины и лавки, гдѣ можно достать болѣе или менѣе сносныя вещи. Вообще же говоря, при покупкѣ не только всего нужнаго для домашняго обихода, но даже и предметовъ первой насущной необходимости встрѣчаются крайнія затрудненія.

Сплошь и рядомъ получались отвѣты, что «въ здѣшней мѣстности ни за какія деньги достать ничего нельзя».

«Вы спрашиваете, пишетъ одинъ изъ начальниковъ станціи, откуда мы получаемъ провизію. Намъ ее доставляютъ поѣздами; если что-нибудь забылъ, насидишься голоднымъ до слѣдующей поѣздки кого либо изъ служащихъ».

Начальникъ разѣзда, Восточнаго участка, г. Ш. рассказывалъ мнѣ, что, пріѣхавъ на новое мѣсто своего служенія, онъ ни за какія деньги не могъ достать молока для ребенка, и поилъ его сахарной водицей. (Перевозка домашнихъ животныхъ по нарядамъ—къ сожалѣнію, не дозволена).

Повторяю—въ смыслѣ обезпеченія провизіей особенно въ неблагопріятныхъ условіяхъ стоитъ Восточный участокъ, гдѣ населеніе рѣже и пути сообщенія находятся въ самомъ печальномъ положеніи.

Начальникъ станціи «Кача» сообщаетъ, что станція отстоитъ въ 25 верстахъ отъ города, деревни и села хотя вблизи и имѣются, но дороги къ нимъ непроѣзжія; «если-бы, говорить

онъ дальше, сдѣлать просьбу на большой трактъ, явилась бы возможность имѣть сообщенія съ селомъ, заводомъ и монастыремъ».

Станція «Кемчугъ» отстоитъ на 20 верстъ отъ ближайшаго села, того же названія, но сообщеніе съ нимъ возможно только зимой, въ лѣтнее же время дорога черезъ тайгу непроѣзжая, — существуютъ только тропы для пѣшеходовъ.

Если вблизи станціи и имѣется жилье, то обитатели его — обыкновенно какой либо пришлый промышленный людъ, занимающийся отправкой хлѣба, мяса, масла, кедровыхъ орѣховъ, — либо ямщики, занимающіеся извозомъ.

Однимъ изъ серьезныхъ факторовъ ухудшенія быта желѣзнодорожныхъ агентовъ — служить полное отсутствіе среднихъ учебныхъ заведеній въ районѣ Сибирской линіи и вообще сильный недостатокъ школъ, интеллигентнаго общества, разумныхъ развлеченій и пр.

Воспитывать дѣтей въ ближайшихъ городахъ далеко не по средствамъ большинству изъ линейныхъ агентовъ, благодаря дороговизнѣ квартиръ и содержанія; въ этомъ смыслѣ и высказалось громадное большинство запрошенныхъ агентовъ.

Отсутствіе интеллигентнаго общества, полная невозможность удовлетворенія своихъ духовныхъ потребностей, недостатокъ книгъ, разумныхъ развлеченій и т. п. дѣлаютъ жизнь на линіи крайне однообразною, скучною, томительною. Отсюда излишнее употребленіе спиртныхъ напитковъ и карточная игра, получившія у насъ права гражданства.

Если ко всему сказанному прибавить еще недостатокъ сноснаго жилья — получится весьма сѣренькая, будничная картинка обывательскаго существованія и будетъ понятно, почему именно даже нѣсколько повышенные оклады являются совершенно незамѣтными и жизнь на Сибирской линіи въ высшей степени тяжелою, въ смыслѣ и матеріальнаго, и духовнаго существованія.

На мой вопросъ, «не имѣется ли какихъ либо чисто мѣстныхъ причинъ, вліяющихъ на ухудшеніе быта самого агента или его семьи», получились крайне разнообразныя и характерныя отвѣты; нѣкоторые изъ нихъ я привожу въ подлинникѣ.

Со ст. «Кутуликъ» Восточнаго участка. — «Отсутствіе общества, развлеченій и возможности общенія съ людьми порождаетъ

гнетущее однообразіе жизни и сводитъ жизнь нашу до удовлетворенія только животныхъ потребностей: поѣлъ, поспалъ, подежурилъ и т. д.».

Съ разъѣзда Кабинетскаго (1229 в.)—«Давящая глушь, тоска и сырой отъ болотныхъ испареній климатъ—до основанія истощаютъ организмъ, превращая насъ въ кандидатовъ на чахотку».

Со ст. Татарская.—«Въ силу полного отсутствія развлеченій и общественной жизни и вытекающей отсюда разобщенности самаго общества—является масса прецедентовъ, ухудшающихъ семейный бытъ».

Начальникъ разъѣзда 638 версты даетъ на этотъ вопросъ довольно лаконическій отвѣтъ—«скука».

Съ разъѣзда 2460 версты пишутъ:—«неимѣется вблизи школы, лавокъ, подвоза провизіи, нѣтъ воды, исключая колодца и проч.».

Съ разъѣзды 2956 версты.—«Замкнутая жизнь, лишеніе общества и свободы».

Со с. Камышетъ.—«Дороговизна жизненныхъ продуктовъ и отсутствіе всякихъ развлеченій».

Со ст. Иннокентьевской—«хуже условій, какъ на ст. Иннокентьевской, я думаю, и нѣтъ, это въ нѣкоторомъ родѣ ссылка. Цѣны на все дороги, пути сообщенія невозможные (съѣздить въ Иркутскъ—потерять цѣлый день). Квартиры—ниже всякой критики».

Со ст. Тинская—«Малочисленность людей и отсутствіе связывающихъ, не на служебной почвѣ, интересовъ дѣлаютъ жизнь положительно несносною».

Со ст. Черемхово.—«За невозможностью заpastись провизіей, вслѣдствіе постоянныхъ кражъ изъ погребовъ и кладовыхъ, приходится переплачивать на всѣхъ продуктахъ первой необходимости».

Со ст. Козулька.—«Прoslужа годъ, два—три, отъ таежной глуши человѣкъ дѣлается нелюдимъ».

Начальникъ со ст. Тыреть—отмѣчаетъ страшную дороговизну рабочихъ рукъ и дороговизну прислуги.

Начальникъ разъѣзда 1073 версты говоритъ: «тяжелымъ бременемъ отзываются ежедневныя кражи скота шпаную».

Думаю, что безыскусственные отвѣты эти едва ли нуждаются въ какихъ либо особыхъ комментаріяхъ».

Если условія службы на дорогѣ такъ тяжелы для низшихъ агентовъ, то немногимъ легче таковыя и для высшихъ агентовъ: за время съ 1 ноября 1901 года по 1-е ноября 1902 года однихъ инженеровъ Путей Сообщенія ушло съ дороги *двѣнадцать* человѣкъ и *одинъ* инженеръ-строитель—всего значитъ *за годъ тринадцать* человѣкъ!

Циркуляръ № 5491

по службѣ пути Сибирской дороги о порядкѣ производства сплошной смѣны рельсовъ и шпаль.

При производствѣ въ текущемъ году на нѣкоторыхъ участкахъ сплошной смѣны рельсовъ и сплошной смѣны шпаль покорнѣйше прошу г.г. Начальниковъ участковъ держаться нижеуказаннаго порядка производства вышеозначенныхъ работъ:

I. Сплошную смѣну шпаль *отнюдь не слѣдуетъ дѣлать до сплошной смѣны рельсовъ*, дабы во первыхъ не попортить сихъ послѣднихъ укладкою на слабо улежавшихся сравнительно со старыми шпалами (послѣдствіемъ чего является крайне неправильный накатъ и мелкіе многочисленные волнообразные исчезающіе прогибы въ вертикальной плоскости, а равно и битые стыки на стыковыхъ шпалахъ) и во вторыхъ:--не попортить въ свою очередь и новыхъ шпаль излишними дырами.

II. Въ случаяхъ крайней надобности ранѣе сплошной смѣны рельсовъ допускается смѣнить въ *одиночку* только завѣдомо неблагонадежныя шпалы: поколотыя, сильно издырявленныя частою перешивкою и совершенно не держація костылей. Засимъ слѣдуетъ мѣнять сплошь рельсы, а уже вслѣдъ за ихъ смѣною вести сплошную смѣну шпаль, но, повторяю, что это дѣлается лишь въ случаѣ опасности для прочности пути, какъ исключеніе.

III. Порядокъ работы по сплошной смѣнѣ рельсовъ слѣдуетъ установить слѣдующій: на смѣну рельсовъ извѣстнаго перегона предположено поставить *особаго* вполне опытнаго и благонадежнаго дорожнаго мастера, хорошо знакомаго со сплошною смѣною рельсовъ, отвѣтственнаго только за безопасное для движенія и правильное въ техническомъ отношеніи производство *одной* только этой работы, независимо отъ всѣхъ прочихъ работъ на околodкѣ того перегона, гдѣ производится работа. Но

такъ какъ по недостатку дорожныхъ мастеровъ не представляется пока возможнымъ образовывать укладочныя артели подъ наблюдениемъ совершенно отдѣльныхъ мастеровъ для каждой, — то въ нѣкоторыхъ случаяхъ придется пользоваться также тѣми изъ *участковыхъ* дорожныхъ мастеровъ, которые такую смѣну производили уже на мѣстахъ прежней службы и эту работу *знаютъ*. Въ такомъ случаѣ слѣдуетъ послѣ окончанія смѣны, или до нея, на его собственномъ околодкѣ, назначивъ такому дорожному мастеру временно добавочное вознагражденіе, перевести его ради успѣшности работы со всею укладочною артелью на слѣдующій подлежащій смѣнѣ околодокъ. На время-же его занятія этою работою — поручить завѣдываніе его собственнымъ околодкомъ его старшему и вполне благонадежному артельному старостѣ, если не представится возможнымъ назначить запаснаго дорожнаго мастера. Если ведущій смѣну дорожный мастеръ: *особое* отъ участковыхъ дорожныхъ мастеровъ лицо — то, онъ, послѣ окончанія смѣны на одномъ изъ околодковъ переходитъ со всею укладочною артелью на другіе по указанію Начальника участка. Въ обоихъ случаяхъ дорожному мастеру укладчику рельсовъ даются въ помощь особые временные артельные старосты и по 20 человекъ возможно благонадежныхъ, опытныхъ и ловкихъ рабочихъ, снабженныхъ всѣмъ необходимымъ для сплошной смѣны рельсовъ инструментомъ. Особенно важно, чтобы у каждой укладочной артели было-бы не менѣ чѣмъ: а) двѣ трещетки съ достаточнымъ количествомъ сверлъ, б) десять вполне исправныхъ зубилъ, в) одинъ боковой прессъ для выправки искривленныхъ рельсовъ, г) по три дисковыхъ красныхъ и зеленыхъ сигналовъ, именно: одинъ красный и одинъ зеленый сигналъ для постановки на самомъ мѣстѣ работы; два красныхъ и два зеленыхъ для огражденія работы на законномъ разстояніи и два красныхъ и два зеленыхъ на случай постановки повторительныхъ сигналовъ, д) одинъ комплектъ ручныхъ красныхъ и зеленыхъ сигналовъ, — дорожному мастеру; е) по три сигнальныхъ рожка, считая одинъ на самой работѣ и по одному у рабочихъ при дальнихъ дисковыхъ сигналахъ; ж) три полныхъ комплекта переходныхъ накладокъ, чисто и тщательно сдѣланныхъ, з) два французскихъ ключа, и) три коробки петардъ, м) два полныхъ комплекта путевыхъ шаблоновъ для прямыхъ

и всѣхъ кривыхъ, н) уровень съ рейкой и комплектъ шаблоновъ для зарубки шпаль, о) путевой вагончикъ, п) полный комплектъ прозорниковъ, р) экземпляръ настоящаго циркуляра вмѣстѣ съ приложеннымъ къ нему наставленіемъ порядка сигнализации путевыхъ работъ, сплошной смѣны рельсовъ, сплошной смѣны шпаль, таблицами укладки рубокъ, прозоровъ, повышенія и уширенія въ кривыхъ, чертежами укладки подкладокъ на кривыхъ различныхъ радіусовъ, укладки шпаль подъ рельсами различной длины и типовъ тяжелаго скрѣпленія, с) экземпляръ росписанія поѣздовъ, т) инструкція объ огражденіи путевыхъ вагончиковъ, у) термометръ. Кромѣ перечисленнаго дорожный мастеръ долженъ быть снабженъ надлежащимъ количествомъ прочихъ инструментовъ, необходимыхъ для сплошной смѣны рельсовъ, т. е. ломami, лопатами, ключами, костыльными молотками, кувалдами, подбойками и кирками съ надлежащимъ $\%$ запаса, дабы никогда не было остановки въ работѣ изъ-за недостатка въ инструментѣ.

IV) Особое вниманіе должно быть обращено на то, чтобы *тяжелые рельсы отнюдь-бы не скрѣплялись легкими скрѣпленіями*. Для сего необходимо: а) внушить участковому кладовщику, а затѣмъ и неуклонно требовать и слѣдить, чтобы онъ при отпавкѣ костылей и болтовъ изъ кладовой на мѣсто работъ строго слѣдилъ за тѣмъ, чтобы туда направлялись только тѣ ящики и бочки, которыя получены отъ Матеріальной Службы съ клеймомъ «Т», т. е. «тяжелыя», свѣряя однако каждый ящикъ, въ виду возможной ошибки со стороны Матеріальной Службы.

б) Снабдить дорожнаго мастера укладчика, а также и всѣхъ дорожныхъ мастеровъ не только чертежами тяжелаго скрѣпленія, но и образцами тяжелаго стыковаго и промежуточнаго костыля за печатью Начальника участка, дабы исключить полностью возможность путаницы тяжелаго и легкаго типа.

в) Поручить Помощникамъ Начальниковъ участковъ или особымъ техникамъ, которые будутъ даны въ помощь на каждый участокъ исключительно для присмотра за сплошною смѣною рельсовъ, ежедневно провѣрять при осмотрѣ сплошной смѣны и *типы скрѣпленій*.

V) Надлежитъ также внушить дорожнымъ мастерамъ укладчикамъ, чтобы переходныя накладки были-бы достаточно плотно

пригоняемы въ стыкахъ, дабы исключить возможность боковой игры, а также и образованія крайне опасныхъ уступовъ въ вертикальной и горизонтальной плоскостяхъ, могущихъ послужить въ первомъ случаѣ причиною сильныхъ ударовъ и порчи головки рельсовъ (расплющиванія) и подвижнаго состава, а во второмъ—еще болѣе опасныхъ боковыхъ ударовъ, которые могутъ повлечь за собою сходъ подвижнаго состава. Вотъ почему необходимо слѣдить также за тѣмъ, чтобы не только у рабочей укладочной артели, но и у соотвѣтствующихъ: путевого или мостового сторожа ближайшихъ къ мѣсту, гдѣ окончилась дневная работа смѣны, былъ-бы гаечный ключъ *и* для тяжелаго *и* для легкаго типа болтовъ, дабы ими подтягивать надлежащимъ образомъ болты въ стыкѣ, снабженномъ переходными накладками. Кромѣ того у каждаго изъ нихъ должно быть по парѣ запасныхъ болтовъ того и другого типа.

VI) Новое скрѣпленіе должно развозиться передъ началомъ работъ *лишь въ размѣръ суточной потребности*, дабы отнюдь не оставаться раскиданнымъ на полотнѣ и легко доступнымъ къ похищенію, что замѣчалось на многихъ участкахъ. Старое, полученное отъ смѣны скрѣпленіе также не должно быть оставляемо на бровкѣ, бермѣ или кюветахъ, а должно къ концу каждаго рабочаго дня убираться въ тѣ-же ящики, гдѣ лежало новое и увозиться въ кладовыя ближайшихъ казармъ, полуказармъ или, по крайней мѣрѣ, на дворы путевыхъ будокъ. Пересчитанные костыли и болты послѣ надлежащей сортировки опытнымъ рабочимъ должны убираться окончательно въ тѣ-же ящики и бочки, послѣднія заколачиваются и на нихъ проставляется краскою родъ, количество скрѣпленія и годность или негодность его. Подкладки или накладки должны связываться пачками при помощи проволоки. Начальникамъ участковъ и ихъ Помощникамъ вмѣняется въ обязанность строго слѣдить за вышеуказаннымъ учетомъ, предупредивъ укладчиковъ, что за утерю скрѣпленія съ нихъ будетъ взыскиваться стоимость такового. Такъ какъ смѣненные легкіе рельсы и скрѣпленія крайне нужны для укладки новыхъ путей почти на всѣхъ станціяхъ, на новыхъ разъѣздахъ и для одиночной замѣны изношенныхъ и лопнувшихъ рельсовъ на главномъ пути, скрѣпленіе же нужно, кромѣ того, для усиленія укрѣпленія легкихъ рельсовъ на

кривыхъ и прямыхъ частяхъ главнаго пути, то нужно озаботиться подготовкою смѣненныхъ рельсовъ для успѣшной погрузки ихъ на вагоны, при чемъ перевозка будетъ совершаться цѣлыми поѣздами. Поэтому вслѣдъ за артелью, смѣняющею рельсы, слѣдуетъ поставить рабочихъ для развинчиванія старыхъ рельсовъ и перетаскиванія ихъ на берму полотна въ штабеля, причемъ въ каждомъ штабелѣ число рельсовъ должно быть требуемое на платформу и разстояніе между штабелями такое, чтобы можно было сразу грузить весь поѣздъ.

Такъ какъ погрузка должна быть возможно быстрѣе, то къ ней привлекаются рабочіе, мѣняющіе какъ рельсы, такъ и шпалы. Они должны быть снабжены въ достаточномъ количествѣ крюками, веревками и канатами. Слѣдуетъ зорко слѣдить, чтобы никогда не было недостатка въ скрѣпленіяхъ, чтобы таковыя не задерживали укладку.

VII. Такъ какъ можетъ случиться, что нѣкоторая часть тяжелыхъ промежуточныхъ подкладокъ съ буртиками, имѣющихъ быть уложенными на кривыхъ нѣсколько запоздаетъ прибытіемъ съ заводовъ, то для того, чтобы не задерживать хода работы разрѣшается временно производить укладку тяжелыхъ рельсовъ на кривыхъ безъ этихъ подкладокъ, но *обязательно съ четырьмя костылями* на упорной колеѣ. При этомъ, дабы уменьшить порчу новыхъ шпалъ слѣдуетъ, сдѣлавъ затеску таковыхъ по шаблону и образцовой тяжелой промежуточной подкладкѣ—забить костыли на внутренней колеѣ *такъ* какъ они будутъ въ послѣдствіи послѣ подведенія подкладки, т. е. *два изнутри* и *одинъ* снаружи. На упорной же колеѣ необходимо забить *изнутри два*, а снаружи *одинъ*, *такъ*, какъ они будутъ послѣ подведенія подкладки и, *кромя того*, еще *одинъ добавочный* костыль *снаружи* упорной колеи, какъ показано на прилагаемомъ чертежѣ. Послѣ подведенія подкладки необходимо загнать въ дыру, остающуюся послѣ вышеозначеннаго добавочнаго костыля березовую, тщательно пригнанную смоленую пробку и срѣзать ея верхъ въ уровень съ верхомъ шпалы, обративъ при этомъ вниманіе на то, чтобы шпалы не раскалывались.

VIII. На всѣхъ кривыхъ укрѣпленіе пути подкладками сообразно типамъ, даннымъ для различныхъ радіусовъ, должно дѣлаться и *на два звена* на каждомъ изъ тангенсовъ.

IX. Короткія прямыя вставки между кривыми (короче суммы длины отводовъ *плюсъ* вставка въ *пять* саженой) должны обязательно быть уложены *сплошь* на подкладкахъ,

X. Дабы обезпечить современный успѣхъ сплошной смѣны рельсовъ, назначенныхъ въ настоящемъ году въ количествѣ 421 верстѣ, необходимо вести эту работу укладочнымъ артелямъ въ нижеслѣдующемъ количествѣ:

1) XIV (бывшій V уч.)	мѣняетъ рельсы	4 артелями	(34 вер.)
2) XVI (бывшій VIII „)	„	4 „	(91 „)
3) XVII (бывшій IX „)	„	2 арт.	(24 версты)
4) XVIII (бывшій X „)	„	2 „	(37 „)
5) XIX (новый участокъ)	„	4 „	(90 „)
6) XX (бывшій XI „)	„	4 „	(89 „)
7) XX (бывшій XII „)	„	3 „	(50 ^{1/2} „)
8) XXV (бывшій XVI „)	„	1 „	(6 „)

При этомъ: какъ главный, такъ и пассажирскіе пути какъ на станціяхъ, такъ и на развѣздахъ (конечно и всѣ другіе станціонные пути) *въ предѣлахъ между входными стрѣлками* тяжелыми рельсами *не* укладываются, а остаются съ прежними легкими рельсами.

XI. Артель по сплошной смѣнѣ шпаль должна идти *вслѣдъ* за укладочною рельсовою артелью и руководствоваться относительно сигнализациі порядка самой работы прилагаемыми при семъ соотвѣтствующими наставленіями. Сплошная смѣна шпаль должна начаться на другой-же день послѣ того, какъ только рельсовая укладочная артель начнетъ работу на томъ или другомъ рабочемъ отдѣленіи. Соотвѣтствующій артельный участковый староста начинаетъ смѣну на этомъ отдѣленіи и продолжаетъ ее до тѣхъ поръ пока не окончитъ полностью всего своего рабочаго отдѣленія. То-же самое дѣлаетъ и слѣдующій по порядку артельный староста, какъ только на его рабочемъ отдѣленіи укладочная рельсовая артель поработаетъ день на первой верстѣ. На время сплошной смѣны шпаль текущій ремонтъ на тѣхъ-же рабочихъ отдѣленіяхъ долженъ быть порученъ ихъ *подстаршимъ* рабочимъ.

XII. Особенное вниманіе при сплошной смѣнѣ шпаль должно быть обращено на то, чтобы въ путь отнюдь не попадали *ма-*

ломътрныя шпалы или шпалы съ признаками *гнилости*, а равно и было-бы дѣлаемо строгое различіе между *стыковыми* и *промежуточными* шпалами, употребляя на первыя шпалы возможно широкія, т. е. съ большою верхнею и нижнею постелью и слѣдя за тѣмъ, чтобы на одной и той-же верстѣ *отнюдь не укладывалось шпалъ различныхъ типовъ*. Для сего слѣдуетъ не только снабдить дорожныхъ мастеровъ и артельныхъ старостъ чертежами соотвѣтствующихъ другъ другу типовъ стыковыхъ и промежуточныхъ шпалъ, но Начальникамъ участковъ и ихъ Помощникамъ вмѣняется въ обязанность подъ личною ихъ отвѣтственностью—непремѣнно возможно чаще проверять и въ этомъ смыслѣ укладку.

XIII. Необходимо также внушить агентамъ, производящимъ смѣну шпалъ, дабы они строго слѣдили за надлежащей правильностью зарубки таковыхъ, главнымъ образомъ въ смыслѣ равномерной и одинаковой *подбуклонки* (поднутровки), такъ какъ отъ разницы въ подбуклонкѣ на сосѣднихъ шпалахъ происходитъ неправильность наката рельсовъ, винтообразное искривленіе ихъ и подчасъ беспокойный ходъ подвижного состава (качка) при всей прочей исправности пути, какъ-то подлежащей подбивкѣ шпалъ и вѣрности пути по уровню и шаблону.

XIV. Начальникъ участка обязуется давать ежедневно вечеромъ по окончаніи работы телеграмму Начальнику Пути съ копіей Начальнику дороги и Помощнику Начальника Службы Пути о числѣ уложенныхъ въ данный день тяжелыхъ рельсовъ, а также и итога смѣненныхъ рельсовъ въ верстахъ и саженьяхъ съ самага начала работы. О сплошной смѣнѣ шпалъ, а равно и одиночной новыми шпалами (эти выдѣляютъ отъ первыхъ) давать такія-же телеграммы—но не каждый день, а разъ въ недѣлю, по воскресеньямъ.

Настоящій циркуляръ вмѣстѣ со всеми приложеніями прошу вручить подъ росписку Вашимъ Помощникамъ, техникамъ, слѣдящимъ за укладкою рельсовъ, дорожнымъ мастерамъ—укладчикамъ, участковымъ дорожнымъ мастерамъ и артельнымъ старостамъ. О полученіи-же высланныхъ Вамъ экземпляровъ, должна быть дана Вами соотвѣтствующая депеша въ Службу.

Вѣдомость укладочнаго матеріала для сплошной смѣны

рельсовъ въ 1901 году на Сибирской желѣзной дорогѣ.

№№ участ-ковъ.		Названія и границы смѣняемыхъ перего-новъ въ верстахъ и сажняхъ.	Длина смѣняема-го пере-гона въ верстахъ.	ПОДЛЕЖАЩЕЕ				ВЫСЫЛКЪ КОЛИЧЕСТВО УКЛАДОЧНАГО МАТЕРІАЛА ВЪ ШТУКАХЪ.									
По старому дѣленію.	По новому дѣленію			РЕЛЬСЪ 24 ФУН				Т О В Ы Х ъ .		НАКЛАДОКЪ.		ПОДКЛАДОКЪ.		Болтовъ № 600.	КОСТЫЛЕЙ.		№№ очереди раз-сылки.
				д л и н о ю .				Неприкосновенный запасъ въ линіи соответственной длины.		Внутрен-нихъ № 800.	Наруж-ныхъ № 801.	Стыко-выхъ № 401.	Промежу-точныхъ № 400.		Стыко-выхъ № 201.	Промежу-точныхъ № 200.	
		25' 6"	28'	33' и 31'	35'	штукъ.	версть.										
5	14	Ачинскъ—Чернорѣчинская. отъ 1873 в. 292 с. до 1909 в. 182 с.	35,086	—	—	—	6816	68	0,340	7000	7000	14200	9200	29000	44600	229000	0
6	16	Красноярскъ—Енисей. отъ 2039 в. 480 с. до 2043 в. 386 с.	1,436	394	—	—	—	8	0,029	450	450	850	4300	1700	2700	11700	0
		Енисей—Злобино. отъ 2044 в. 226 с. до 2051 в. 126 с.	6,800	1864	—	—	—	14	0,051	1900	1900	3900	—	7900	12200	37000	1
		Злобино—Зыково. отъ 2051 в. 126 с. до 2069 в. 226 с.	17,776	—	—	3876	—	36	0,165	4100	4100	8200	11200	16700	26700	29100	2
		Зыково—Свищево. отъ 2069 в. 440 с. до 2076 вер.	8,120	—	—	1770	—	16	0,073	2000	2000	4000	5500	8500	12000	14000	2
		Свищево—Сорокино. отъ 2076 вер. до 2091 в. 400 с.	13,386	—	3348	—	—	27	0,108	3440	3440	6950	9370	14170	21900	84200	1
		Сорокино—Таежный. отъ 2092 в. 112 с. до 2101 в. 81 с.	8,938	—	2236	—	—	18	0,072	2300	2300	4640	9620	9460	14600	59350	1
		Таежный—Комарчага. отъ 2101 в. 296 с. до 2115 в. 30 с.	13,468	—	3362	—	—	27	0,108	3460	3460	7000	7900	14260	22000	89000	1
		Комарчага—Ташта. отъ 2115 в. 270 с. до 2125 в. 148 с.	9,756	—	2440	—	—	20	0,080	2510	2510	5070	2080	10390	16000	59650	2
		Ташта—Балай (граница 16 и 17 уч.). отъ 2125 в. 359 с. до 3136 вер.	11,282	—	2822	—	—	23	0,092	2900	2900	5870	10400	11970	18500	76800	2

Примѣчаніе 1. О каждой высылкѣ агентъ Матеріальной Службы обязанъ увѣдомлять депешою соответствующаго Начальника участка, съ указаніемъ дня отправки, длины и количества отправляемыхъ рельсовъ или количества отправляемыхъ скрѣпленій, № поѣзда, №№ платформъ или вагоновъ и №№ накладныхъ. Въ свою очередь Начальникамъ участковъ вмѣняется въ обязанность о каждой получкѣ телеграфировать Начальнику Службы Пути, въ копіи Начальнику Матеріальной Службы и Помощнику Начальника Службы Пути инженеру Любимову, съ указаніемъ дня получки, количества и рода полученныхъ предметовъ, №№ платформъ или вагоновъ и №№ накладныхъ. Въ каждой такой телеграммѣ Начальники участковъ должны также обязательно указывать сколько такого рода укладочныхъ матеріаловъ получено ими раньше и сколько осталось дополучить.

Примѣчаніе 2. Начальникамъ участковъ вмѣняется въ обязанность еженедѣльно по субботамъ телеграфировать Начальнику дороги, Начальнику пути въ копіи его Помощнику инженеру Любимову о ходѣ работъ по сплошной смѣнѣ рельсовъ, съ указаніемъ: „Смѣнено за недѣлю съ такого-то по такое-то число, столько-то верстъ, а вмѣстѣ съ прежнимъ столько-то и остается смѣнить еще столько-то верстъ“.

Примѣчаніе 3. Въ графѣ: „длина смѣняемаго перегона въ верстахъ“ исключена длина главнаго пути на станціяхъ и разъѣздахъ между входною и выходною стрѣлками.

Примѣчаніе 4. Въ графѣ „№№ очередной высылки“ цифра 0 означаетъ, что укладочный матеріалъ долженъ быть высланъ внѣ очереди.

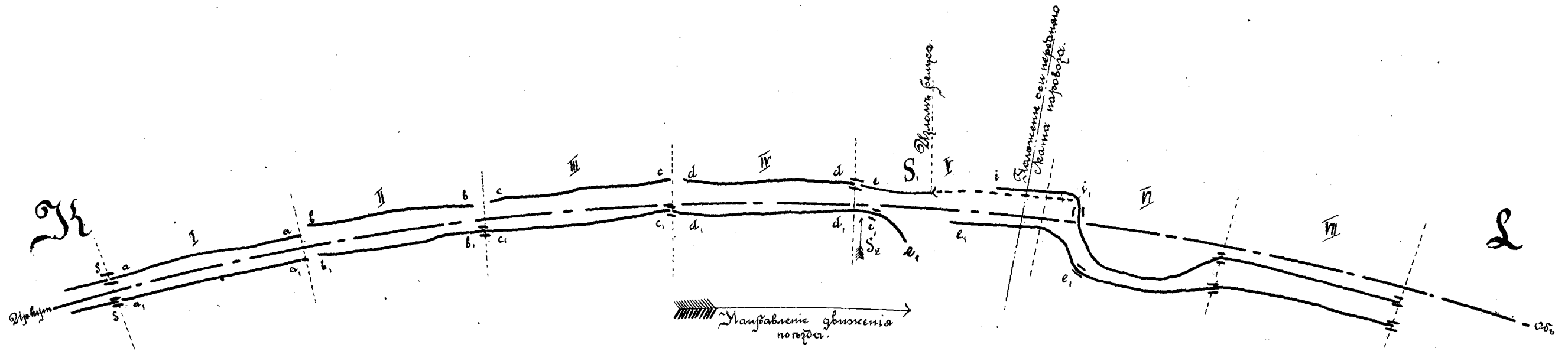
Вѣдомость рельсовъ Богословскаго Горнозаводскаго Общества, забракованныхъ при погрузкѣ на пристани Правая Обь съ 1-го по 22-е августа 1902 г.

Число и мѣс. осмотра.	Число забрак. рельсовъ.	Время выпуска рельсовъ и размѣръ ихъ.	Родъ недостатковъ.
августа			
1	1	1900 г. VI м. длин. 28 футъ.	Съ пленами на ребрѣ подошвы.
2	2	1) 1901 " III " " 35 "	Плена на ребрѣ подошвы.
		2) 1902 " III " " 28 "	" " " "
3	2	1) 1901 " VII " " 28 "	Щель на концѣ подошвы.
		2) 1901 " III " " 28 "	Плена подъ головкой.
4	3	1) 1901 " I " " 28 "	Плена на головкѣ.
		2) 1901 " III " " 28 "	Плена на краю подошвы.
		3) 1901 " II " " 28 "	Плена на головкѣ.
5	1	1901 " I " " 28 "	Рванина на краю подошвы.
7	2	1) 1901 " III " " 28 "	Плена на концѣ подошвы.
		2) 1901 " II " " 28 "	Плена на головкѣ.
8	3	1) 1901 " III " " 28 "	Плена подъ головкой.
		2) 1901 " I " " 28 "	Плена на ребрѣ подошвы.
		3) 1900 " XI " " 28 "	Рванина на краю подошвы.
9	2	1) 1901 " I " " 28 "	Плена въ концѣ подъ головкой.
		2) 1901 " III " " 28 "	Плена на краю подошвы.
12	1	1901 " II " " 28 "	Плена на краю подошвы.
14	5	1) 1900 " IX " " 28 "	Плена на ребрѣ подошвы.
		2) 1901 " II " " 35 "	Плена на концѣ подошвы.
		3) 1900 " XI " " 28 "	Плена на концѣ подошвы и трещина на торцѣ.

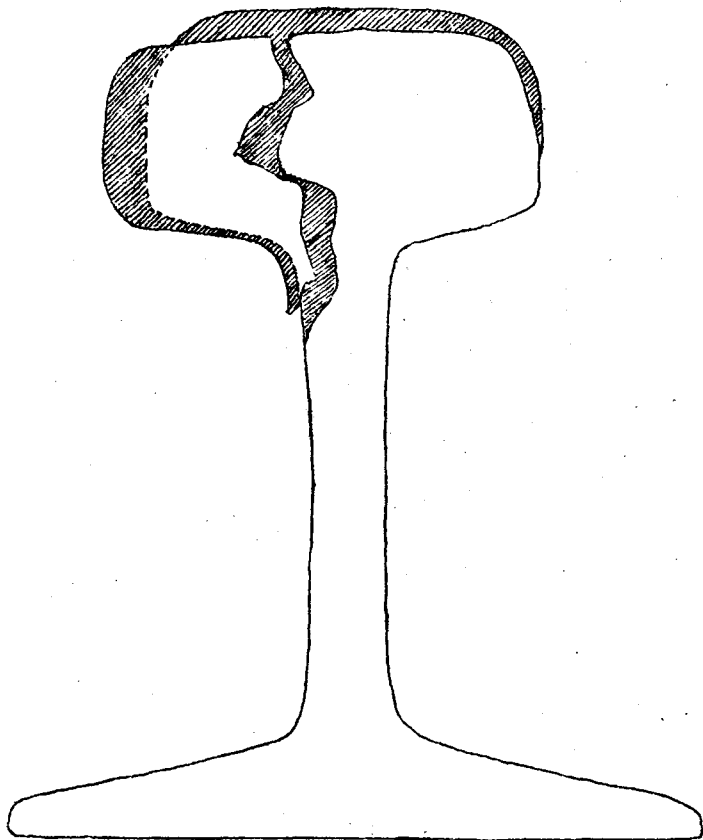
Число и мѣс. осмотра.	Число забрак рельсовъ.	Время выпуска рельсовъ и размѣръ ихъ.	Родъ недостатковъ.
16	3	4) 1901 " II " " 28 "	Плена на краю подошвы.
		5) 1901 " VII " " 28 "	Плена на головкѣ.
		1) 1900 " XII " " 28 "	Плена на краю подошвы.
		2) 1901 " III " " 28 "	Три плены на головкѣ.
		3) 1901 " I " " 28 "	Плена.
17	2	1) 1901 " II " " 28 "	Рванина на подошвѣ, на ребрѣ.
		2) 1901 " II " " 28 "	Плена на головкѣ сбоку.
19	2	1901 " III " " 28 "	Плена на головкѣ.
20		1) 1900 " VII " " 28 "	Глубокая плена сбоку на шейкѣ.
		2) 1901 " I " " 28 "	Плена на головкѣ, на концѣ съ торца.
21	1	1901 " I " " 28 "	Плена на головкѣ сбоку.

Положение рельсъ на мѣстѣ схода
 поезда №3 на 1765 верстѣ

Ленин

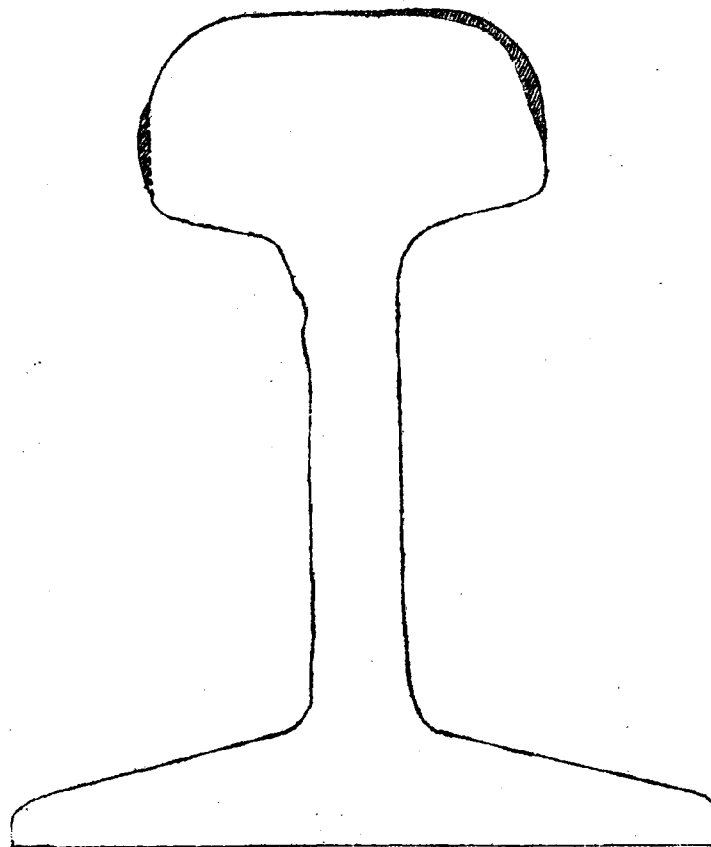


№ 1



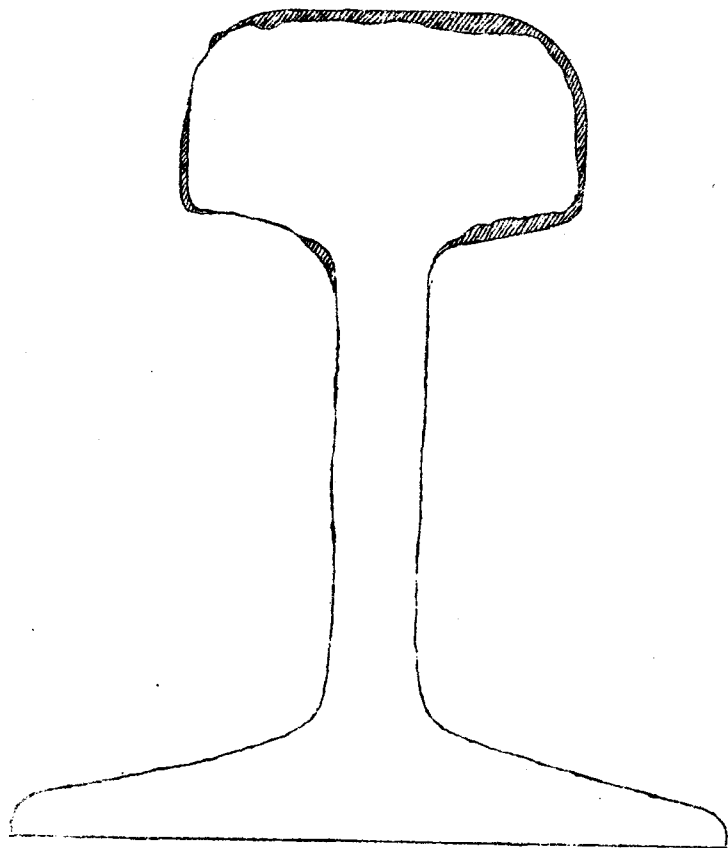
Прямая площадка. Износъ $3\frac{1}{2}$ мм. Марка: Демидовскій. Общая потеря вѣса на 1 п. футъ: 0,25 фунта.

№ 2.



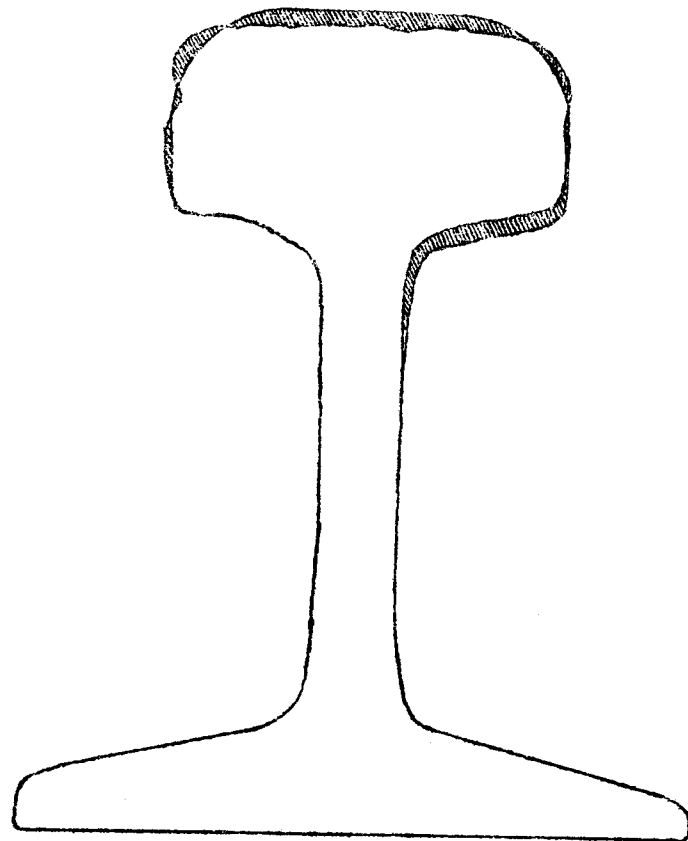
Прямая площадка. Износъ 2 мм. Марка: О. П. З. Потеря вѣса на 1 п. футъ 0,43 фунта.

№ 3.



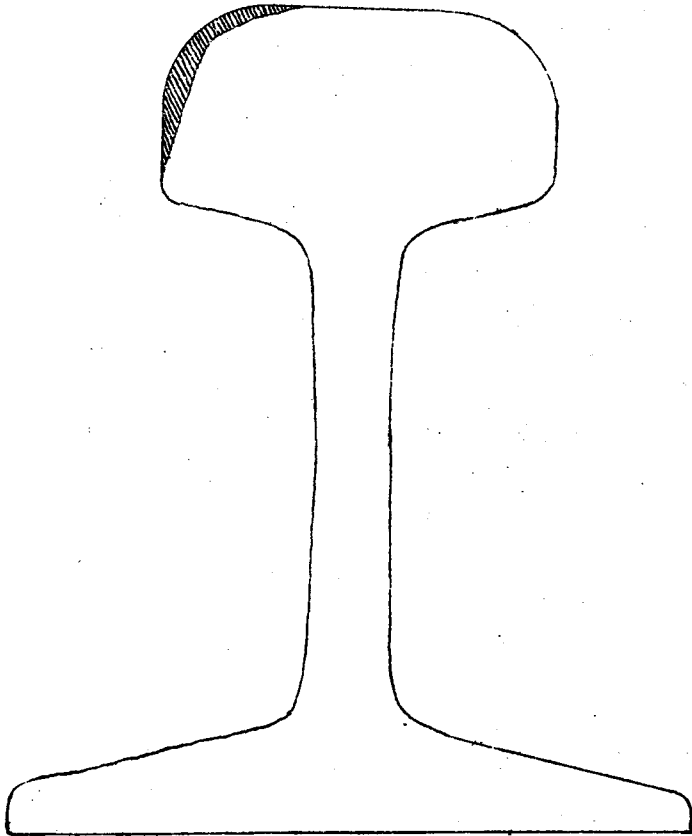
Профиль пути: Прямая. Уклонъ 0.008.
Износъ $2\frac{1}{2}$ мм.

№ 4.



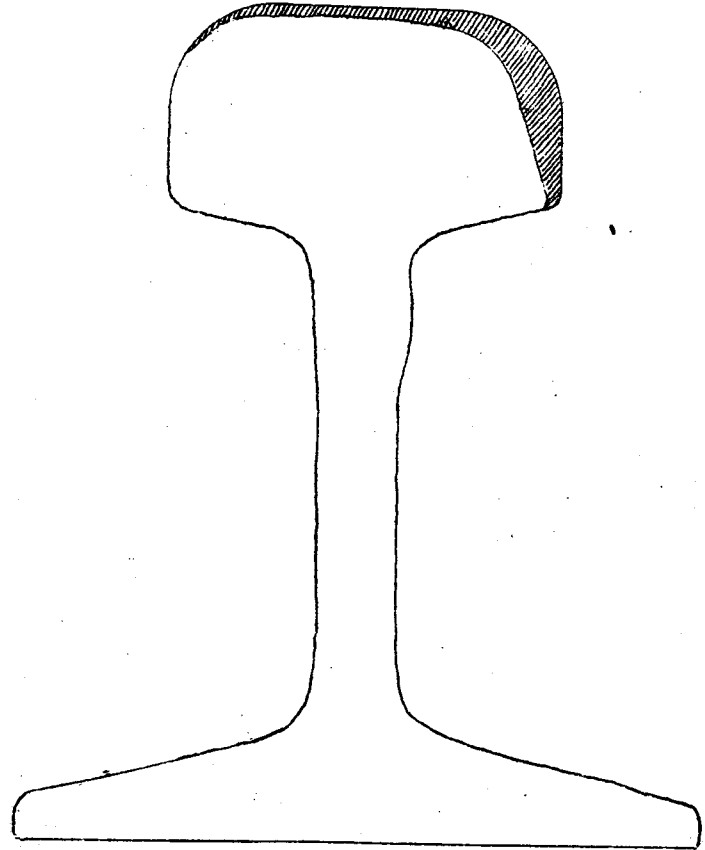
Профиль пути: Прямая. Уклонъ 0.007.
Износъ $2\frac{1}{2}$ мм.

№ 5.



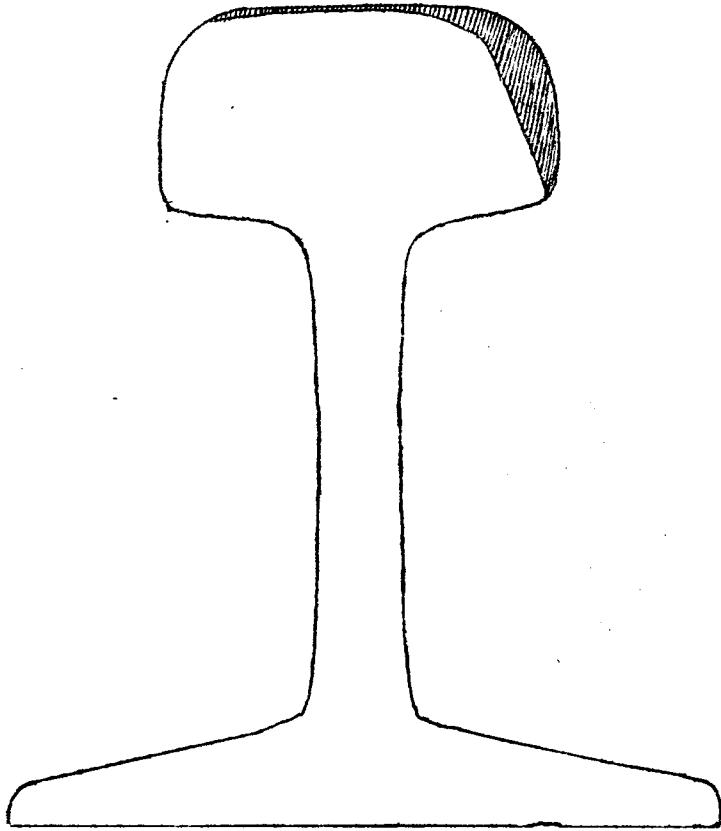
R=150. Площадка. Износъ $3\frac{1}{2}$ mm. Марка О. П. З.
1894. Потеря вѣса на 1 п. футъ: 0,50 фунта

№ 6.



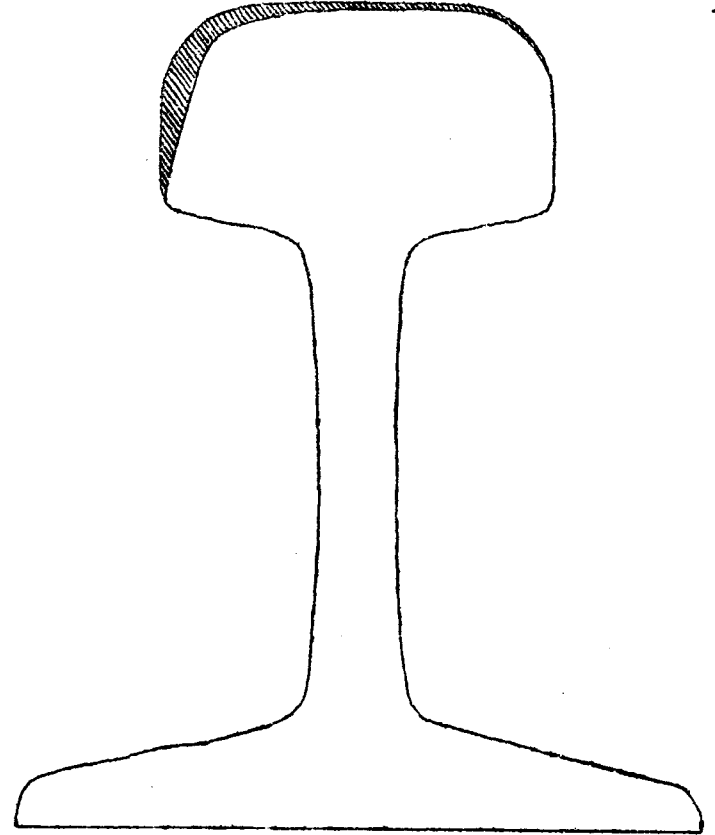
R=150. Площадка. Износъ 6 mm. Марка: О. П. З.
1894. Потеря вѣса на 1 п. футъ: 0,57 фунта.

№ 7.



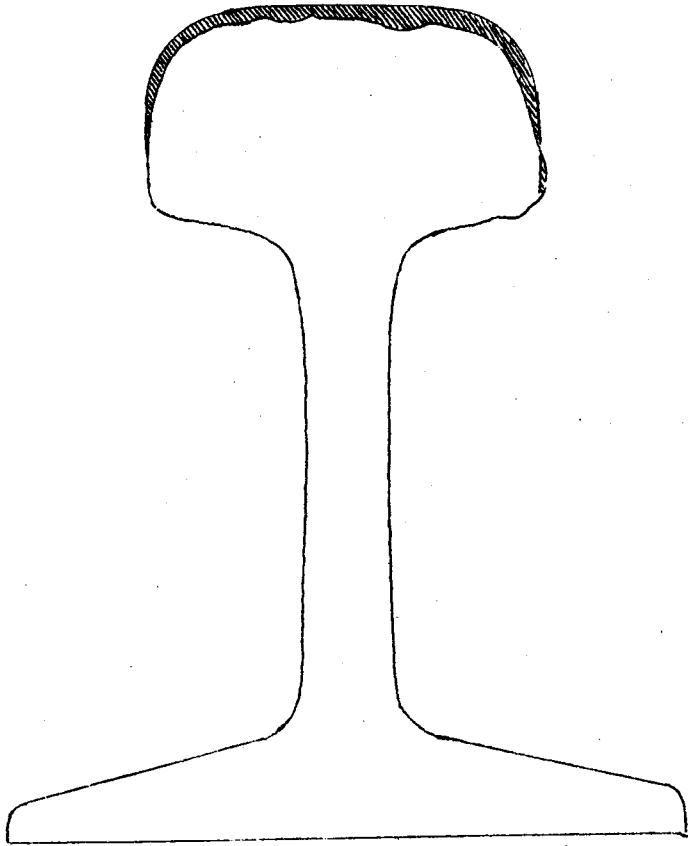
Профиль пути: $R=150$. Уклонъ 0.008.
Износъ 6 mm. Потеря вѣса: $0.84\frac{1}{2}$ фунта
на 1 пог. футъ.

№ 8.



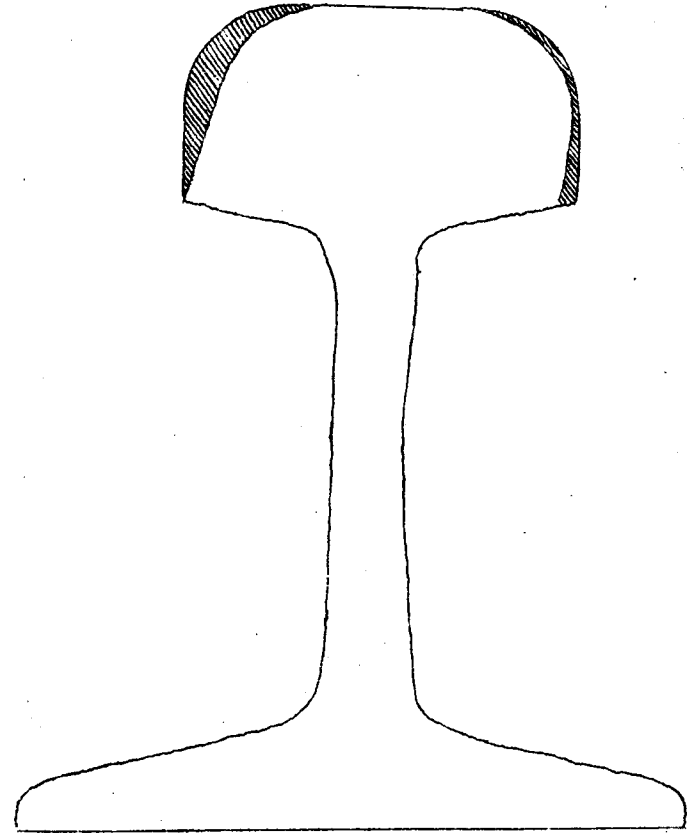
Профиль пути: $R=150$. Уклонъ 0.008.
Износъ 4 mm. Потеря вѣса: 0.75 фунта
на 1 пог. футъ.

№ 9.



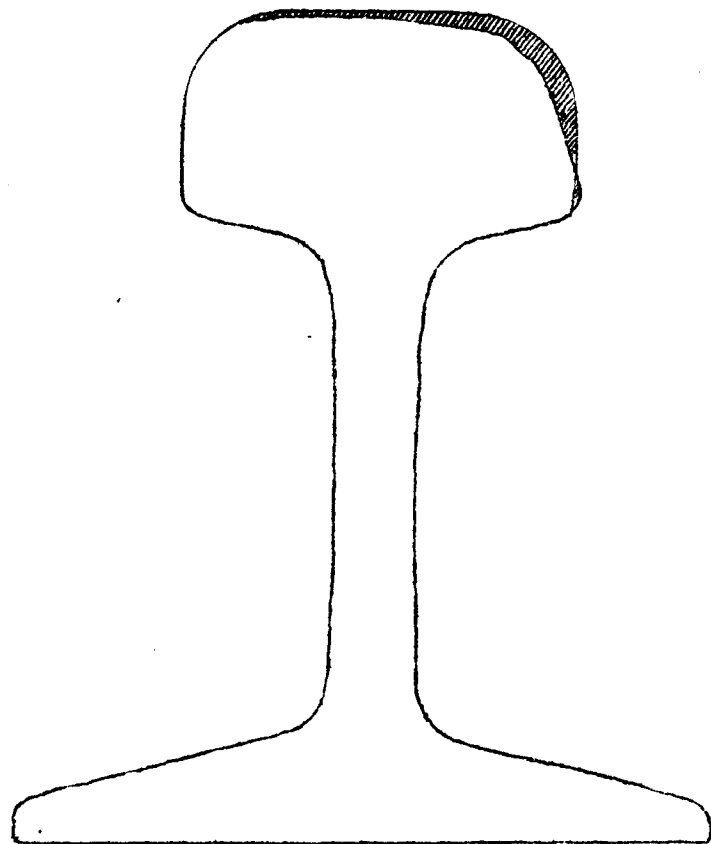
R=250 Плошадка. Износъ $3\frac{1}{2}$ мм. Марка:
Потеря вѣса на 1 п. футъ 0,64 фунта.

№ 10.



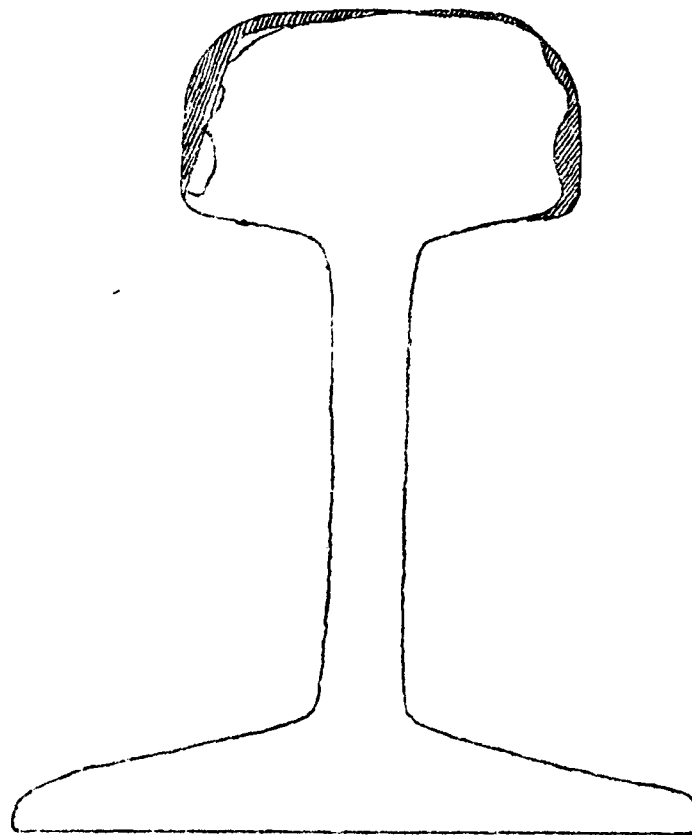
R=250. Плошадка. Износъ 4 мм. Марка: Деми-
довскій. Потеря вѣса 0,16 фунта на 1 п. футъ.

№ 11.



Профиль пути: R=250. Уклонъ 0.006.
Износъ 3 мм. Потеря вѣса: 0.78 фунта
на 1 пог. футъ.

№ 12.

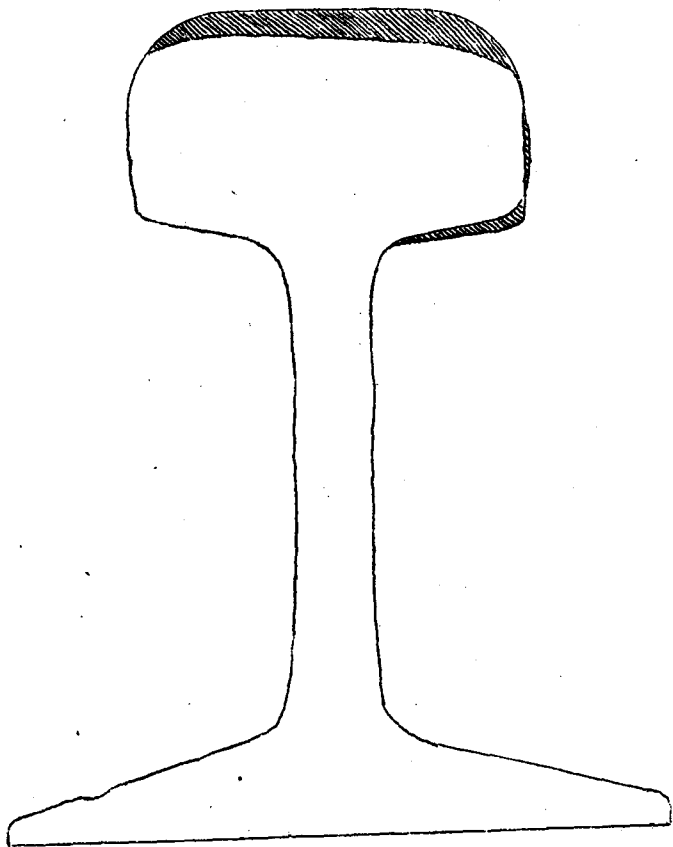


Профиль пути: R=250. Уклонъ 0.009.
Износъ 4 мм. Потеря вѣса: 0.64 фунта
на 1 пог. футъ.

Таблица VI

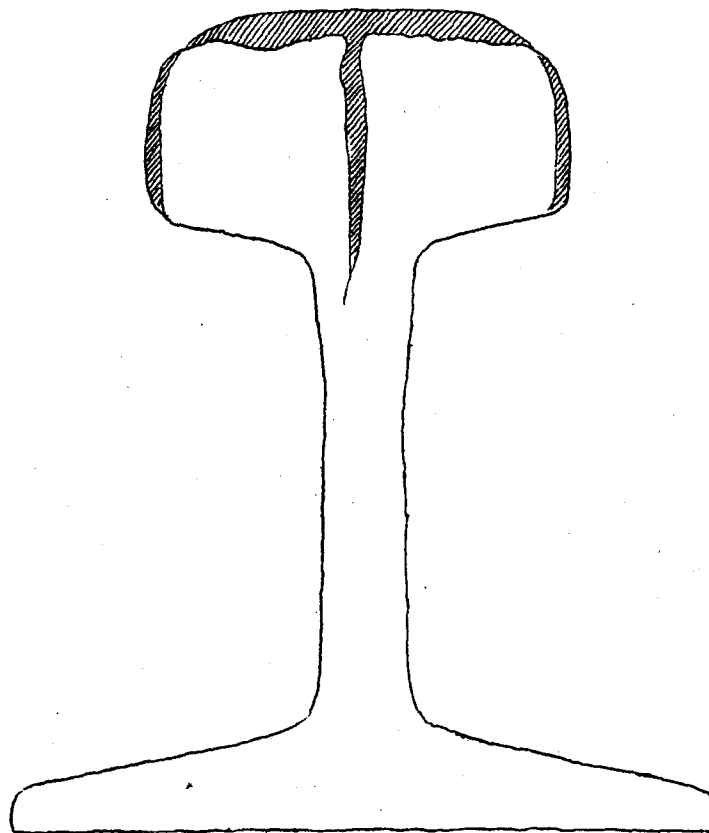
Листъ VII

№ 13.



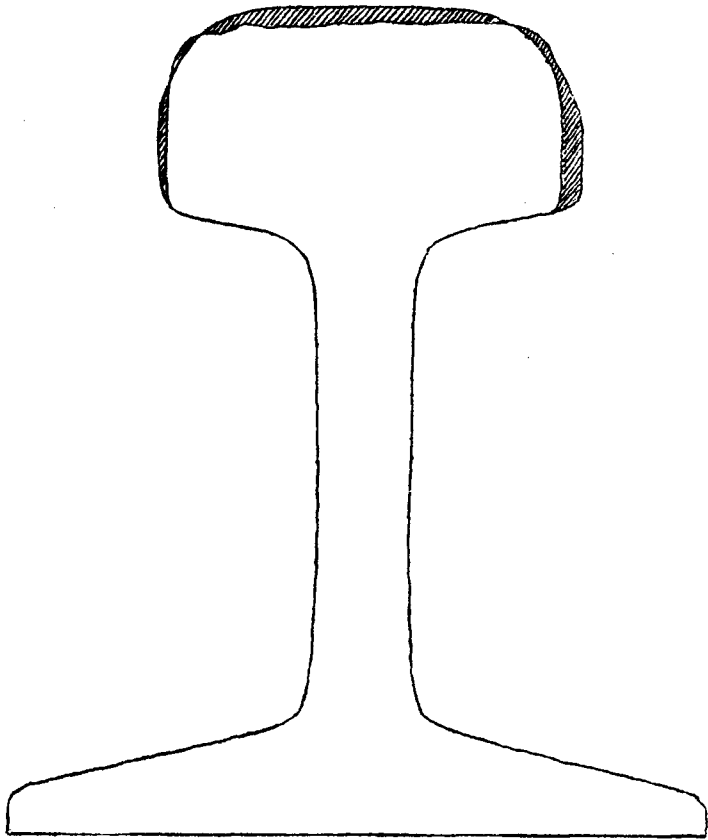
R=300. Плошадка. Износъ $4\frac{1}{4}$ мм. Марка: Демидовский. Потеря вѣса на 1 п. футъ: 0,78 фунта.

№ 14.



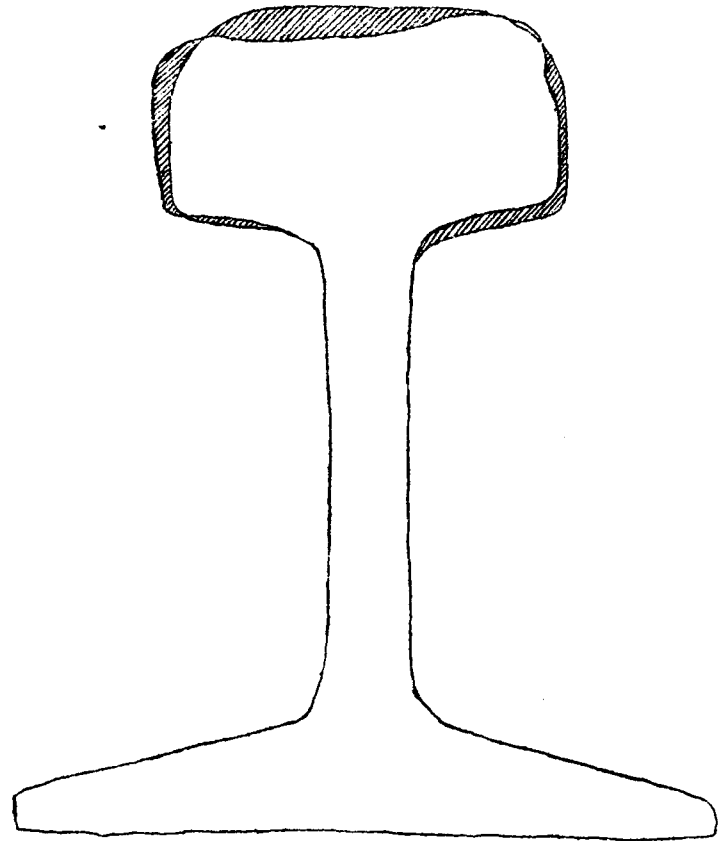
R=300. Плошадка. Износъ $4\frac{1}{2}$ мм. Марка О. П. З. 1894. Потеря вѣса на 1 п. футъ: 0,82 фунта.

№ 15.



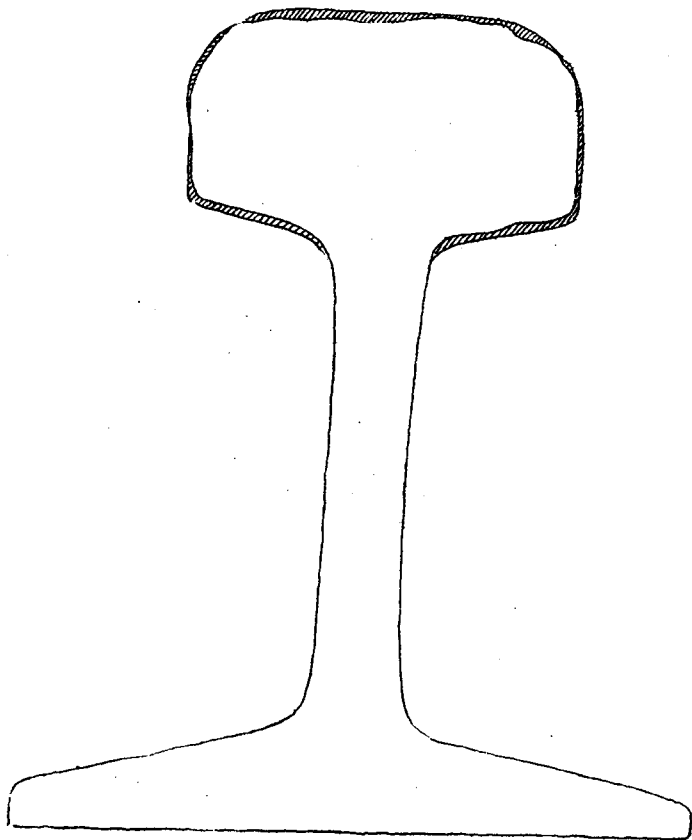
Профиль пути: $R=300$. Уклонъ 0.006.
Износъ $2\frac{3}{4}$ mm Потеря вѣса: 0.84 фунта
на 1 пог. футъ

№ 16.



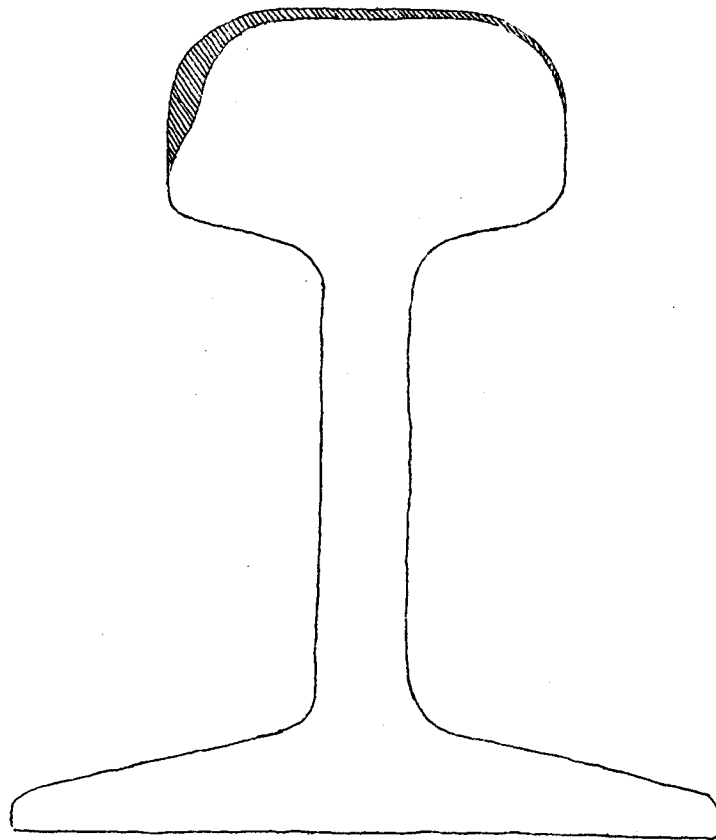
Профиль пути: $R=300$. Уклонъ 0.008.
Износъ 4 mm. Потеря вѣса: 0.84 фунта
на 1 пог. футъ.

№ 17.



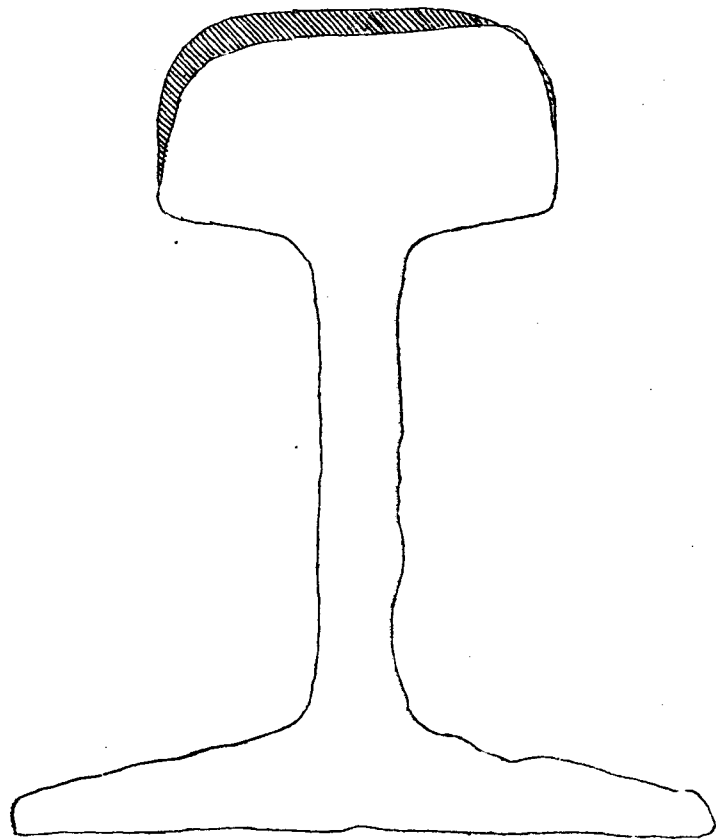
R=300. Уклонъ 0 008. Износъ $1\frac{1}{2}$ mm.
Потеря вѣса: 0.57 фунта на погон. футъ

№ 18.



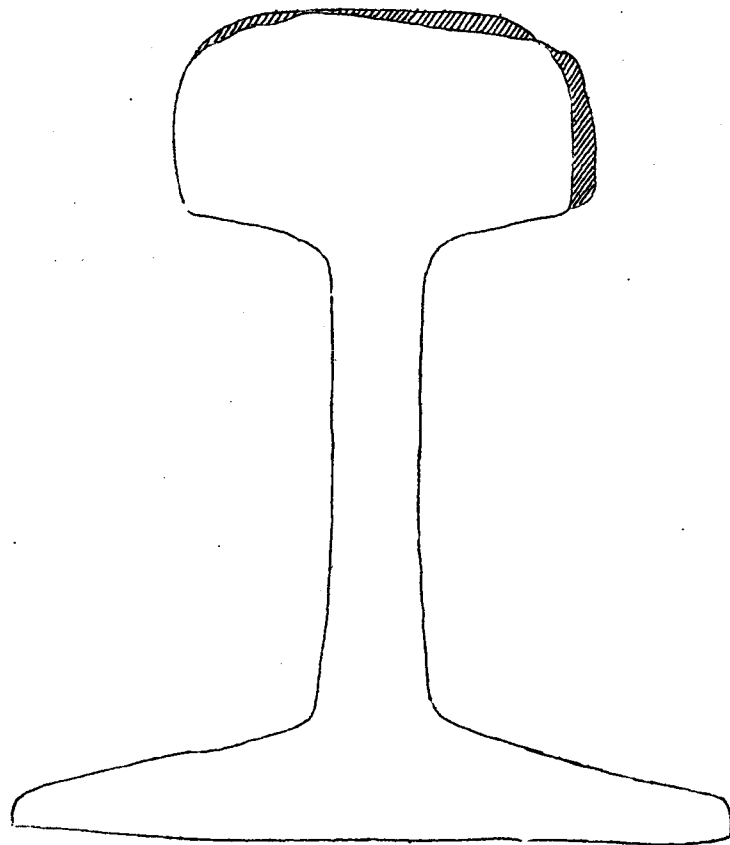
R= 150. Уклонъ 0.0174. Износъ 4 mm.

№ 21.



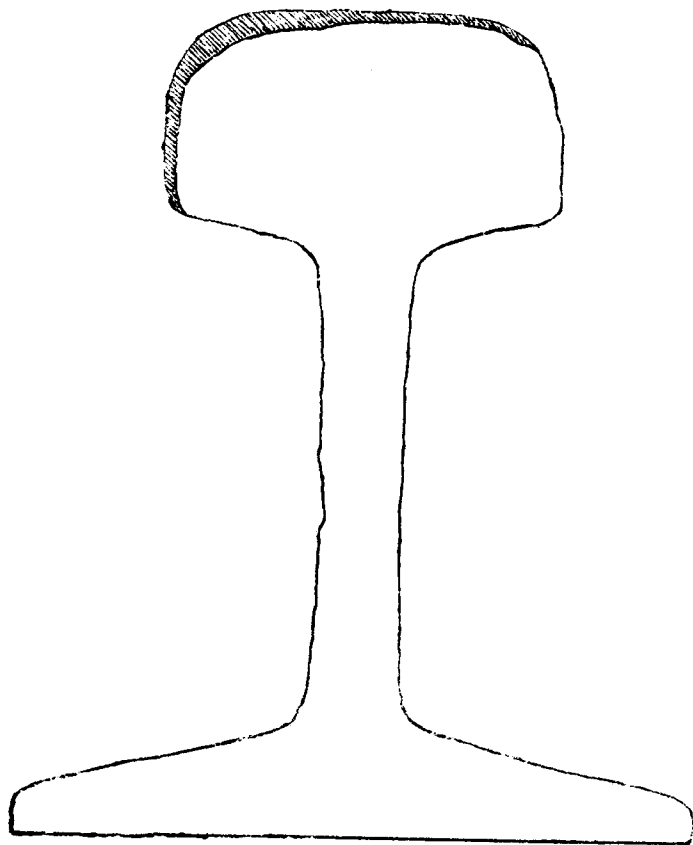
R=150. Площадка. Износъ 4 mm.

№ 22.



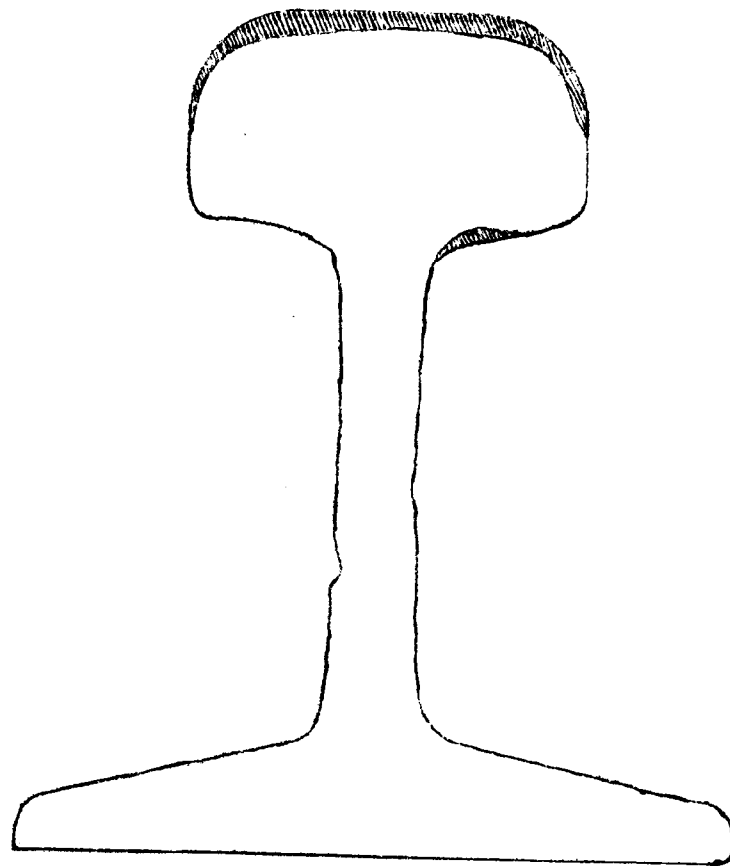
Прямая. Уклонъ 0,016. Износъ 3 mm.

№ 25.



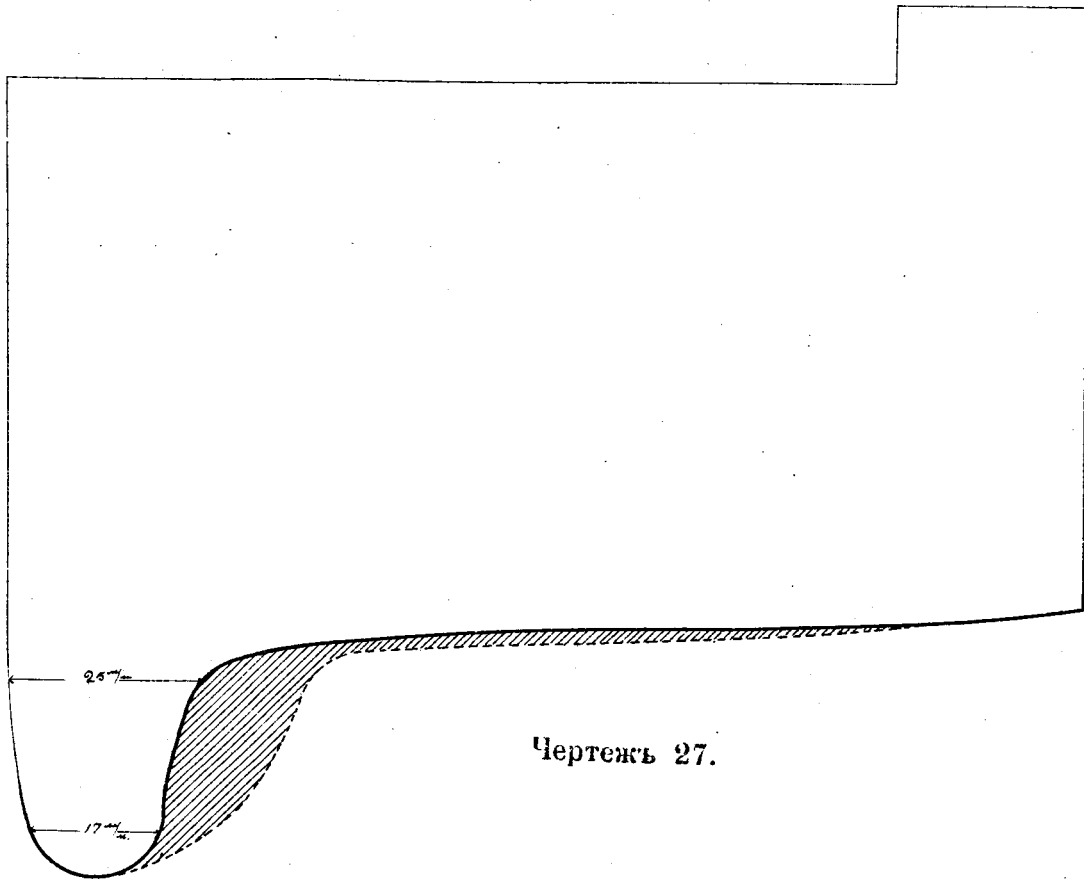
R=300 Площадка. Износъ $3\frac{1}{4}$ mm.

№ 26

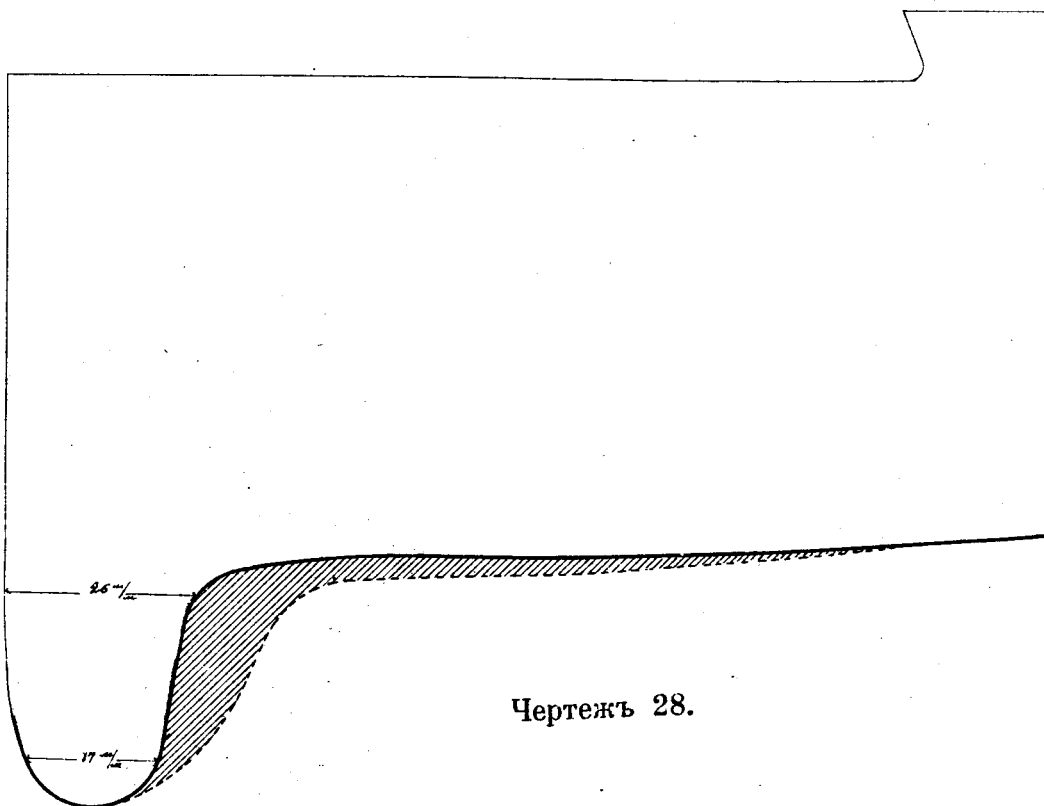


R=150. Площадка. Износъ $3\frac{1}{4}$ mm.

Мноса некоторых Бандажей Иланскаго и Ин-
жендерскаго част. маш.

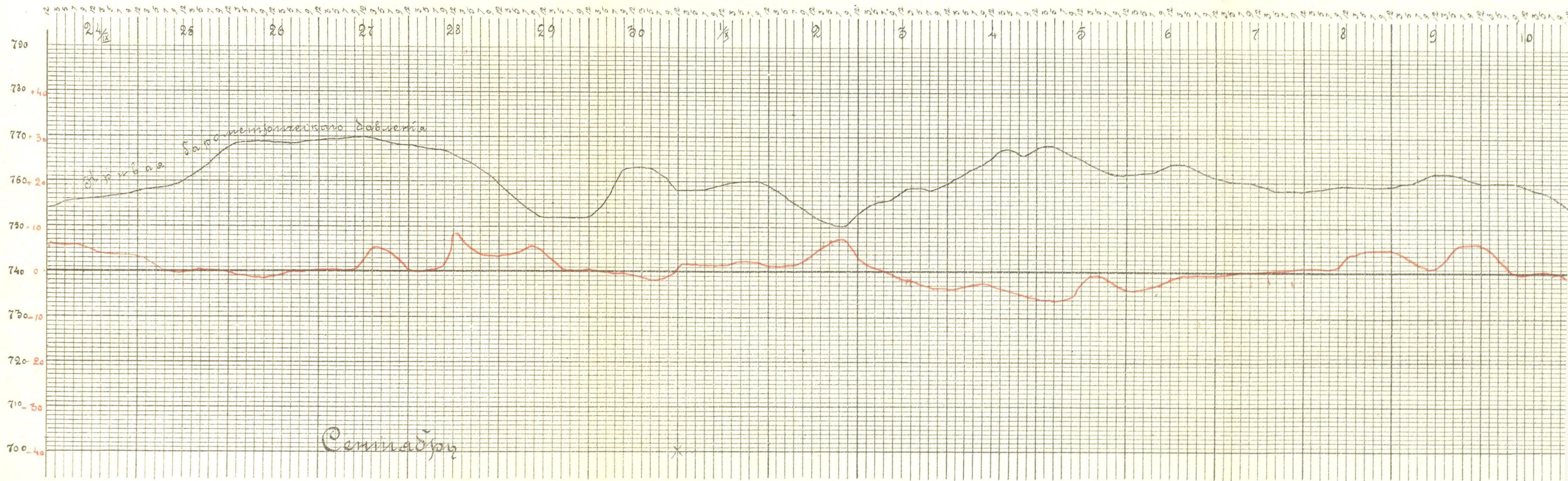


Чертежъ 27.

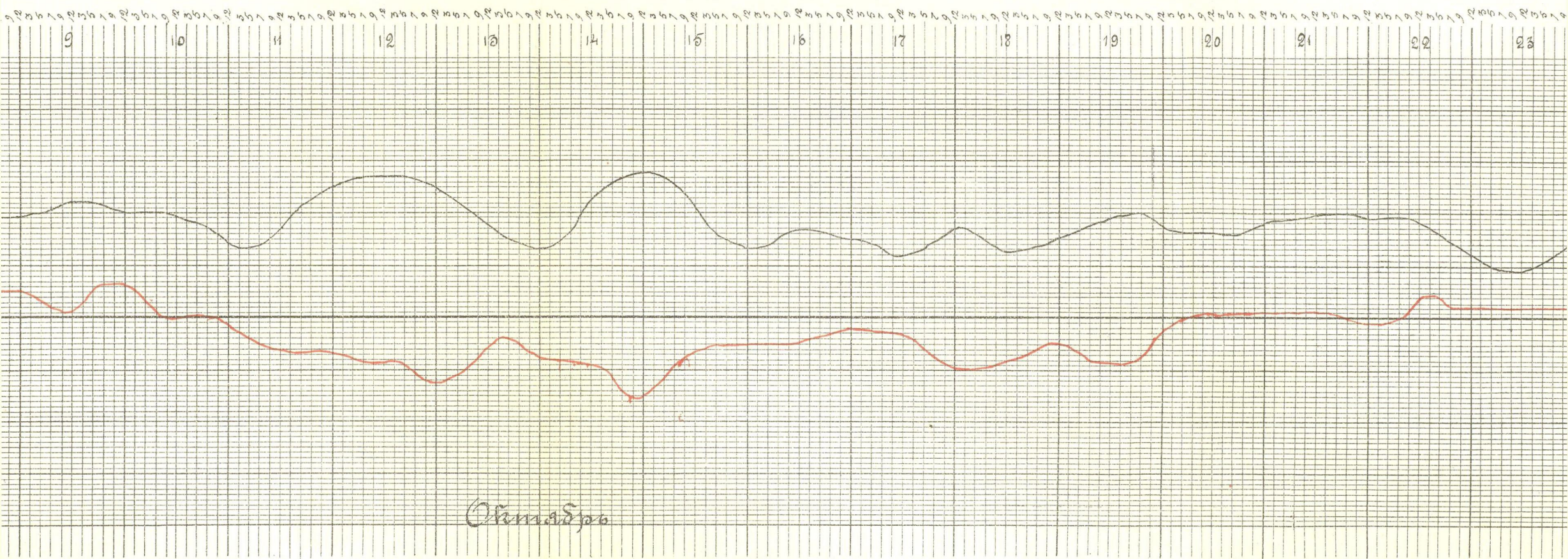


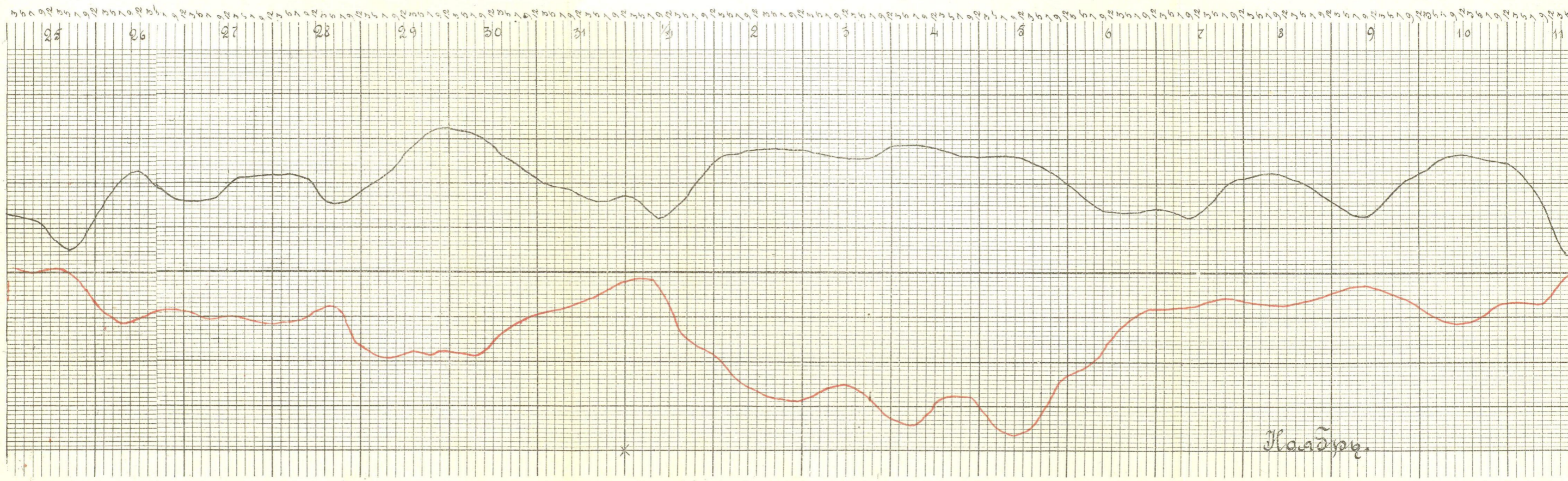
Чертежъ 28.

Таблица XVI



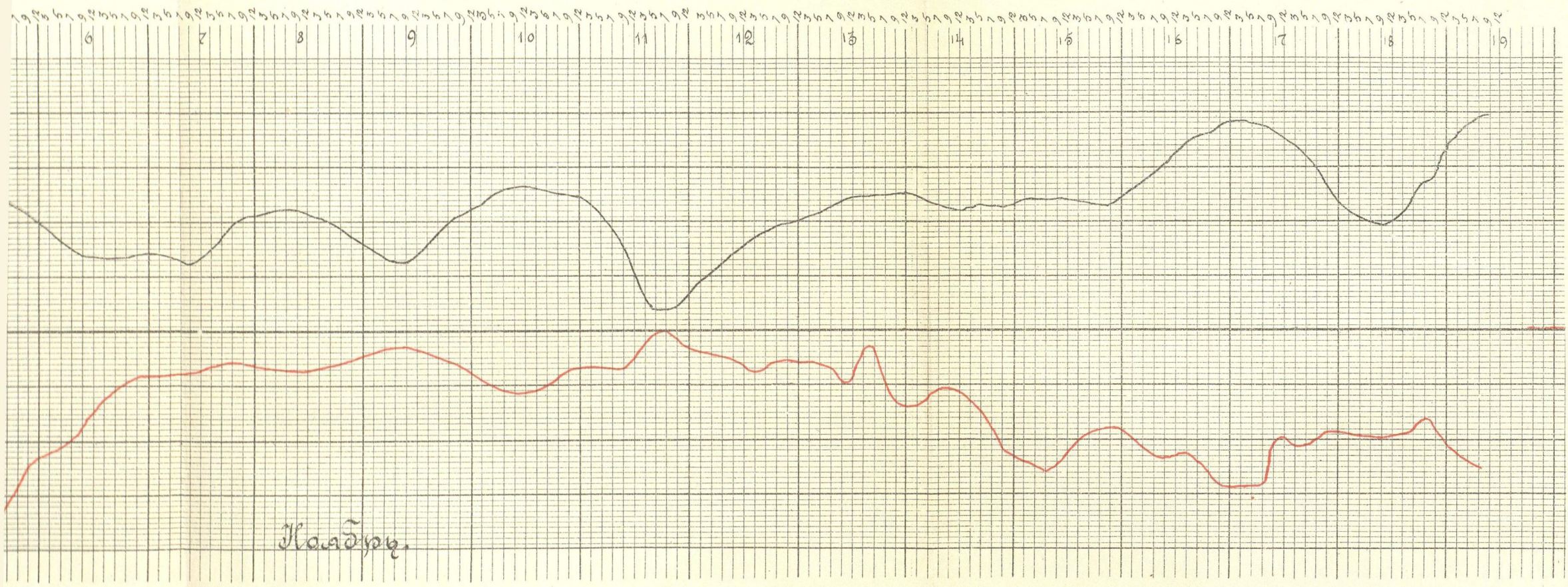
Графикъ
температуры воздуха и атмосфер
давления для г. Понска.



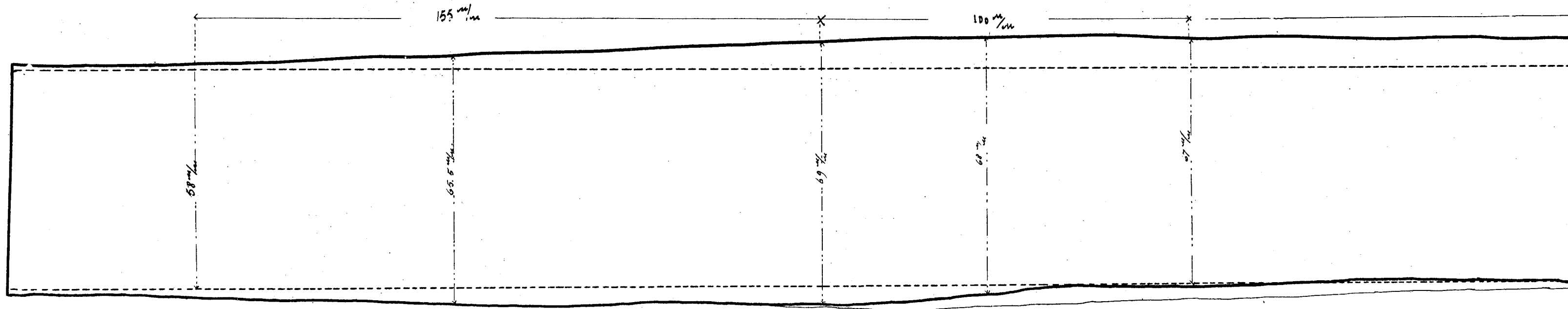


*

Кордун.



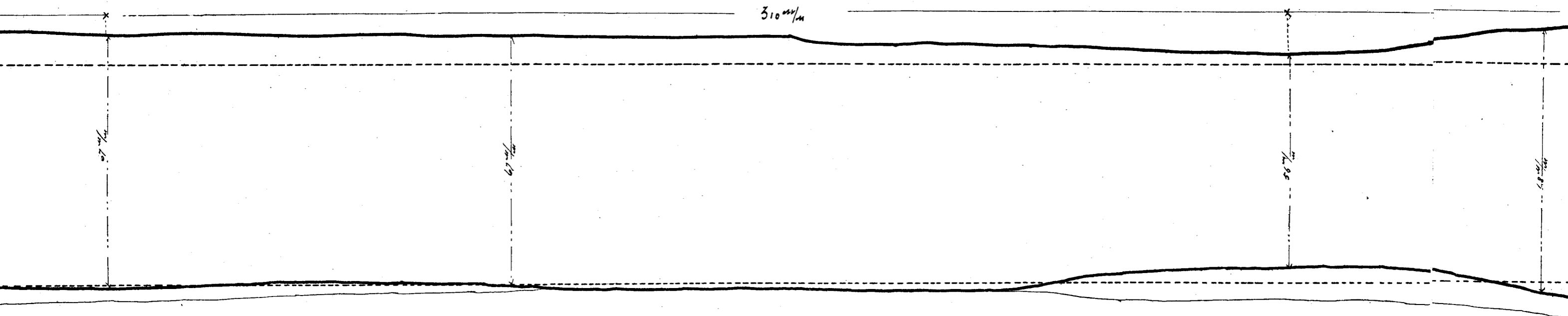
24 фун. рельса



Условн

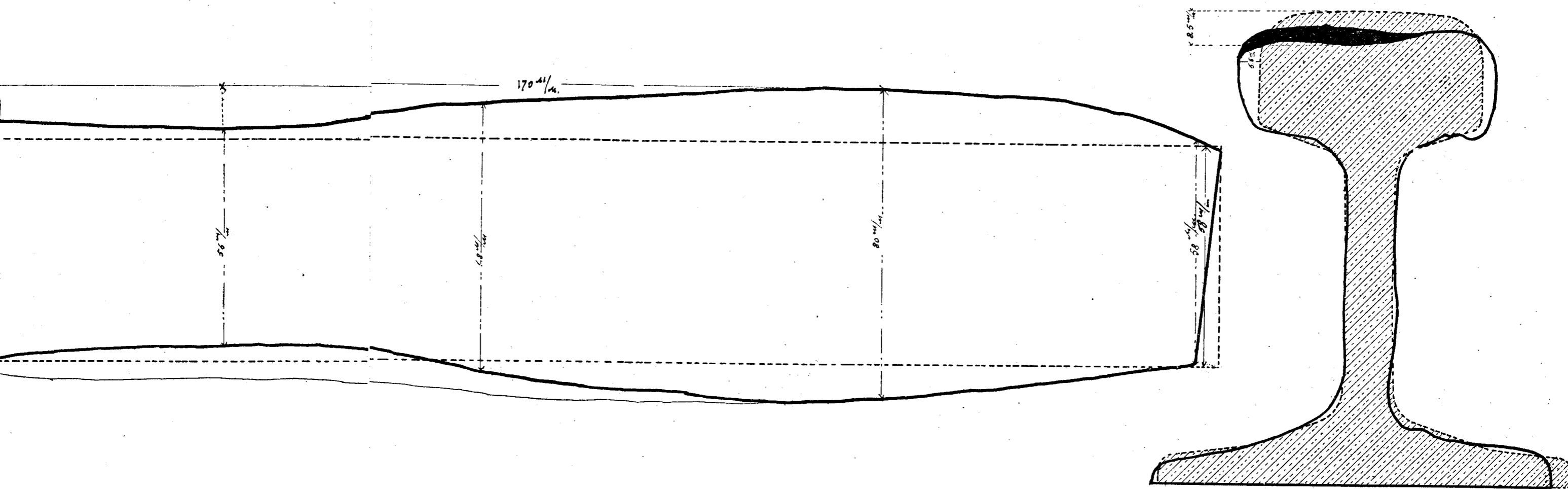
- Планка
- - - - - Параллель
- Линия

24 фунт. рельса Ярославскаго завода.



Условные знаки.

- Планъ головки рельса въ 24 фунт. послѣ деформации
- - - - - Нормальный планъ головки 24 фунт. рельса.
- Линія напыльа.



Чертежъ 31.

КЪ ВОПРОСУ

О РАЗСЧЕТЪ МОСТОВЪ

СИСТЕМЫ RÉSAL'Я.

Инж. Н. Некрасовъ.



ТОМСКЪ.



Паровая типо-литографія П. И. Макушина, Благовѣщ. пер., собств. д.

1903.

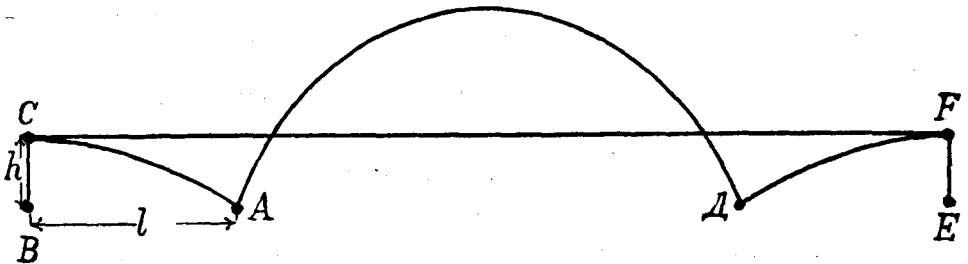


Печатано съ разрѣшенія Директора Томскаго Технологическаго Института
ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II.

Къ вопросу о расчетѣ мостовъ системы Résal'я.

Однимъ изъ сооружений, выстроенныхъ специально для парижской выставки 1900 года былъ пѣшеходный мостикъ черезъ Сену между мостами Альмскимъ и Іенскимъ. Система его принадлежитъ извѣстному инженеру Résal'ю и имѣетъ цѣлью перекрыть очень значительный общій пролетъ (120 метр.), не сооружая громоздкихъ распорныхъ быковъ и устоевъ. Обычный способъ перехватыванія распора затяжкой въ уровнѣ пяты былъ непримѣнимъ ввиду необходимости избѣгнуть стѣсненія судоходства. Поэтому Résal прибѣгнулъ къ весьма остроумному приему, уравнивъ распоръ средней арки (см. чертежъ 1) распорами обратнаго направленія

черт 1



боковыхъ полуарокъ, концы которыхъ опираются на качающіяся опоры и связаны между собою затяжкой.

Расчетъ средней части, представляющей изъ себя обыкновенную двухшарнирную статически-неопредѣлимую арку, сквозного въ верхнихъ и сплошного сѣченія въ нижнихъ частяхъ, не представляетъ чего либо особеннаго.

Наоборотъ, система двухъ боковыхъ полуарокъ, связанныхъ затяжкой, представляетъ собой также статически-неопредѣлимую систему, расчетъ которой еще затрудняется тѣмъ, что обѣ боковыя арки сплошного сѣченія, такъ что обычный способъ опредѣленія статически-неопредѣлимой величины по деформациямъ отдѣльныхъ прямолинейныхъ элементовъ системы непримѣнимъ.

Поэтому составители названнаго проекта инженеры Alby и Lion, работавшіе подъ непосредственнымъ руководствомъ Résal'я, примѣнили слѣдующій способъ раскрытія статической неопредѣлимости. (См. Génie Civil 1900 г. № 937 отъ 26 мая). Предположено было временно, что при загрузеніи, напр., лѣвой полуарки, лѣвая качающаяся опора не существуетъ. Въ этомъ предположеніи были опредѣлены моменты и продольныя сжимающія силы въ различныхъ сѣченіяхъ лѣвой полуарки для загрузенія какими угодно грузами. Затѣмъ вычислены деформации отдѣльныхъ элементовъ полуарки, на которые она для этой цѣли разбита; вычисленіе произведено по приближенной формулѣ для кривыхъ брусьевъ съ очень большимъ радіусомъ кривизны.

Далѣе опредѣлена горизонтальная сила, дѣйствующая на затяжку и соотвѣтственное удлинненіе послѣдней.

Имѣя эти данныя, можно бы опредѣлить пониженіе точки C , въ которой находилась отброшенная опора, подъ дѣйствіемъ различныхъ силъ, въ томъ числѣ и силы V , въ этой точкѣ C приложенной.

Но сила V вызываетъ въ затяжкѣ усиліе $g = \frac{Vl}{h}$, которое передается при помощи затяжки на правую полуарку. При этомъ точка C лѣвой полуарки понижается еще, вслѣдствіе перемѣщенія всей затяжки влѣво на величину горизонтальной проэкции укороченія правой полуарки.

Называя эту проэцію a , а горизонтальную проэцію укороченія правой полуарки и удлинненіе затяжки — b и c , получимъ пониженіе точки C

$$y = \frac{a + b + c}{h} \cdot l$$

Опредѣляя кромѣ того пониженіе точки C для случая дѣйствія силы V , приложенной въ точкѣ C и равной 10^{tn} ; изъ про-

порціональності пониженій можно опредѣлить реакці качающихся опоръ, а затѣмъ и усиліе въ затыжкѣ.

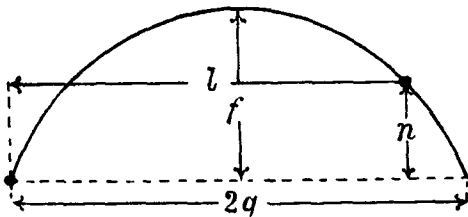
Въ настоящей статьѣ дѣлается попытка дать еще другой точный методъ разчета, основанный на теоремѣ о производной работы деформаци.

Предварительно выведемъ приближенную формулу для первоначального разчета сѣченій боковыхъ полуарокъ, затыжки и качающихся опоръ.

Разсмотримъ прежде всего отдѣльно боковую полуарку, пренебрегая удлинненіемъ затыжки и качающейся опоры, иначе говоря параболическую арку съ двумя шарнирами, изъ которыхъ одинъ въ вершинѣ параболы.

Для возможности повѣрки формулъ беремъ сначала общій случай, когда второй шарниръ расположенъ не въ вершинѣ параболы, а въ какой либо иной точкѣ кривой на высотѣ n надъ уровнемъ перваго шарнира (см. черт. 2).

черт. 2



Выведемъ общее выраженіе распора для этого вида арки; затѣмъ примѣнимъ его къ случаю $n=f$, $l=g$ и для повѣрки къ случаю $n=0$ $l=2g$. Уравненіе параболы, отнесенной къ прямоугольнымъ осямъ съ началомъ въ A будетъ:

$(g-x)^2 = (f-y) 2p$, гдѣ параметръ p опредѣлится изъ условія при $x=0$ $y=0$

$$2p = \frac{g^2}{f}$$

Уравненіе принимаетъ видъ:

$$(g-x)^2 = \frac{g^2}{f} (f-y), \text{ или}$$

$$(a) \dots \dots \dots y = x \left(\frac{2g-x}{g^2} \right) f, \text{ откуда}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{g-x}{p} = \left(\frac{g-x}{g^2} \right) f \dots \dots \dots (b)$$

Выразимъ вертикальныя опорныя противодѣйствія въ функціи отъ распора H при дѣйствии груза P въ разстояніи a отъ лѣвой опоры

$$(c) \dots\dots V = P \frac{l-a}{l} + H \frac{n}{l} \text{ — для опоры } A$$

$$V' = P \frac{a}{l} - H \frac{n}{l} \text{ — для опоры } D$$

Далѣе моментъ для сѣченія въ разстояніи x отъ лѣвой опоры выразится:

$$(x) \dots\dots Mx = P \left(\frac{l-a}{l} \right) x + H \frac{nx}{l} - Hy \text{ отъ } x=0 \text{ до } x=a$$

$$Mx = P \frac{l-a}{l} x + H \frac{nx}{l} - Hy - P(x-a) \text{ отъ } x=a \text{ до } x=l$$

Для опредѣленія выраженія распора H воспользуемся извѣстными формулами элементовъ деформаціи арки:

$$(l) \dots\dots \left\{ \begin{array}{l} \Delta x = - \int \Delta \varphi_x \cdot dy + \int \frac{N_x}{EW} dx \\ \Delta y = \int \Delta \varphi_x \cdot dx + \int \frac{N_x}{EW} dx \\ \Delta \varphi_x = \int \frac{M_x ds}{EY} \end{array} \right.$$

Интегрируя выраженіе для $\Delta \varphi$ въ предѣлахъ отъ 0 до x , имѣемъ

$$\Delta \varphi_x - \Delta \varphi_0 = \frac{1}{EY} \int_0^x M_x dx \cdot \frac{ds}{dx}$$

Принимая приближенно для плоской параболической арки

$$\frac{dx}{ds} = \text{Cos} \varphi = \text{const}, \text{ получимъ}$$

$$\Delta \varphi_x - \Delta \varphi_0 = \frac{1}{EY \text{Cos} \varphi} \int_0^x M_x dx$$

$$\Delta \varphi_x = \Delta \varphi_0 + \frac{1}{EY \text{Cos} \varphi} \left| P \frac{l-a}{l} \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{Hnx^2}{2l} + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{Hgx^2}{2p} + \frac{Hx^3}{6p} \Big|_{x=0}^{x=x} - \Big| P\left(\frac{x^2}{2} - ax\right) \Big|_{x=a}^{x=x} = \\
 & = \Delta \varphi_0 + \frac{1}{2EY \cos \varphi} \left\{ \frac{P(l-a)}{l} x^2 + H \left(\frac{nx^2}{l} - \frac{gx^2}{p} + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \frac{x^3}{3p} \right) - P(x-a)^2 \right\} \dots \dots (f)
 \end{aligned}$$

Далѣ пренебрегаемъ для приближеннаго разчета дѣйствиємъ продольной сжимающей силы на деформацию арки и опредѣляемъ:

$$\begin{aligned}
 \left| \Delta x \right|_0^x &= - \int_0^x \Delta \varphi_x \cdot dy = - \Delta \varphi_0 \cdot y - \frac{1}{2EY \cos \varphi} \\
 & \int_0^x \left\{ \frac{P(l-a)}{l} x^2 + H \left(\frac{nx^2}{l} - \frac{gx^2}{p} + \frac{x^3}{3p} \right) \right\} \cdot \frac{dy}{ax} \cdot dx - \\
 & - \int_a^x P(x-a)^2 \frac{dy}{dx} dx
 \end{aligned}$$

Подставляя вмѣсто производной ея значеніе изъ (b) получаемъ послѣ интегрированія:

$$\begin{aligned}
 \left| \Delta x \right|_0^x &= - \Delta \varphi_0 \cdot y - \frac{1}{2EY \cos \varphi} \left\{ \frac{P(l-a)}{lp} \left(\frac{x^3 g}{3} - \frac{x^4}{4} \right) + \right. \\
 & + \frac{H}{p} \left[\frac{gnx^3}{3l} - \frac{g^2 x^3}{3p} + \frac{gx^4}{12p} - \frac{nx^4}{4l} + \frac{gx^4}{4p} - \frac{x^5}{15p} \right] + \\
 & \left. - \frac{P}{12p} (x-a)^3 (4g - 3x - a) \right\} \dots \dots (g).
 \end{aligned}$$

Соотвѣтственно:

$$\begin{aligned}
 \left| \Delta y \right|_0^y &= x \Delta \varphi_0 + \frac{1}{2EY \cos \varphi} \int_0^x \left\{ \frac{P(l-a)}{l} x^2 + \right. \\
 & \quad \left. + H \left(\frac{nx^2}{l} - \frac{gx^2}{p} + \frac{x^3}{3p} \right) \right\} dx + \\
 & - \int_a^x P(x-a)^2 dx = x \Delta \varphi_0 + \frac{1}{2EY \cos \varphi} \left\{ P \frac{l-a}{l} \cdot \frac{x^3}{3} + \right. \\
 & \quad \left. + H \left(\frac{nx^3}{3l} - \frac{gx^3}{3p} + \frac{x^4}{12p} \right) - \frac{P(x-a)^3}{3} \right\} \dots \dots (h)
 \end{aligned}$$

Примѣнимъ формулы (g) и (h) къ частнымъ случаямъ; замѣтимъ, что ввиду неподвижности опорныхъ шарнировъ $\left| \Delta x \right|_0^l = 0$ и $\left| \Delta y \right|_0^n = 0$ и что при $x = l$, $y = n$. Подставляя указанные предѣлы, получимъ

$$\Delta \varphi_0 \cdot n = - \frac{1}{2 EY \text{Cos} \varphi} \left\{ \frac{P(l-a)}{lp} \left(\frac{l^3 g}{3} - \frac{l^4}{4} \right) + \right. \\ \left. + \frac{H}{p} \left(\frac{gnl^3}{3l} - \frac{g^2 l^3}{3p} + \frac{gl^4}{3p} - \frac{nl^4}{4l} - \frac{l^5}{15p} \right) + \right. \\ \left. - \frac{P}{12p} (l-a)^3 (4g - 3l - a) \right\} \dots\dots (I)$$

$$\Delta \varphi_0 \cdot l = - \frac{1}{2 EY \text{Cos} \varphi} \left\{ \frac{P(l-a)}{l} \cdot \frac{l^3}{3} + H \left(\frac{nl^3}{3l} - \frac{gl^3}{3p} + \frac{l^4}{12p} \right) + \right. \\ \left. - \frac{P(l-a)^3}{3} \right\} \dots\dots (II)$$

Исключая изъ этихъ двухъ уравненій $\Delta \varphi_0$ и вынося за скобки соответственно P и H , получимъ послѣ сокращенія на $\frac{1}{2 EY \text{Cos} \varphi}$:

$$P(l-a) \left\{ \frac{1}{12p} (-4l^3 g + 3l^4 + 4l^3 g - 8agl^2 + 4a^2 gl + \right. \\ \left. - 3l^4 + 6al^3 - 3a^2 l^2 - al^3 + 2a^2 l^2 - a^3 l) + \right. \\ \left. + \frac{n}{3} (l^2 - l^2 + 2al - a^2) \right\} - H \left\{ - \frac{nl^4}{3p} + \frac{2gnl^3}{3p} + \right. \\ \left. - \frac{g^2 l^4}{3p^2} + \frac{gl^5}{3p^2} - \frac{l^6}{15p^2} - \frac{n^2 l^2}{3} \right\} = 0$$

Приводя подобные члены:

$$Hl \left\{ nl(2g - l) - \frac{l^2}{p} \left(g^2 - gl + \frac{l^2}{5} \right) - n^2 p \right\} = \\ = P \left(\frac{l-a}{4} \right) \left\{ -8gal + 4a^2 g + 5al - 2a^2 l - a^3 + \frac{4nra}{l} (2l-a) \right\} - (III)$$

Это уравнение даетъ выраженіе распора для общаго случая арки съ пятами не на одномъ уровнѣ. Въ примѣненіи къ случаю моста Résal'я, когда имѣемъ:

$$g=l; h=f; p=\frac{l^2}{2f};$$

уравненіе (III) обращается въ такое:

$$\begin{aligned} Hl \left[fl^2 - 2f \left(l^2 - l^2 + \frac{l^2}{5} \right) - \frac{fl^2}{2} \right] = \\ = P \frac{l-a}{4} \left\{ -8al^2 + 4a^2l + 5al^2 - a^2l - a^3 + 4al^2 - 2a^2l \right\}, \end{aligned}$$

откуда

$$H = \frac{5}{2} \frac{P}{fl^3} (l-a) a (l^2 + al - a^2) * \dots (IV)$$

Эта формула и есть искомое приближенное выраженіе распора для плоской параболической арки, когда одинъ изъ шарнировъ находится въ вершинѣ параболы.

Примѣнимъ для провѣрки формулу (III) къ аркѣ съ пятами въ одномъ уровнѣ. Для этого случая:

$$l=2g; n=0; p=\frac{l^2}{8f}$$

подставляя, получимъ

$$H = \frac{5}{8} \frac{P(l-a)l(l^2 - al + a^2)}{fl^3},$$

что представляетъ извѣстную формулу для полной параболической арки.

Въ полученную формулу для боковой полуарки легко внести поправки на удлинненіе затяжки, укороченіе качающейся опоры и температуру; но въ дальнѣйшемъ изложеніи подобныя формулы легко будутъ получены изъ общихъ формулъ для всей системы.

*) Формула эта выведена авторомъ при разработкѣ студенческаго проекта моста по желавію глубокоуважаемаго профессора Л. О. Николаи.

Для вывода точныхъ формулъ воспользуемся методомъ, основаннымъ на теоремѣ о производной работы деформаци.

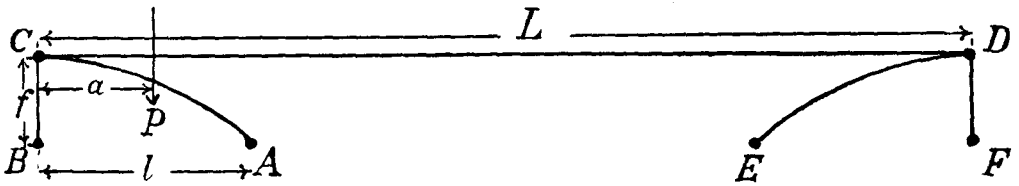
Замѣчаемъ прежде всего, что работа деформаци всей системы подѣйствию какаго нибудь груза, въ предположеніи идеальныхъ шарнирныхъ соединеній, будетъ представлять собою сумму работъ отдѣльныхъ частей системы, т. е. $A = A_{BC} + A_{AC} + A_{CD} + A_{DE} + A_{DF}$ (обозначенія соотвѣтствуютъ схематическому чертежу 3).

Взявъ производныя по опредѣляемой статически неопредѣлимой величинѣ, по теоремѣ о производной работы деформаци, имѣемъ:

$$\frac{dA}{dH} = \frac{dA_{BC}}{dH} + \frac{dA_{AC}}{dH} + \frac{dA_{CD}}{dH} + \frac{dA_{DE}}{dH} + \frac{dA_{DF}}{dH} = 0 \dots (o)$$

такъ какъ работу деформаци опорныхъ сопротивленій ввиду неподвижности точекъ B , A , E , F нужно считать равной нулю.

черт. 3



Принимая за начало координатъ для параболы AC точку C , а для параболы DE точку D и направляя ось y -овъ вертикально внизъ, а ось x -овъ по затяжкѣ, уравненія обѣихъ параболъ будутъ имѣть одно и тоже выраженіе.

$$x^2 = 2py, \text{ гдѣ } 2p = \frac{l^2}{f}, \text{ т. е.}$$

$$x^2 = \frac{l^2}{f}y.$$

Легко по предыдущему опредѣлить опорныя реакціи:

$$(1) \dots \left\{ \begin{array}{l} V_C = P \frac{l-a}{l} - \frac{Hf}{l} \\ V_A = P \frac{a}{l} + \frac{Hf}{l} \end{array} \right. , \text{ а затѣмъ составить выраженія мо-}$$

ментовъ и продольныхъ сжимающихъ силъ для арки AC подъ влияніемъ груза, дѣйствующаго на нее въ разстояніи a отъ опоры C .

Назовемъ уголь, составленный касательно къ оси арки въ сѣченіи, отстоящемъ на разстояніи x отъ лѣвой опоры, съ осью X -овъ — φ .

Тогда:

$$(2) \dots \left\{ \begin{array}{l} M_x = V_C x + H y \text{ -- отъ } \dots \dots \dots x=0 \text{ до } x=a \\ M_x = V_C x + H y - P(x-a) \dots \dots x=a \dots x=l \\ N_x = N \cos \varphi + V_C \sin \varphi \dots \dots \dots x=0 \dots x=a \\ N_x = -N \cos \varphi + V_C \sin \varphi - P \sin \varphi x = a \dots x=l \end{array} \right.$$

или подставляя значеніе V_C :

$$(3) \left\{ \begin{array}{l} M_x = P \frac{l-a}{l} x - H \left(\frac{f}{l} x - y \right) \dots \dots \dots \text{отъ } x=0 \text{ до } x=a \\ M_x = P \frac{l-a}{l} x - H \left(\frac{f}{l} x - y \right) - P(x-a) \dots \dots x=a \dots x=l \\ M_x = -H \left(\cos \varphi + \frac{f}{l} \sin \varphi \right) + P \frac{l-a}{l} \sin \varphi \dots \dots x=0 \dots x=a \\ N_x = -H \left(\cos \varphi + \frac{f}{l} \sin \varphi \right) + P \frac{l-a}{l} \sin \varphi - P \sin \varphi x = a \dots x=l \end{array} \right.$$

Распоръ H по затяжкѣ передается на арку DE и вызываетъ вертикальныя реакціи опоръ:

$$(4) \dots \left\{ \begin{array}{l} V_D = H \frac{f}{l} \\ V_E = -H \frac{f}{l} \end{array} \right.$$

и соотвѣтственно моменты и продольныя силы:

$$(5) \dots \begin{cases} M_x = -H \left(\frac{f}{l} x - y \right) \\ N_x = -H \left(\cos \varphi + \frac{f}{l} \sin \varphi \right) \end{cases}$$

Опредѣлимъ теперь выраженія отдѣльныхъ членовъ уравненія (0).

Въ дальнѣйшемъ будемъ держаться слѣдующихъ обозначеній:

W — площадь попер. сѣченія качающихся опоръ.

W_1 — площадь сѣченія затяжки.

F — площадь сѣченія полуарокъ (въ общемъ случаѣ величина перем.).

Y — моментъ инерціи сѣченія полуарокъ.

r — радіусъ кривизны параболической оси полуарокъ.

Работа деформациі опоры BC будетъ выражаться:

$$A_{BC} = \frac{1}{2} V_C \cdot \Delta f, \text{ гдѣ измѣненіе длины}$$

$$\text{опоры: } \Delta f = \frac{V_C \cdot f}{EW}, \text{ откуда:}$$

$$A_{BC} = \frac{f}{2EW} \left(P \frac{l-a}{l} - H \frac{f}{l} \right)^2, a$$

$$(6) \dots \frac{dA_{BC}}{dH} = -\frac{f^2}{lEW} \left(P \frac{l-a}{l} - H \frac{f}{l} \right) = \frac{f^2}{EWl^2} \left[Hf - P(l-a) \right]$$

Соотвѣтственно для опоры FD :

$$A_{FD} = \frac{1}{2} V_D \cdot \Delta f = \frac{1}{2} V_D^2 \frac{f}{EW} = \frac{H^2 f^3}{2EWl^2},$$

$$\text{такъ какъ } \Delta f = \frac{V_D \cdot f}{EW}$$

$$(7) \dots \frac{dA_{DF}}{dH} = \frac{Hf^3}{EWl^2}$$

Для затяжки CD

$$A_{CD} = \frac{1}{2} H \cdot \Delta Z = \frac{1}{2} H \cdot \frac{HL}{EW}, = \frac{H^2 L}{2 WE}$$

$$(8) \dots \frac{dA_{CD}}{dH} = \frac{HL}{EW},$$

Приступая къ опредѣленію членовъ уравненія (0), соответствующихъ аркамъ AC и DE , мы будемъ пользоваться формулой, выражающей работу деформации кривого бруса при изгибѣ съ принятіемъ во вниманіе конечныхъ размѣровъ радіуса кривизны бруса. (См. напр. „Новые методы строительной механики“ Мюллеръ-Бреслау; переводъ Митинскаго, изд. 1898 г. стр. 247).

Пока не будемъ принимать во вниманіе вліяніе измѣненія температуры, а введемъ ихъ впослѣдствіи въ окончательную формулу.

Работа деформации кривого бруса

$$A_i = \int \frac{R^2 ds}{2 EF} + \int \frac{M^2 ds}{2 EY}, \text{ гдѣ}$$

$R = N - \frac{M}{r}$; подставляя R и дифференцируя по H , имѣемъ:

$$\begin{aligned} \frac{dA_i}{dH} = & \int \frac{N}{EF} \cdot \frac{dN}{dH} \cdot ds - \int \frac{N}{EFr} \cdot \frac{dM}{dH} ds + \\ & - \int \frac{M}{EFr} \frac{dN}{dH} ds + \int \frac{M}{EFr^2} \frac{dM}{dH} ds + \int \frac{M}{EY} \cdot \frac{dM}{dH} ds \dots (9). \end{aligned}$$

Выраженія для M и N мы имѣемъ въ формулахъ (3) и (5); дифференцируя ихъ, получимъ:

$$\text{для арки } AC: \frac{dM}{dH} = - \left(\frac{f}{l} x - y \right)$$

$$\frac{dN}{dH} = - \left(\text{Cos} \varphi + \frac{f}{l} \text{Sin} \varphi \right)$$

$$\text{для арки } DE: \frac{dM}{dH} = - \left(\frac{f}{l} x - y \right)$$

$$\frac{dN}{dH} = - \left(\text{Cos} \varphi + \frac{f}{l} \text{Sin} \varphi \right)$$

Въ примѣненіи къ аркѣ DE формула (9) даетъ, замѣчая что $ds = dx \cdot \frac{1}{\cos\varphi}$:

$$\begin{aligned} \frac{dA_{DE}}{dH} = & \int_0^l \frac{H \left(\cos\varphi + \frac{f}{l} \sin\varphi \right)^2}{EF \cos\varphi} dx - \\ & - \int_0^l \frac{2H \left(\frac{f}{l} x - y \right) \left(\cos\varphi + \frac{f}{l} \sin\varphi \right)}{EFr \cos\varphi} dx + \int_0^l \frac{H \left(\frac{f}{l} x - y \right)^2}{EFr^2 \cos\varphi} dx + \\ & + \int_0^l \frac{H \left(\frac{f}{l} x - y \right)^2}{EY \cos\varphi} dx \dots \dots \dots (10). \end{aligned}$$

Замѣчаемъ, что по свойству параболы:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi &= \frac{2y}{x} = \frac{2fx}{l^2} \\ y &= \frac{f}{l^2} x^2 \end{aligned}$$

Подставляя имѣемъ:

$$\begin{aligned} \frac{dA_{DE}}{dH} = & \frac{H}{E} \int_0^l \frac{\cos\varphi}{F} \left(1 + \frac{2f}{l} \operatorname{tg}\varphi + \frac{f^2}{l^2} \operatorname{tg}^2\varphi \right) dx + \\ & - \frac{2H}{E} \int_0^l \frac{1}{Fr} \left(\frac{f}{l} x - y \right) \left(1 + \frac{f}{l} \operatorname{tg}\varphi \right) dx + \frac{H}{E} \int_0^l \frac{1}{Fr \cos\varphi} \left(\frac{f^2}{l^2} x^2 + \right. \\ & \left. - \frac{2f}{l} xy + y^2 \right) dx + \frac{H}{E} \int_0^l \frac{1}{Y \cos\varphi} \left(\frac{f}{l} x - y \right)^2 dx = \\ = & \frac{H}{E} \int_0^l \frac{\cos\varphi}{F} \left(1 + \frac{4f^2}{l^3} x + \frac{4f^4}{l^6} x^2 \right) dx - \frac{2H}{E} \int_0^l \frac{1}{Fr} \left(\frac{f}{l} x - \frac{2f^3}{l^4} x^2 + \right. \\ & \left. - \frac{f}{l^2} x^2 - \frac{2f^3 x^3}{l^5} \right) dx + \frac{H}{E} \int_0^l \frac{1}{Fr^2 \cos\varphi + \frac{1}{Y \cos\varphi}} \left(\frac{f^2}{l^2} x^2 + \right. \\ & \left. - \frac{2f^2}{l^3} x^3 + \frac{f^2}{l^4} x^4 \right) dx \dots \dots \dots (11). \end{aligned}$$

Ту же формулу (9) примѣняемъ къ аркѣ AC ; при этомъ замѣчаемъ что такъ какъ грузъ P приложенъ въ сѣченіи $x=a$, то добавочные члены въ выраженіяхъ для M_x и N_x : $[-P(x-a)]$ ($-P \sin\varphi$) должны быть введены при интегрированіи лишь между предѣлами a и l .

Такимъ образомъ получимъ:

$$\begin{aligned}
 \frac{dA_{AC}}{dH} = & \int_0^l \frac{[H(\cos\varphi + \frac{f}{l}\sin\varphi) - P\frac{l-a}{l}\sin\varphi](\cos\varphi + \frac{f}{l}\sin\varphi)}{EF\cos\varphi} dx + \\
 & + \int_0^l \frac{P\sin\varphi(\cos\varphi + \frac{f}{l}\sin\varphi)}{EF\cos\varphi} dx - \\
 & - \int_0^l \frac{(\frac{f}{l}x - y)[H(\cos\varphi + \frac{f}{l}\sin\varphi) - P\frac{l-a}{l}\sin\varphi]}{EFr\cos\varphi} dx + \\
 & - \int_a^l \frac{(\frac{f}{l}x - y)P\sin\varphi}{EFr\cos\varphi} dx + \\
 & + \int_0^l \frac{(\cos\varphi + \frac{f}{l}\sin\varphi)[P\frac{l-a}{l}x - H(\frac{f}{l}x - y)]}{EFr\cos\varphi} dx + \\
 & - \int_a^l \frac{(\cos\varphi + \frac{f}{l}\sin\varphi)P(x-a)}{EFr\cos\varphi} dx - \\
 & - \int_0^l \frac{(\frac{f}{l}x - y)[P\frac{l-a}{l}x - H(\frac{f}{l}x - y)]}{EFr^2\cos\varphi} dx + \\
 & + \int_a^l \frac{(\frac{f}{l}x - y)P(x-a)}{EFr^2\cos\varphi} dx - \\
 & - \int_0^l \frac{(\frac{f}{l}x - y)[P\frac{l-a}{l}x - H(\frac{f}{l}x - y)]}{EY\cos\varphi} dx + \\
 & + \int_a^l \frac{(\frac{f}{l}x - y)P(x-a)}{EY\cos\varphi} dx;
 \end{aligned}$$

Раскрывая скобки въ интегралахъ съ предѣлами отъ 0 до l , отдѣляемъ члены, въ которые входитъ множителемъ H .

$$\text{Тогда } \frac{dA_{AC}}{dH} = \int_0^l \frac{H(\cos\varphi + \frac{f}{l}\sin\varphi)^2}{EF\cos\varphi} dx +$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^l \frac{2H\left(\frac{f}{l}x - y\right) \left(\text{Cos}\varphi + \frac{f}{l}\text{Sin}\varphi\right)}{EFr \text{Cos}\varphi} dx + \int_0^l \frac{H\left(\frac{f}{l}x - y\right)^2}{EFr^2 \text{Cos}\varphi} dx + \\
& + \int_0^l \frac{H\left(\frac{f}{l}x - y\right)^2}{EY \text{Cos}\varphi} dx - \int_0^l \frac{P(l-a)}{l} \frac{\text{sin}\varphi \left(\text{Cos}\varphi + \frac{f}{l}\text{Sin}\varphi\right)}{EF \text{Cos}\varphi} dx + \\
& + \int_0^l \frac{P(l-a)}{l} \frac{\text{Sin}\varphi \left(\frac{f}{l}x - y\right)}{EFr \text{Cos}\varphi} dx + \int_0^l \frac{P(l-a)}{l} \frac{x \left(\text{Cos}\varphi + \frac{f}{l}\text{Sin}\varphi\right)}{EFr \text{Cos}\varphi} dx + \\
& - \int_0^l \frac{P(l-a)}{l} \frac{x \left(\frac{f}{l}x - y\right)}{EFr^2 \text{Cos}\varphi} dx - \int_0^l \frac{P(l-a)}{l} \frac{x \left(\frac{f}{l}x - y\right)}{EY \text{Cos}\varphi} dx +
\end{aligned}$$

+ сумма интеграловъ съ предѣлами отъ a до l (12)

Сравнивая первые четыре члена равенства (12) и равенство (10), замѣчаемъ, что они совершенно тождественны. Подставляя соотвѣтственно величину $\frac{dA_{DE}}{dH}$ въ равенство (12) и производя нѣкоторыя преобразованія, получаемъ:

$$\begin{aligned}
\frac{dA_{AC}}{dH} &= \frac{dA_{DE}}{dH} - \frac{P(l-a)}{El} \left\{ \int_0^l \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \text{tg}\varphi \left(1 + \frac{f}{l} \text{tg}\varphi\right) dx + \right. \\
& - \int_0^l \frac{1}{Fr} \text{tg}\varphi \left(\frac{f}{l}x - y\right) dx - \int_0^l \frac{1}{Fr} \left(1 + \frac{f}{l} \text{tg}\varphi\right) dx + \\
& + \int_0^l \frac{x \left(\frac{f}{l}x - y\right)}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} dx + \int_0^l \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} x \left(\frac{f}{l}x - y\right) dx \left. \right\} + \\
& + \frac{P}{E} \left\{ \int_a^l \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \text{tg}\varphi \left(1 + \frac{f}{l} \text{tg}\varphi\right) dx + \right. \\
& - \int_a^l \frac{1}{Fr} \text{tg}\varphi \left(\frac{f}{l}x - y\right) dx - \int_a^l \frac{1}{Fr} x \left(1 + \frac{f}{l} \text{tg}\varphi\right) dx + \\
& + \int_a^l \frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} x \left(\frac{f}{l}x - y\right) dx + \int_a^l \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} x \left(\frac{f}{l}x - y\right) dx + \\
& + \int_a^l \frac{a}{Fr} \left(1 + \frac{f}{l} \text{tg}\varphi\right) dx +
\end{aligned}$$

$$-\int_a^l \frac{a}{Fr^2 \operatorname{Cos}\varphi} \left(\frac{f}{l} x - y \right) dx - \int_a^l \frac{a}{Y \operatorname{Cos}\varphi} \left(\frac{f}{l} x - y \right) dx \dots \dots (13)$$

Подставляя и здѣсь $\operatorname{tg}\varphi = \frac{2fx}{l^2}$ и $y = \frac{fx^2}{l^2}$, преобразовываемъ (13):

$$\begin{aligned} \frac{dA_{AC}}{dH} &= \frac{dA_{DE}}{dH} - \frac{P(l-a)}{El} \left\{ \int_0^l \frac{\operatorname{Cos}\varphi}{F} \left(\frac{2fx}{l^2} + \frac{4f^3x^2}{l^5} \right) dx + \right. \\ &+ \int_0^l \frac{1}{Fr} \left(\frac{2f^2x^2}{l^3} - \frac{2f^2x^3}{l^4} \right) dx - \int_0^l \frac{1}{Fr} \left(x + \frac{2f^2x^2}{l^3} \right) dx + \\ &+ \int_0^l \left(\frac{1}{Fr^2 \operatorname{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \operatorname{Cos}\varphi} \right) \left(\frac{f}{l} x^2 - \frac{fx^3}{l^2} \right) dx \left. + \right. \\ &+ \frac{P}{E} \left\{ \int_a^l \frac{\operatorname{Cos}\varphi}{F} \left(\frac{2fx}{l^2} + \frac{4f^3x^2}{l^5} \right) dx + \int_a^l \frac{1}{Fr} \left(\frac{2f^2x^2}{l^3} - \frac{2f^2x^3}{l^4} \right) dx \right. \\ &- \int_a^l \frac{1}{Fr} \left(x + \frac{2f^2x^2}{l^3} \right) dx + \int_a^l \left(\frac{1}{Fr^2 \operatorname{Cos}\varphi} + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{Y \operatorname{Cos}\varphi} \right) \left(\frac{f}{l} x^2 - \frac{fx^3}{l^2} \right) dx + \int_a^l \frac{a}{Fr} \left(1 + \frac{2f^2x}{l^3} \right) dx + \\ &\left. - \int_a^l \left(\frac{a}{Fr^2 \operatorname{Cos}\varphi} + \frac{a}{Y \operatorname{Cos}\varphi} \right) \left(\frac{f}{l} x - \frac{fx^2}{l^2} \right) dx \right\} \dots \dots (14) \end{aligned}$$

Изъ разсмотрѣнія выражений (11) и (14) видно, что въ подъ-интегральныхъ функціи кромѣ переменнѣй x входятъ еще величины F , Y , $\operatorname{Cos}\varphi$ и r ; изъ этихъ величинъ $\operatorname{Cos}\varphi$ и r могутъ быть выражены черезъ x по свойству параболы. Что касается F и Y , то зависимость ихъ отъ x весьма неопредѣленная; едвали возможно выразить ее алгебраическимъ уравненіемъ, такъ такъ измѣненія ихъ происходятъ часто скачками. При этихъ условіяхъ точное вычисленіе опредѣленныхъ интеграловъ выражений (11) и (14) становится невозможнымъ въ общемъ видѣ.

Разсмотримъ сначала простѣйшій случай, когда поперечное сѣченіе арки постоянно или измѣняется настолько мало, что возможно безъ значительной ошибки для F и Y принять нѣкоторыя среднія значенія. Въ этомъ случаѣ обратимъ вниманіе на то, что по условіямъ конструкціи, боковыя арки всегда будутъ очень пологія, такъ что $\operatorname{Cos}\varphi$ и r будутъ измѣняться по длинѣ арки очень незначительно.

Напримѣръ, въ парижскомъ мостѣ пролетъ $l = 22,5^m$, а стрѣлка параболы $f = 5^m$; значить уголъ φ измѣняется отъ 0° до $\arctg \frac{2,5}{22,5} = \infty 24^\circ$, а $\text{Cos} \varphi$ отъ 1 до 0,914. Измѣненіе r будетъ болѣе замѣтно, но ввиду того, что члены, въ которые онъ входитъ, имѣютъ сравнительно небольшую величину, вполне возможно принять и $\text{Cos} \varphi$ и r постоянными по длинѣ арки, выбравъ для нихъ нѣкоторыя среднія величины. Нужно еще замѣтить, что въ Парижскомъ мостѣ боковыя арки взяты очень подъемистыми, что врядъ ли оправдывается необходимостью.

Принявъ указанные предположенія, т. е. считая F , Y , $\text{Cos} \varphi$ и r за постоянныя, выносимъ ихъ изъ подъ знаковъ интеграловъ; тогда остающіяся цѣлыя алгебраическія функціи x легко интегрируются.

Изъ выраженія (11) получаемъ:

$$\begin{aligned} \frac{dADE}{dH} &= \frac{H \text{Cos} \varphi}{EF} \int_0^l \left(1 + \frac{4f^2}{l^3} x + \frac{4f^4}{l^6} x^2 \right) dx - \frac{2H}{EFr} \int_0^l \left(\frac{f}{l} x + \right. \\ &+ \left. \frac{2f^3}{l^4} x^2 - \frac{f}{l^2} x^2 - \frac{2f^3}{l^5} x^3 \right) dx + \left(\frac{H}{EFr^2 \text{Cos} \varphi} + \frac{H}{EY \text{Cos} \varphi} \right) \int_0^l \left(\frac{f^2}{l^3} x^2 + \right. \\ &- \left. \frac{2f^2}{l^3} x^3 + \frac{f^2}{l^4} x^4 \right) dx = \frac{H \text{Cos} \varphi}{EF} \left| x + \frac{2f^2}{l^3} x^2 + \frac{4f^4}{3l^6} x^3 \right|_0^l + \\ &- \frac{2H}{EFr} \left| \frac{f}{2l} x^2 + \frac{2f^3}{3l^4} x^3 - \frac{f}{3l^2} x^3 - \frac{f^3}{2l^5} x^4 \right|_0^l + \\ &+ \left(\frac{H}{EFr^2 \text{Cos} \varphi} + \frac{H}{EY \text{Cos} \varphi} \right) \left| \frac{f^2}{3l^3} x^3 + \right. \\ &- \left. \frac{f^2}{2l^3} x^4 + \frac{f^2}{5l^4} x^5 \right|_0^l = \frac{H \text{Cos} \varphi}{EF} \left(l + \frac{2f^2}{l} + \frac{4f^4}{3l^3} \right) - \frac{2H}{EFr} \left(2 + \right. \\ &+ \left. \frac{2f^3}{3l} - \frac{fl}{3} - \frac{f^3}{2l} \right) + \left(\frac{H}{EFr^2 \text{Cos} \varphi} + \frac{H}{EY \text{Cos} \varphi} \right) \left(\frac{f^2 l}{3} - \frac{f^2 l}{2} + \frac{f^2 l}{5} \right) \end{aligned}$$

Приводя подобные члены, получимъ окончательно:

$$\begin{aligned} \frac{dADE}{dH} &= \frac{H}{E} \left\{ \frac{\text{Cos} \varphi}{F} \left(l + \frac{2f^2}{l} + \frac{4f^4}{3l^3} \right) - \frac{2}{Fr} \left(\frac{fl}{6} + \frac{f^3}{6l} \right) + \right. \\ &+ \left. \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos} \varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos} \varphi} \right) \frac{f^2 l}{30} \right\} \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

Подобнымъ же образомъ изъ (14) :

$$\begin{aligned}
 \frac{dA_{AC}}{dH} &= \frac{dA_{DE}}{dH} - \frac{P(l-a)}{El} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left| \frac{fx^2}{l^2} + \frac{4f^3x^3}{l^5} \right|_0^l + \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{Fr} \left| \frac{2f^2x^3}{3l^3} - \frac{f^2x^4}{2l^4} \right|_0^l - \frac{1}{Fr} \left| \frac{x^2}{2} + \frac{2f^2x^3}{3l^3} \right|_0^l + \right. \\
 &\quad \left. + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \left| \frac{fx^3}{3l} - \frac{fx^4}{4l^2} \right|_0^l \right) + \frac{P}{E} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left| \frac{fx^2}{l^2} + \frac{4f^3x^3}{l^5} \right|_a^l + \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{Fr} \left| \frac{2f^2x^3}{3l^3} - \frac{f^2x^4}{2l^4} \right|_a^l - \frac{1}{Fr} \left| \frac{x^2}{2} + \frac{2f^2x^3}{3l^3} \right|_a^l + \right. \\
 &\quad \left. + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \left| \frac{fx^3}{3l} - \frac{fx^4}{4l^2} \right|_a^l + \frac{a}{Fr} \left| x + \frac{f^2x^2}{l^3} \right|_a^l + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{a}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} - \frac{a}{Y \text{Cos}\varphi} \right\} \left| \frac{f}{2l} x^2 - \frac{fx^3}{3l^2} \right|_a^l \Bigg\} = \\
 &= \frac{dA_{DE}}{dH} - \frac{P(l-a)}{El} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left(f + \frac{4f^3}{l^2} \right) - \frac{1}{Fr} \left(\frac{5}{6} f^2 + \frac{f^2}{2} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \frac{fl^2}{12} \right\} + \frac{P}{E} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left(f + \frac{4f^3}{l^2} - \frac{fa^2}{l^2} - \frac{4f^3a^3}{l^2} \right) + \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{Fr} \left(\frac{5}{6} f^2 + \frac{l^2}{2} - \frac{a^2}{2} - \frac{2f^2a^3}{3l^3} - \frac{2f^2a^3}{3l^3} + \frac{f^2a^4}{2l^4} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \left(\frac{fl^2}{12} - \frac{fa^3}{3l} + \frac{fa^4}{4l^2} \right) + \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{Fr} \left(al + \frac{af^2}{l} - a^2 - \frac{f^2a^3}{l^3} \right) + \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \left(\frac{fla}{6} - \frac{fa^3}{2l} + \frac{fa^4}{3l^2} \right) \right\}.
 \end{aligned}$$

Преобразовывая, имѣемъ:

$$\begin{aligned}
 \frac{dA_{AC}}{dH} &= \frac{dA_{DE}}{dH} + \frac{P}{E} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{Fl^5} af(l-a)(l^3 + 4f^2l + 4f^2a) + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{6Fr} a(l-a)(3l^4 + f^2l^2 + f^2al + 3f^2a^2) + \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{12l^2} \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) af(l-a)(l^2 + al - a^2) \right\} \dots \dots \dots (16)
 \end{aligned}$$

Подставимъ теперь полученные нами результаты изъ формулъ: (6), (7), (8), (15), (16) въ уравненіе (0):

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dH} = & \frac{f^2}{EWl^2} \left[Hf - P(l-a) \right] + \frac{HL}{EW_1} + \frac{Hf^3}{EWl^2} + \\ & + \frac{2H}{E} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left(l + \frac{2f}{l} + \frac{4f^4}{3l^3} \right) - \frac{2}{Fr} \left(\frac{fl}{6} + \frac{f^3}{6l} \right) + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \right. \right. \\ & + \left. \left. \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \frac{f^2 l}{30} \right\} + \frac{P}{E} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{Fl^5} af(l-a)(l^3 + 4f^2 l + 4f^2 a) + \right. \\ & + \left. \frac{1}{6 fr^2 l^4} a(l-a)(3l^4 + f^2 l^2 + f^2 al + 3f^2 a^2) + \right. \\ & - \left. \frac{1}{12 l^2} \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) af(l-a)(l^2 + al - a^2) \right\} = 0 \end{aligned}$$

Умножая все уравненіе на E и отдѣляя члены съ H въ одну часть, съ P въ другую, получаемъ равенство, изъ котораго опредѣляется распоръ H :

$$\begin{aligned} H \left\{ \frac{2f^3}{Wl^2} + \frac{L}{W_1} + \frac{2 \text{Cos}\varphi}{3 Fl^3} (3l^4 + 6f^2 l^2 + 4f^4) + \right. \\ - \left. \frac{2f}{3 Fr l} (l^2 + f^2) + \frac{f^2 l}{15} \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \right\} = P \left\{ \frac{l-a}{Wl^2} f^2 + \right. \\ - \left. \frac{\text{Cos}\varphi}{Fl^5} af(l-a)(l^3 + 4f^2 l + 4f^2 a) + \right. \\ - \left. \frac{a}{6 Fr l^4} (l-a)(3l^4 + f^2 l^2 + f^2 al + 3f^2 a^2) + \right. \\ + \left. \frac{1}{12 l^2} \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) af(l-a)(l^2 + al - a^2) \right\} \dots (17) \end{aligned}$$

Если примѣнить къ кривому брусу законы деформации прямыхъ брусевъ, какъ это дѣлаетъ въ своемъ расчетѣ Résal, т. е., предположивъ, что размѣры сѣченія чрезвычайно малы сравнительно съ радіусомъ кривизны, положить въ формулѣ (17) $r = \infty$, то она обращается въ:

$$H \left\{ \frac{2f^3}{Wl^2} + \frac{L}{W_1} + \frac{2 \operatorname{Cos}\varphi}{3 Fl^3} (3l^4 + 6f^2l^2 + 4f^4) + \right. \\ \left. + \frac{f^2l}{15 Y \operatorname{Cos}\varphi} \right\} = P \left\{ \frac{l-a}{Wl^2} f^2 + \right. \\ \left. - \frac{\operatorname{Cos}\varphi}{Fl^5} af(l-a)(l^3 + 4f^2l + 4f^2a) + \frac{af(l-a)(l^2 + al - a^2)}{12 Yl^2 \operatorname{Cos}\varphi} \right\} \dots (18)$$

Если въ этомъ уравненіи отбросить члены, выражающіе вліяніе затяжки, качающихся опоръ и другой арки, а также пренебречь непосредственнымъ вліяніемъ продольной силы на деформацию арки, то формула (18) даетъ:

$$\frac{Hf^2l}{30 Y \operatorname{Cos}\varphi} = \frac{P}{12 l^2 Y \operatorname{Cos}\varphi} af(l-a)(l^2 + al - a^2), \text{ откуда} \\ H = \frac{5 Pa (l-a)(l^2 + al - a^2)}{2 fl^3} \text{ — формула, выведенная нами въ} \\ \text{началѣ статьи.}$$

Для общаго случая, когда сѣченіе арки рѣзко измѣняется по длинѣ ея, точное вычисленіе опредѣленныхъ интеграловъ выражений (11) и (14), какъ уже упомянуто, невозможно. Въ этомъ случаѣ слѣдуетъ вычислять эти интегралы приближенно. Слѣдующій способъ даетъ возможность произвести вычисленіе съ любой желаемой точностью. Разбиваемъ арку на n равныхъ частей такимъ образомъ, чтобы въ предѣлахъ каждой изъ нихъ сѣченіе арки не мѣнялось значительно. Въ большинствѣ случаевъ точками дѣленія могутъ послужить мѣста прикрѣпленія стоекъ передающихъ нагрузку. Пусть имѣется участокъ арки отъ $x = (m-1)b$ до $x = mb$, гдѣ $b = \frac{l}{n}$. Проинтегрируемъ въ этихъ предѣлахъ вышеупомянутые интегралы; предположимъ при этомъ, что грузъ P приложенъ въ разстояніи отъ лѣвой опоры $a = kb = \frac{kl}{n}$ и пусть $m \geq k$.

Величины $\operatorname{Cos}\varphi$ и r на основаніи сказаннаго выше объ ихъ измѣненіи, очевидно, вполне возможно считать постоянными.

Интегрируемъ сперва выраженіе (11)

$$\begin{aligned}
 & \left| \frac{d ADE}{d H} \right|_{(m-1)b}^{mb} = \frac{H}{E} \left\{ \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \int_{(m-1)b}^{mb} \left(1 + \frac{4f^2}{l^3} x + \frac{4f^4}{l^6} x^2 \right) dx + \right. \\
 & \quad \left. - \frac{2}{Fr} \int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l} x + \frac{2f^3}{l^4} x^2 - \frac{f}{l^2} x^2 - \frac{2f^3}{l^5} x^3 \right) dx + \right. \\
 & \quad \left. + \left(\frac{1}{Er^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l^2} x^2 - \frac{2f^2}{l^3} x^3 + \frac{f^2}{l^4} x^4 \right) dx \dots (19) \right.
 \end{aligned}$$

Вычислимъ отдѣльно опредѣленные интегралы, принимая во вниманіе:

$$\begin{aligned}
 & \left| x \right|_{(m-1)b}^{mb} = mb - (m-1)b = b \\
 & \left| x^2 \right|_{(m-1)b}^{mb} = m^2 b^2 - (m-1)^2 b^2 = b^2 (2m-1) = b^2 m_1 \\
 & \left| x^3 \right|_{(m-1)b}^{mb} = m^3 b^3 - (m-1)^3 b^3 = b^3 (3m^2 - 3m + 1) = b^3 m_2 \\
 & \left| x^4 \right|_{(m-1)b}^{mb} = m^4 b^4 - (m-1)^4 b^4 = b^4 (2m-1)(2m^2 - 2m + 1) = b^4 m_3 \\
 & \left| x^5 \right|_{(m-1)b}^{mb} = m^5 b^5 - (m-1)^5 b^5 = b^5 (5m^4 - 10m^3 + 10m^2 - 5m + 1) = b^5 m_4
 \end{aligned}$$

Принимая указанная обозначенія получимъ:

$$\begin{aligned}
 \int_{(m-1)b}^{mb} \left(1 + \frac{4f^2}{l^3} x^2 + \frac{4f^4}{l^6} x^2 \right) dx &= \left| x + \frac{2f^2}{l^3} x^2 - \frac{4f^4}{3l^6} x^3 \right|_{(m-1)b}^{mb} = \\
 &= \frac{l}{n} + \frac{2f^2}{n^2 l^2} m_1 + \frac{4f^4}{3n^3 l^3} m_2
 \end{aligned}$$

$$\int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l} x + \frac{2f^3}{l^4} x^2 - \frac{f}{l^2} x^2 - \frac{2f^3}{l^5} x^3 \right) dx = \left| \frac{f}{2l} x^2 + \frac{2f^3}{3l^4} x^3 - \frac{f}{3l^2} x^3 + \right.$$

$$-\left. \frac{f^3 x^4}{2l^5} \right|_{(m-1)b}^{mb} = \frac{lf}{2n^2} m_1 + \left(\frac{2f^3}{3n^3 l} - \frac{fl}{3n^3} \right) m_2 - \frac{f^3}{2n^4 l} m_3$$

$$\int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l^2} x^2 - \frac{2f^2 x^3}{l^3} + \frac{f^2}{l^4} x^4 \right) dx = \left. \frac{f^2}{3l^2} x^3 - \frac{f^2 x^4}{2l^3} + \frac{f^2}{5l^4} x^5 \right|_{(m-1)b}^{mb} =$$

$$= \frac{f^2 l}{3n^3} m_2 - \frac{f^2 l}{2n^4} m_3 + \frac{f^2 l}{5n^5} m_4$$

Подставляя эти результаты въ выраженіе (19) и суммируя по всей длинѣ арки, получимъ:

$$\frac{dADE}{dH} = \frac{H}{E} \sum_{m=1}^{m=n} \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left\{ \frac{l}{n} + \frac{2f^2}{n^2 l} m_1 + \frac{4f^4}{3n^3 l^3} m_2 \right\} +$$

$$- \frac{2}{Fr} \left\{ \frac{fl}{2n^2} m_1 + \left(\frac{2f^3}{3n^3 l} - \frac{3n^3}{fl} \right) m_2 - \frac{f^3}{2n^4 l} m_3 + \right.$$

$$\left. + \left\{ \frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right\} \left\{ \frac{3n^3}{f^2 l} m_2 - \frac{f^2 l}{2n^4} m_3 + \frac{f^2 l}{5n^5} m_4 \right\} \right\} \dots (20)$$

Интегрируемъ выраженіе (14), переписывая его предварительно въ слѣдующемъ видѣ:

$$\left. \frac{dAAC}{dH} \right|_{(m-1)b}^{mb} = \left. \frac{dADE}{dH} \right|_{(m-1)b}^{mb} + \frac{P(l-a)}{EL} M + \frac{P}{E} N$$

$$\text{Здѣсь } M = \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{2fx}{l^2} + \frac{4f^3 x^2}{l^5} \right) dx - \frac{1}{Fr} \int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{4f^2 x^2}{l^3} - \frac{2f^2 x^3}{l^4} + x \right) dx +$$

$$+ \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l} x^2 - \frac{fx^3}{l^2} \right) dx$$

$$N = M - \frac{a}{Fr} \int_{(m-1)b}^{mb} \left(1 + \frac{2f^2 x}{l^3} \right) dx - \left(\frac{a}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{a}{\text{Cos}\varphi} \right) \int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l} x - \frac{fx^2}{l^2} \right) dx$$

При этомъ членъ $\frac{P}{E}$. N входитъ лишь въ предѣлахъ отъ a до l , иначе говоря при значеніяхъ m отъ k до n .

Вычисляемъ интегралы, пользуясь прежними сокращенными обозначеніями:

$$\int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{2fx}{l^3} + \frac{4f^3x^2}{l^5} \right) dx = \left| \frac{fx^2}{2} + \frac{4f^3x^3}{3l^5} \right|_{(m-1)b}^{mb} =$$

$$= \frac{f}{n^2} m_1 + \frac{4f^3}{3n^3 l^2} m_2$$

$$\int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{4f^2x^2}{l^3} - \frac{2f^2x^3}{l^4} + x \right) dx = \left| \frac{4f^2x^3}{3l^3} - \frac{f^2x^4}{2l^4} + \frac{x^2}{2} \right|_{(m-1)b}^{mb} =$$

$$= \frac{4f^2}{3n^3} m_2 - \frac{f^2}{2n^4} m_3 + \frac{l^2}{2n^2} m_1$$

$$\int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l} x^2 - \frac{fx^3}{l^2} \right) dx = \left| \frac{fx^3}{3l^2} - \frac{fx^4}{4l^2} \right|_{(m-1)b}^{mb} =$$

$$= \frac{fl}{3n^3} m_2 - \frac{fl^2}{4n^4} m_3$$

$$\int_{(m-1)b}^{mb} \left(1 + \frac{2f^2x}{l^3} \right) dx = \left| x^2 + \frac{f^2x^2}{l^3} \right|_{(m-1)b}^{mb} = \frac{l}{n} + \frac{f^2}{n^2 l} m_1$$

$$\int_{(m-1)b}^{mb} \left(\frac{f}{l} x - \frac{fx^2}{l^2} \right) dx = \left| \frac{fx^2}{2l} - \frac{fx^3}{3l^2} \right|_{(m-1)b}^{mb} =$$

$$= \frac{fl}{2n^2} m_1 - \frac{fl}{3n^3} m_2$$

Подставляя получаемъ:

$$M = \frac{\text{Cos} \varphi}{F} \left\{ \frac{f}{n^2} m_1 + \frac{4f^3}{3n^3 l^2} m_2 \right\} - \frac{1}{Fr} \left\{ \frac{4f^2}{3n^3} m_2 + \right.$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{f^2}{2n^4}m_3 + \frac{l^2}{2n^2}m_1 \Big| + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \left\{ \frac{fl^2}{3n^3}m_2 - \frac{4fl^2}{3n^4}m_3 \right\} \\
N = & M + \frac{a}{Fr} \left\{ \frac{l}{n} + \frac{f^2}{n^2 l} m_1 \right\} + \\
& - \left(\frac{a}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{a}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \left\{ \frac{fl}{2n^2}m_1 - \frac{fl}{3n^3}m_2 \right\}
\end{aligned}$$

Суммируя выражения (20) въ предѣлахъ отъ 0 до l и замѣчая что $a = \frac{kl}{n}$, соединяемъ члены, въ которые входитъ множителемъ $\frac{Pa}{E}$ и для этой части формулы беремъ предѣлы суммированія отъ $m=k$ до $m=n$. Тогда получаемъ:

$$\begin{aligned}
\frac{dA_{AC}}{dH} = & \frac{dA_{DE}}{dH} - \frac{P}{E} \sum_{m=1}^{m=k} \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left\{ \frac{f}{n^2}m_1 + \frac{4f^3}{3n^3 l^2}m_2 \right\} + \\
& - \frac{1}{Fr} \left\{ \frac{4f^2}{3n^3}m_2 - \frac{f^2}{2n^4}m_3 + \frac{l^2}{2n^2}m_1 \right\} + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \left\{ \frac{fl^2}{3n^3}m_2 + \right. \\
& \left. - \frac{4fl^2}{3n^4}m_3 \right\} + \frac{Pk}{En} \sum_{m=1}^{m=n} \frac{\text{Cos}\varphi}{F} \left\{ \frac{f}{n^2}m_1 + \frac{4f^3}{3n^3 l^2}m_2 \right\} + \\
& - \frac{1}{Fr} \left\{ \frac{4f^2}{3n^3}m_2 - \frac{f^2}{2n^4}m_3 + \frac{l^2}{2n^2}m_1 \right\} + \left(\frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right) \left\{ \frac{fl^2}{3n^3}m_2 + \right. \\
& \left. - \frac{4fl^2}{3n^4}m_3 \right\} + \frac{Pkl}{En} \sum_{m=k}^{m=n} \frac{1}{Fr} \left\{ \frac{l}{n} + \frac{f^2}{n^2 l} m_1 \right\} + \\
& - \left\{ \frac{1}{Fr^2 \text{Cos}\varphi} + \frac{1}{Y \text{Cos}\varphi} \right\} \left\{ \frac{fl}{2n^2}m_1 - \frac{fl}{3n^3}m_2 \right\} \dots (21)
\end{aligned}$$

Такимъ образомъ снова получены для общаго случая выражения, необходимыя для подстановки въ уравненіе (0). Сложность этихъ формулъ лишь кажущаяся, такъ какъ большинство коэффициентовъ повторяются; вычисленія же отнюдь не будутъ сложнѣе, чѣмъ для обыкновенной сквозной арки съ среднимъ количествомъ стержней.

Остается теперь ввести въ выведенныя нами формулы вліяніе температуры. Опредѣлимъ послѣдовательно соотвѣтствующіе каждой части системы добавочные члены въ уравненіи производной работы деформаціи.

1) Для опоры BC работа деформаціи, соотвѣтствующая удлинению при укороченіи ея или измѣненіи температуры на t_0^0

будетъ $A'_{BC} = V_C \cdot \Delta f$, гдѣ $\Delta f = \alpha t_0 f_1, a$

$$V_C = \frac{P(l-a)}{l} - \frac{Hf}{l}$$

$$A'_{BC} = \left[\frac{P(l-a)}{l} - \frac{Hf}{l} \right] \alpha t_0 f$$

Дифференцируемъ по H , тогда:

$$\frac{dA'_{BC}}{dH} = - \frac{\alpha t_0 f^2}{l}$$

Для опоры DE имѣемъ соотвѣтственно:

$$A'_{DE} = V_D \cdot \Delta f; \quad \Delta f = \alpha t_0 f$$

$$A'_{DE} = H \frac{\alpha f^2 t_0}{l}; \quad V_D = H \frac{f}{l}$$

$$\frac{dA'_{DE}}{dH} = \frac{\alpha f^2 t_0}{l}$$

Для затяжки CD

$$A'_{CD} = H \cdot \Delta L, \text{ но } \Delta L = \alpha t_0 L$$

$$A'_{CD} = \alpha H t_0 L \text{ и}$$

$$\frac{dA'_{CD}}{dH} = \alpha t_0 L$$

Для вычисленія работы деформаціи арокъ DE и AC пользуемся формулой:

$\frac{dA_t}{dH} = \int \alpha t_0 \frac{dN}{dH} ds$ (см. напримѣръ упомянутое сочиненіе Мюллеръ-Бреслау стр. 247).

Для арки AC имѣемъ

$$N_x = - \left[H \left(\cos\varphi + \frac{f}{l} \sin\varphi \right) \right] - \frac{P(l-a)}{l} \sin\varphi \text{ отъ } x = 0 \text{ до } x = a$$

$$N_x = - \left[H \left(\cos\varphi + \frac{f}{l} \sin\varphi \right) \right] - \frac{P(l-a)}{l} \sin\varphi - P \sin\varphi \text{ отъ } x = a \text{ до } x = l$$

$$\frac{dN_x}{dH} = - \left(\cos\varphi + \frac{f}{l} \sin\varphi \right)$$

$$\frac{dA_{AC}}{dH} = - \int \alpha t_0 \left(\cos\varphi + \frac{f}{l} \sin\varphi \right) ds.$$

Подставляя сюда: $ds \cos\varphi = dx$

$$ds \sin\varphi = dy$$

$$\begin{aligned} \frac{dA'_{AC}}{dH} &= - \int_0^l \alpha t_0 dx - \int_0^f \alpha t_0 \frac{f}{l} dy = - \alpha t_0 l - \frac{\alpha t_0 f^2}{l} = \\ &= - \alpha t_0 \left(\frac{l^2 + f^2}{l} \right) \end{aligned}$$

Примѣняя ту же формулу къ аркѣ DE :

$$\frac{dN_x}{dH} = - \left(\cos\varphi + \frac{f}{l} \sin\varphi \right) \text{ и}$$

$$\frac{dA'_{DE}}{dH} = - \alpha t_0 \left(\frac{f^2 + l^2}{l} \right)$$

Складывая всѣ полученныя выраженія опредѣлимъ величину добавочнаго члена въ уравненіи (0):

$$\frac{dA'}{dH} = - \frac{\alpha f^2 t_0}{l} + \frac{\alpha f^2 t_0}{l} + \alpha t_0 L - 2 \left(\frac{f^2 + l^2}{l} \right) \alpha t_0$$

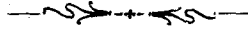
Приводя подобные члены:

$$\frac{dA'}{dH} = \alpha t_0 \left[L - \frac{2(f^2 + l^2)}{l} \right] \dots\dots (22)$$

Разсматривая это выраженіе, легко видѣть, что выраженіе въ скобкахъ величина всегда положительная. Дѣйствительно величина

$\frac{f^2 + l^2}{l}$ незначительно отличается от l , а между тѣмъ полный пролетъ моста всегда значительно больше удвоеннаго пролета боковой арки.

Такъ какъ этотъ добавочный членъ входитъ въ числителя дроби, выражающей H , то ясно, что пониженіе температуры вліяетъ въ сторону увеличенія распора, а повышеніе въ сторону уменьшенія, изъ чего слѣдуетъ, что величину затяжки слѣдуетъ устанавливать при болѣе низкихъ температурахъ, чѣмъ средняя для даннаго мѣста.



ОТЧЕТЪ

О ДѢЯТЕЛЬНОСТИ И СОСТОЯНІИ

ТОМСКАГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА

ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II

за 1902 годъ.



ТОМСКЪ.

Акцидентная типографія В. М. Перельманъ.

1903.

Печатается по распоряжению Директора Томского
Технологического Института Императора Николая II.

ОТЧЕТЪ

о дѣятельности и состояніи Томскаго
Технологическаго Института Императора Николая II
за 1902 годъ.

Личный составъ.

Къ 1-му января 1902 года Институтъ былъ въ составѣ двухъ курсовъ механическаго и химическаго отдѣленій и одного курса горнаго отдѣленія.

Съ 1-го сентября отчетнаго года механическое и химическое отдѣленія были въ составѣ 3 курсовъ, горное отдѣленіе—2 курсовъ и кромѣ того съ 1-го же сентября открытъ 1 курсъ инженерно-строительнаго отдѣленія.

Къ 1-му января 1902 года личный составъ преподавательскаго и служащаго персонала Института былъ слѣдующій.

Директоръ	1.
Преподаватель богословія	1.
Ординарныхъ профессоровъ	4.
И. д. ординарнаго профессора	1.
Экстраординарныхъ профессоровъ	1.
И. д. экстраординарнаго профессора	2.
Штатныхъ преподавателей	8.
Преподавателей по найму	9.
Инспекторъ студентовъ	1.
Помощникъ инспектора	1.
Лаборантовъ	4.
Библіотекаръ	1.
Дѣлопроизводитель	1.
Помощникъ дѣлопроизводителя	1.
Бухгалтеръ	1.
Помощникъ бухгалтера	1.
Врачъ	1.
Смотритель зданій	1.

Въ теченіе отчетнаго года въ личномъ составѣ произошли слѣдующія измѣненія:

Штатные преподаватели **А. Э. Сабекъ** и **И. И. Рончевскій** назначены и. д. экстраординарнаго профессора, первый по кафедрѣ химической технологіи минеральныхъ веществъ, а второй по кафедрѣ металлургіи, съ 1-го января 1902 года.

Инженеръ-технологъ **А. А. Потебня** назначенъ и. д. экстраординарнаго профессора по кафедрѣ электротехники, съ 1-го іюля 1902 года.

Инженеръ-технологъ **Н. И. Карташовъ** назначенъ и. д. экстраординарнаго профессора по кафедрѣ прикладной механики, съ 1-го августа 1902 года.

Инженеръ-механикъ **Г. Л. Тираспольскій** назначенъ и. д. экстраординарнаго профессора по кафедрѣ прикладной механики, съ 1-го сентября 1902 года.

Приватъ-доцентъ ИМПЕРАТОРСКАГО Казанскаго Университета, магистръ минералогіи и геогнозіи **М. Э. Янишевскій** назначенъ экстраординарнымъ профессоромъ по кафедрѣ палеонтологіи, съ 1-го іюля 1902 года.

Горный инженеръ **Л. Л. Тове** назначенъ и. д. экстраординарнаго профессора по кафедрѣ горнаго искусства, съ 1-го іюля 1902 года.

Инженеръ-механикъ **А. Э. Кржижановскій** назначенъ штатнымъ преподавателемъ гидравлики, съ 1-го сентября 1902 года.

Инженеръ-технологъ **С. П. Гомелля** назначенъ штатнымъ преподавателемъ черченія и руководителемъ практическихъ упражненій по математикѣ и механикѣ, съ 1-го іюля 1902 г.

Инженеръ путей сообщенія **Н. В. Некрасовъ** назначенъ штатнымъ преподавателемъ черченія и руководителемъ практическихъ упражненій по математикѣ и механикѣ, съ 1-го августа 1902 года.

Инженеръ-технологъ **В. Н. Пинегинъ** назначенъ штатнымъ преподавателемъ черченія и руководителемъ практическихъ занятій по математикѣ и механикѣ, съ 1-го сентября 1902 г.

Инженеръ-механикъ **Н. Θ. Бундюковъ** назначенъ штатнымъ преподавателемъ черченія, съ 1-го декабря 1902 года.

Ординарный профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета докторъ ботаники **В. В. Сапожниковъ** приглашенъ преподавателемъ ботаники съ 1-го сентября 1902 года.

И. д. экстраординарнаго профессора ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета магистръ-физики **Θ. Я. Капустинъ** приглашенъ преподавателемъ термодинамики, съ 1-го октября 1902 г.

Гражданскій инженеръ **К. А. Заранекъ** приглашенъ препода-

давателемъ архитектурнаго черченія и рисованія съ 1-го октября 1902 года.

Художникъ-архитекторъ В. Ф. Оржешко приглашенъ преподавателемъ архитектурнаго черченія и рисованія съ 15-го октября 1902 года.

Инженеры-строители С. Ф. Марцинкевичъ и Г. И. Поповъ приглашены въ помощь преподавателю геодезїи для веденія практическихъ занятій со студентами 1-го курса по этому предмету.

Младшій лаборантъ, изъ платы по найму, А. В. Емельяновъ назначенъ штатнымъ старшимъ лаборантомъ, при каѳедрѣ минералогїи, съ 1-го августа 1902 года.

Младшій лаборантъ, изъ платы по найму, В. С. Титовъ назначенъ штатнымъ старшимъ лаборантомъ при каѳедрѣ физики, съ 1-го августа 1902 года.

Инженеръ-технологъ С. В. Лебедевъ назначенъ старшимъ лаборантомъ при каѳедрѣ химической технологїи штатныхъ веществъ, съ 1-го августа 1902 года.

Окончившій курсъ университета С. М. Филатовъ назначенъ старшимъ лаборантомъ при каѳедрѣ неорганической химїи, съ 1-го сентября 1902 года.

Провизоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета А. А. Любарскій назначенъ младшимъ лаборантомъ при каѳедрѣ неорганической химїи, съ 1-го октября 1902 года.

Старшій лаборантъ при каѳедрѣ неорганической химїи инженеръ-технологъ В. Н. Бибиновъ уволенъ отъ службы согласно прошенїю съ 17-го октября 1902 года.

Старшій лаборантъ при каѳедрѣ неорганической химїи окончившій курсъ университета Д. Д. Гарднеръ, перемѣщенъ на должность лаборанта С.-Петербургскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ I, съ 1-го сентября 1902 года.

Старшій лаборантъ при каѳедрѣ физики, окончившій курсъ университета Ф. М. Осендовскій уволенъ отъ службы согласно прошенїю съ 1-го мая 1902 года.

Младшій лаборантъ при каѳедрѣ неорганической химїи инженеръ-технологъ А. А. Шумиловъ уволенъ отъ службы согласно прошенїю, съ 1-го сентября 1902 года.

Такимъ образомъ къ 1-му января 1903 года личный составъ преподавательскаго и служебнаго персонала слѣдующій:

Директоръ Института кандидатъ университета, инженеръ-технологъ статскій совѣтникъ Ефимъ Лукьяновичъ Зубашевъ; онъ же профессоръ химической технологїи.

Деканъ горнаго отдѣленія и и. д. ординарнаго профессора геологій горный инженеръ надворный совѣтникъ Владиміръ Афанасьевичъ **Обручевъ** (на него же возложено исполненіе обязанностей и декана химическаго отдѣленія).

Деканъ механическаго отдѣленія, ординарный профессоръ по кафедрѣ прикладной механики и машиностроенія, инженеръ-технологъ коллежскій совѣтникъ Иванъ Ивановичъ **Бобарыковъ** (на него же возложено исполненіе обязанностей и декана инженерно-строительнаго отдѣленія).

Преподаватель богословія профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета докторъ церковной исторіи протоіерей Дмитрій Никаноровичъ **Ббликовъ**.

Ординарные профессеры.

Надворный совѣтникъ Николай Матвѣевичъ **Кижнеръ**, докторъ химіи, по кафедрѣ органической химіи.

Статскій совѣтникъ Федоръ Эдуардовичъ **Молинъ**, докторъ чистой математики, по кафедрѣ математики.

Не имѣющій чина Дмитрій Петровичъ **Турбаба**, докторъ химіи, по кафедрѣ неорганической химіи.

Экстраординарные профессеры.

Окончившій курсъ университета, не имѣющій чина, Николай Николаевичъ **Салтыковъ**, магистръ чистой математики, по кафедрѣ математики.

Окончившій курсъ университета магистръ минералогіи и геогнозіи, титулярный совѣтникъ Михаилъ Эрастовичъ **Янишевскій**, по кафедрѣ палеонтологіи.

И. д. экстраординарнаго профессора:

Магистрантъ физики, статскій совѣтникъ Александръ Ивановичъ **Ефимовъ**, по кафедрѣ физики.

Инженеръ-технологъ, титулярный совѣтникъ Николай Ивановичъ **Карташовъ**, по кафедрѣ прикладной механики.

Магистрантъ математики коллежскій совѣтникъ Владиміръ Леонидовичъ **Некрасовъ**, по кафедрѣ математики.

Окончившій курсъ университета, инженеръ-технологъ коллежскій секретарь Александръ Александровичъ **Потебня**, по кафедрѣ электротехники; онъ же секретарь механическаго отдѣленія.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина **Иосифъ Игнатьевичъ Рончевскій**, по кафедрѣ металлургіи, онъ же секретарь горнаго и и. д. секретаря химическаго отдѣленій.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, **Александръ Эдуардовичъ Сабекъ**, по кафедрѣ химической технологіи минеральныхъ веществъ.

Инженеръ-механикъ, не имѣющій чина, **Григорій Львовичъ Тираспольскій**, по кафедрѣ прикладной механики.

Горный инженеръ, коллежскій ассесоръ, **Левъ Лионелевичъ Тове**, по кафедрѣ горнаго искусства (въ командировкѣ).

Преподаватели:

а) штатные.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, **Никаноръ Федоровичъ Бундюковъ** по черченію.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, **Степанъ Прокловичъ Гомелля**, по черченію.

Инженеръ-технологъ статскій совѣтникъ **Валентинъ Николаевичъ Джонсъ** въ командировкѣ для подготовленія къ занятію кафедры химической технологіи органическихъ веществъ.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина **Адрианъ Эразмовичъ Кржижановскій**, черченія и гидравлики.

Инженеръ путей сообщенія, не имѣющій чина, **Николай Виссаріоновичъ Некрасовъ**, по черченію и практическимъ занятіямъ по математикѣ и механикѣ.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, **Василій Николаевичъ Пинегинъ**, по черченію и практическимъ занятіямъ по математикѣ и механикѣ.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, **Владиміръ Александровичъ Сахарновъ**, по черченію и начертательной геометріи.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, **Тихонъ Ивановичъ Тихоновъ**, преподаватель черченія, командированъ за границу для приготовленія къ занятію профессорской кафедры на два года, съ 1-го января 1903 года. (Командировка сокращена по 1-е января 1903 года.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, **Александръ Ивановичъ Угаровъ**, преподаватель черченія; командированъ за границу для приготовленія къ занятію профессорской кафедры на два года, съ 1-го июля 1901 года.

Инженеръ-технологъ, надворный совѣтникъ, **Алексѣй Алексѣевичъ Шутковъ**, по черченію.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, Михаилъ Ильичъ **Южакъ**, преподаватель черченія; командированъ для занятій на машиностроительныхъ заводахъ Россійской Имперіи, на одинъ годъ съ 1-го Сентября 1902 года.

б) изъ платы по найму.

Статскій совѣтникъ Алексѣй Михайловичъ **Зайцевъ**, профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета, преподаватель минералогіи.

Статскій совѣтникъ Федоръ Яковлевичъ **Капустинъ**, профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета, преподаватель механической теории тепла.

Статскій совѣтникъ Василій Васильевичъ **Сапожниковъ**, профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета, преподаватель ботаники.

Инженеръ-технологъ Павелъ Ефимовичъ **Первовъ**, преподаватель прикладной механики.

Архитекторъ Западно-Сибирскаго учебнаго округа, надворный совѣтникъ Фортунатъ Фердинандовичъ **Гуть**, преподаватель архитектурнаго черченія.

Гражданскій инженеръ Константинъ Антоновичъ **Заранекъ**, преподаватель рисованія и архитектурнаго черченія.

Инженеръ путей сообщенія коллежскій совѣтникъ Левъ Николаевичъ **Любимовъ**, преподаватель геодезіи.

Архитекторъ титулярный совѣтникъ Константинъ Константиновичъ **Лыгинъ**, преподаватель рисованія.

Художникъ-архитекторъ Викентій Флорентиновичъ **Орешко**, преподаватель рисованія.

Классный-художникъ Захарій Алексѣевичъ **Роначевскій**, преподаватель рисованія.

Гражданскій инженеръ, коллежскій секретарь Владиміръ Марцелліевичъ **Сухоровскій**, преподаватель рисованія.

Архитекторъ Петръ Федоровичъ **Федоровскій**, преподаватель рисованія.

Старшіе лаборанты.

Окончившій курсъ университета, не имѣющій чина, Дмитрій Викторовичъ **Алексѣевъ**, при каѳедрѣ органической химіи.

Окончившій курсъ университета коллежскій секретарь Алексѣй Васильевичъ **Емельяновъ**, при каѳедрѣ минералогіи.

Инженеръ-технологъ, не имѣющій чина, Сергѣй Васильевичъ **Лебедевъ** при каѳедрѣ химической технологіи питательныхъ веществъ.

Окончившій курсъ университета, не имѣющій чина, Веніаминъ Семеновичъ **Титовъ**, при кафедрѣ физики.

Окончившій курсъ университета, не имѣющій чина, Сергѣй Михайловичъ **Филатовъ** при кафедрѣ неорганической химіи.

Младшіе лаборанты:

Окончившій курсъ университета, не имѣющій чина, Александръ Авксентьевичъ **Любарскій**, при кафедрѣ неорганической химіи.

Помощники-руководители занятій по геодезіи:

Инженеръ-строитель Сигизмундъ Феликсовичъ **Марцинкевичъ**.
Инженеръ-строитель Григорій Ивановичъ **Поповъ**.

Библиотека.

Библиотекарь врем. и. д. экстраординарнаго профессора Александръ Эдуардовичъ **Сабекъ**.

Помощникъ его, исполняющій обязанности по найму, дворянинъ Мечиславъ Владиславовичъ **Понтусъ**.

Инспекція.

Инспекторъ студентовъ, кандидатъ университета, статскій совѣтникъ Михаилъ Ѳедоровичъ **Шаталовъ**.

Помощникъ инспектора, магистрантъ богословія, не имѣющій чина, Иванъ Ѳедоровичъ **Пальмовъ**.

Помощникъ инспектора, кандидатъ богословія, статскій совѣтникъ, Мина Александровичъ **Андреевъ**.

Помощникъ инспектора, кандидатъ богословія, коллежскій ассесоръ Иванъ Александровичъ **Успенскій**.

Канцелярія.

Дѣлопроизводитель, коллежскій ассесоръ, Сергѣй Николаевичъ **Мураковъ**.

Помощникъ его, не имѣющій чина, Михаилъ Николаевичъ **Ляшковъ**.

Бухгалтеръ, коллежскій секретарь, Дмитрій Николаевичъ **Соковнинъ**.

Помощникъ его, губернской секретарь, Николай Ивановичъ **Поллунинъ**.

Смотритель зданій (по найму), не имѣющій чина, Сергѣй Алексѣевичъ **Яцура**.

Врачъ института, не имѣющій чина, врачъ съ отличіемъ Николай Евгенъевичъ **Введенскій**.

Фельдшеръ, и. об. (по найму) Юсифъ Ивановичъ **Родзевичъ**.

Комитетъ по студенческимъ дѣламъ.

Предсѣдатель: Директоръ **Е. Л. Зубашевъ**. Члены: деканъ механическаго и и. д. декана инженерно-строительнаго отдѣленій **И. И. Бобарыковъ**, деканъ горнаго и и. д. декана химическаго отдѣленій **В. А. Обручевъ**, Инспекторъ студентовъ **М. Ѳ. Шаталовъ**, и секретари отдѣленій и. д. экстраординарныхъ профессоровъ **А. А. Потеня** и **І. И. Рончевскій**.

Хозяйственный Комитетъ.

Предсѣдатель Директоръ **Е. Л. Зубашевъ**.

Члены: **И. И. Бобарыковъ** и **В. А. Обручевъ**.

ВЫСОЧАЙШЕ учрежденный Строительный Комитетъ по возведенію зданій Технологическаго Института въ городѣ Томскѣ.

Предсѣдатель: Директоръ Института **Е. Л. Зубашевъ**.

Члены: Ректоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета, дѣйствительный статскій совѣтникъ Александръ Ивановичъ **Судановъ**; губернской инженеръ, дѣйствительный статскій совѣтникъ Эрнестъ Эрнестовичъ **Фонъ-Шульманъ**; Томскій городской голова, докторъ медицины, Алексѣй Ивановичъ **Манушинъ**; членъ Томской Городской Управы Николай Яковлевичъ **Бѣляевъ**; профессора Института **А. И. Ефимовъ**, **А. Э. Сабень**, **И. И. Бобарыковъ** и **В. А. Обручевъ**; помощникъ ревизора Томской Контрольной Палаты коллежскій ассесоръ, Андрей Александровичъ **Завадовскій**; начальникъ отдѣленія Томской Казенной Палаты надворный совѣтникъ Антонъ Николаевичъ **Валда**; строитель зданій гражданскій инженеръ, надворный совѣтникъ Фортунатъ Фердинандовичъ **Гуть**; дѣлопроизводитель—дѣлопроизводитель Института, бухгалтеръ—бухгалтеръ Института.

Постановка учебной части Института.

Преподаваніе въ Институтѣ велось согласно утвержденнымъ и прилагаемымъ при отчетѣ учебнымъ планамъ, съ слѣдующими отступленіями:

Во второй половинѣ отчетнаго года не читался курсъ графической статики, вслѣдствіе поздняго пріѣзда вновь на-

значеннаго профессора. Курсъ этотъ перенесенъ на первую половину 1903 гражданскаго года. Не читался курсъ строительнаго искусства, вследствие отсутствія преподавателя; курсъ этотъ также перенесенъ на 1903 годъ; курсъ архитектуры читался во второй половинѣ отчетнаго года, 4 часа вмѣсто 2-хъ и къ 1-му января 1903 года исполнѣ законченъ. Гидравлика для студентовъ 3-го курса механическаго отдѣленія не читалась во второмъ полугодіи отчетнаго года за позднимъ пріѣздомъ вновь назначеннаго преподавателя,—она перенесена на 2-е полугодіе 190²/₃ учебнаго года, а въ замѣнъ этого во второмъ полугодіи прочитанъ весь курсъ паровыхъ машинъ (4 часа).

Практическія занятія велись въ первой половинѣ отчетнаго года на 1-мъ курсѣ по дифференціальному исчисленію (1 часъ), аналитической геометріи (1 часъ) и механикѣ (2 часа). Студенты были раздѣлены для этихъ занятій на 7 группъ.

На второмъ курсѣ эти занятія велись на механическомъ отдѣленіи по интегральному исчисленію (2 часа) и механикѣ (2 часа), а по сопротивленію матеріаловъ на обоихъ отдѣленіяхъ (1 часъ); студенты были раздѣлены по этимъ предметамъ на 2 группы.

Во второй половинѣ отчетнаго года по этимъ предметамъ занятія велись слѣдующимъ образомъ: на 1-мъ курсѣ по дифференціальному исчисленію (2 часа), аналитической геометріи (1 часъ), начертательной геометріи (2 часа), механикѣ (1 часъ), при чемъ студенты для всѣхъ этихъ занятій были раздѣлены на 8 группъ.

На 2-мъ курсѣ: на механическомъ отдѣленіи, по интегральному исчисленію (2 часа), механикѣ (2 часа), теоріи механизмовъ (1 часъ), а на горномъ и химическомъ отдѣленіяхъ,—по интегральному исчисленію (1 часъ); студенты для этихъ занятій были раздѣлены на 4 группы (2 на механическомъ и 2 на горномъ и химическомъ), за исключеніемъ занятій по курсу теоріи механизмовъ, которыя велись со всѣми студентами механическаго отдѣленія.

Занятія по черченію въ первой половинѣ отчетнаго года на первомъ курсѣ заключались въ вычерчиваніи различныхъ моделей частей машины съ натуры (6 часовъ) и студенты были раздѣлены на 6 группъ; на II-мъ курсѣ занятія состояли въ расчетѣ и вычерчиваніи различныхъ деталей машинъ (4 часа); студенты были раздѣлены на 2 группы. Во второй половинѣ года для занятій по черченію студенты I-го курса были раздѣлены на 8 группъ и самыя занятія заключались въ вы-

черчиваніи эпіуръ и рѣшеніи задачъ по начертательной геометріи (6 недѣльн. часовъ). На второмъ курсѣ студенты были раздѣлены на 5 группъ и занимались архитектурнымъ черченіемъ (4 часа).

Программы черченія помѣщены въ приложеніяхъ.

Для занятій по **рисованію** (4 часа) студенты 1-го курса были раздѣлены въ первой половинѣ отчетнаго года на 4 группы, а во второй на 5 группъ.

На III-мъ курсѣ студенты занимались архитектурнымъ проектированіемъ (3 часа), для чего они были раздѣлены на 2 группы; для проектированія же по механикѣ было назначено на механическомъ отдѣленіи 6 часовъ и студенты этого отдѣленія были раздѣлены на 2 группы; на химическомъ же отдѣленіи III-го курса для проектированія по механикѣ былъ назначенъ 1 часъ.

Занятія по **физикѣ** какъ въ первой, такъ и во второй половинѣ отчетнаго года велись въ физической лабораторіи.

Для занятій студентовъ I-го курса было отведено 4 дня (по 2 часа) и потому студенты были раздѣлены на 4 группы, а для студентовъ II-го курса 2 дня по 2 часа. Списокъ предлагаемыхъ студентамъ задачъ помѣщенъ въ приложеніяхъ.

Въ **химической лабораторіи** въ первой половинѣ отчетнаго года занимались студенты 2-го курса химическаго отдѣленія 15 часовъ, механическаго отдѣленія 3 часа и студенты 1-го курса химическаго отдѣленія 5 часовъ; во второй половинѣ года занимались студенты 2-го курса химическаго и горнаго отдѣленій (15 час.), занятія же со студентами 2-го курса механическаго отдѣленія не велись и отложены на первое полугодіе 1903 года вслѣдствіе недостатка лаборантовъ. Затрудненіе также представляетъ отсутствіе газоваго завода, постройка котораго предположена только въ строительный сезонъ 1903 года.

Студенты 1-го и 2-го курсовъ горнаго отдѣленія и студенты 2-го курса химическаго отдѣленія занимались въ минералогической лабораторіи, студенты 1-го курса всѣхъ отдѣленій занимались также въ геодезическомъ кабинетѣ съ цѣлью познакомиться съ геодезическими инструментами, способомъ ихъ провѣрки и употребленія. Для этихъ занятій отведено $\frac{1}{2}$ часа въ недѣлю; студенты были раздѣлены на 8 группъ при чемъ каждая занималась 3 часа по одному разу въ 8 недѣль.

Между профессорами и преподавателями преподаваніе распределено слѣдующимъ образомъ:

Въ первой половинѣ отчетнаго года:

Преподаватель богословія профессоръ Д. Н. **Бѣликовъ** читалъ курсъ по богословію для студентовъ 1-го курса (2 часа въ недѣлю).

Профессоръ И. И. **Бобарыковъ** читалъ курсъ по сопротивленію матеріаловъ (2 часа) для студентовъ 2-го курса механическаго и химическаго отдѣленій и по деталямъ машинъ (3 часа) для студентовъ 2-го курса механическаго отдѣленія, руководилъ практическими занятіями въ одной группѣ (1 часъ) и проектированіемъ деталей машинъ для студентовъ 2-го курса (4 часа).

Профессоръ Н. М. **Кижнеръ** читалъ курсъ органической химіи для студентовъ 2-го курса химическаго отдѣленія (4 ч.)

Профессоръ Д. П. **Трубаба** читалъ для студентовъ 1-го курса курсъ неорганической химіи 4 часа и имѣлъ общее руководство занятіями студентовъ по аналитической химіи въ химической лабораторіи,

Профессоръ Ѳ. Э. **Молинъ** читалъ для студентовъ 1-го курса механическаго отдѣленія—курсъ дифференціального и интегрального исчисления 3 часа; для студентовъ 2-го курса механическаго отдѣленія интегрированіе дифференціальныхъ уравненій, руководилъ практическими занятіями по математикѣ въ одной группѣ студентовъ 1-го курса 2 часа и въ одной группѣ студентовъ 2-го курса механическаго отдѣленія 2 часа.

Профессоръ Н. Н. **Салтыковъ** читалъ курсъ механики для студентовъ 1-го курса всѣхъ отдѣленій (4 часа) и для студентовъ 2-го курса механическаго отдѣленія (3 часа); руководилъ практическими занятіями одной группы студентовъ 1-го курса по механикѣ (2 часа), по математикѣ (2 часа), и одной группы студентовъ 2-го курса по механикѣ (2 часа).

Профессоръ В. Л. **Некрасовъ** читалъ курсъ аналитической геометріи для студентовъ 1-го курса всѣхъ отдѣленій (2 часа), и дифференціального и интегрального исчисления для студентовъ 1-го курса горнаго и химическаго отдѣленій (2 часа), руководилъ практическими занятіями одной группы студентовъ 1-го курса по математикѣ (2 часа) и одной группы студентовъ 2-го курса механическаго отдѣленія по математикѣ (2 часа).

Профессоръ А. И. **Ефимовъ** читалъ курсъ физики для студентовъ 1-го курса (3 часа) и для студентовъ 2-го курса (4 часа), а также имѣлъ общее руководство занятіями студентовъ 1-го и 2-го курсовъ въ физической лабораторіи; ближайшее руководство занятіями было поручено лаборантамъ Ѳ. М. **Оссендовскому** и В. С. **Титову**.

Преподаватель **А. А. Шутковъ** читалъ курсъ теоріи механизмовъ для студентовъ 2-го курса механическаго отдѣленія (2 часа), руководилъ черченіемъ одной группы студентовъ 1-го курса (6 часовъ) и практическими занятіями по математикѣ (2 часа) и по механикѣ (2 часа) одной группы студентовъ 1-го курса.

Преподаватель **П. Е. Первовъ** читалъ курсъ прикладной механики (гидравлики) для студентовъ 2-го курса химическаго отдѣленія (2 часа) и велъ практическія занятія по механикѣ съ одной группой студентовъ 1-го курса (2 часа).

Преподаватель **Л. Н. Любимовъ** читалъ курсъ геодезіи для студентовъ 1-го курса (1 часъ) и велъ практическія занятія по этому предмету (3 часа), для которыхъ въ помощь ему былъ приглашенъ межевой инженеръ **А. П. Калимановъ**.

Профессоръ **А. Э. Сабекъ** руководилъ черченіемъ въ одной группѣ студентовъ (6 часовъ) и проектированіемъ моделей машинъ въ одной группѣ студентовъ 2-го курса (4 часа).

Профессоръ **М. И. Рончевскій** руководилъ черченіемъ въ одной группѣ студентовъ I курса (6 часовъ).

Преподаватель **М. И. Южаковъ** въ первомъ полугодіи отчетнаго года руководилъ черченіемъ студентовъ I курса (1 часъ), практическими занятіями студентовъ I курса по математикѣ (2 часа), механикѣ (2 часа) и студентовъ II курса по сопротивленію матеріаловъ (1½ часа).

Преподаватель **В. А. Сахарновъ** руководилъ занятіями одной группы студентовъ I курса по математикѣ (2 часа), механикѣ (2 часа) и черченію (6 часовъ).

Преподаватель **С. А. Жбиновскій** руководилъ занятіями одной группы студентовъ I курса по математикѣ (2 часа) и механикѣ (2 часа).

Преподаватели **Ф. Ф. Гуть**, **К. К. Лыгинъ**, **Э. А. Рокачевскій** и **П. Ф. Федоровскій** руководили занятіями по рисованію студентовъ I курса (4 часа).

Преподаватель, профессоръ университета **А. М. Зайцевъ** читалъ курсъ кристаллографіи для студентовъ I курса горнаго отдѣленія (2 часа) и краткій курсъ минералогіи для студентовъ II курса химическаго отдѣленія (2 часа) и, кромѣ того, имѣлъ общее руководство занятіями по минералогіи въ лабораторіи, ближайшее руководство которыми было поручено лаборанту **А. В. Емельянову**.

Преподаватель **Г. Э. Юганзенъ** преподавалъ нѣмецкій языкъ (4 часа) и лаборантъ **Д. Д. Гарднеръ** англійскій языкъ (4 часа).

Во второмъ полугодіи отчетнаго года занятія между профессорами и преподавателями распредѣлялись слѣдующимъ образомъ:

Директоръ **Е. Л. Зубашевъ** читалъ курсъ технологіи топлива и воды для студентовъ III курса 1 часъ въ недѣлю.

Преподаватель богословія профессоръ **Д. Н. Бѣликовъ** читалъ курсъ богословія для студентовъ I курса всѣхъ отдѣлений (2 часа).

Профессоръ **И. И. Бобарыковъ** читалъ курсъ сопротивленія матеріаловъ для студентовъ II курса (3 часа), деталей машинъ для студентовъ II курса механическаго отдѣленія (1 ч.) и для студентовъ III курса механическаго отдѣленія (2 часа), руководилъ проектированіемъ по механикѣ студентовъ III курса механическаго отдѣленія (6 часовъ).

Профессоръ **Н. М. Кижнеръ** читалъ подробный курсъ органической химіи для студентовъ II курса химическаго отдѣленія (4 часа) и сокращенный для студентовъ II курса горнаго отдѣленія (2 часа).

Профессоръ **Д. П. Турбаба** читалъ курсъ неорганической химіи для студентовъ I курса всѣхъ отдѣлений (4 часа) и курсъ термодинамики и физико-химіи для студентовъ III-го курса химическаго отдѣленія 2 часа; кромѣ того имѣлъ общее руководство занятіями студентовъ въ химической лабораторіи по аналитической химіи, ближайшее руководство которыми было возложено на лаборантовъ **С. М. Филатова**, **А. А. Любарскаго** и **С. В. Лебедева**.

Профессоръ **Ө. Э. Молинъ** читалъ курсъ дифференціального исчисленія (3 часа) и аналитической геометріи (2 часа) для студентовъ I курса всѣхъ отдѣлений и курсъ интегральнаго исчисленія (3 часа) для студентовъ II курса механическаго отдѣленія; велъ практическія занятія по математикѣ въ одной группѣ студентовъ I курса (3 часа) и въ одной группѣ студентовъ II курса (2 часа).

Профессоръ **Н. Н. Салтыковъ** читалъ курсъ теоретической механики для студентовъ I курса всѣхъ отдѣлений (2 часа), для студентовъ II курса механическаго отдѣленія (3 часа), и курсъ интегральнаго исчисленія для студентовъ II курса горнаго и химическаго отдѣлений (2 часа); велъ практическія занятія: по математикѣ въ одной группѣ студентовъ I курса (3 часа) и студентовъ II курса горнаго и химическаго отдѣлений (1 часъ); по механикѣ въ одной группѣ студентовъ I курса (1 часъ) и одной группѣ студентовъ II курса механическаго отдѣленія (3 часа).

Профессоръ М. Э. **Янишевскій** читалъ курсъ палеонтологіи (2 часа) для студентовъ II курса горнаго отдѣленія.

Профессоръ А. И. **Ефимовъ** читалъ курсъ физики для студентовъ I курса (3 часа) и для студентовъ II курса (3 часа); имѣлъ общее руководство занятіями студентовъ въ физической лабораторіи, ближайшее руководство которыми было возложено на лаборанта В. С. **Титова**.

Профессоръ Н. И. **Карташевъ** читалъ курсъ паровыхъ котловъ для студентовъ III курса (3 часа); руководилъ черченіемъ студентовъ I курса (6 часовъ), практическими занятіями студентовъ I курса по начертательной геометріи (2 часа).

Профессоръ А. А. **Потебня** читалъ общій курсъ электротехники для студентовъ III курса (2 часа).

Профессоръ И. I. **Рончевскій** читалъ курсъ металлургіи для студентовъ III курса химическаго отдѣленія (3 часа).

Профессоръ А. Э. **Сабекъ** читалъ курсъ технологіи строительныхъ матеріаловъ для студентовъ III курса обоихъ отдѣленій (2 часа), руководилъ (по декабрь отчетнаго года) черченіемъ одной группы студентовъ I курса (6 часовъ) и практическими занятіями по начертательной геометріи (2 ч.)

Профессоръ Г. Л. **Тираспольскій** (началь чтеніе лекцій 15 ноября) читалъ курсъ подъемныхъ машинъ для студентовъ III курса механическаго отдѣленія (2 часа), руководилъ проектированіемъ по механикѣ студентовъ III курса (6 часовъ) и практическими занятіями на I курсѣ по механикѣ (1 часъ).

Преподаватель В. А. **Сахарновъ** читалъ курсъ начертательной геометріи (3 часа), руководилъ черченіемъ (6 часовъ) и практическими занятіями по математикѣ (3 часа) въ одной группѣ студентовъ I курса.

Преподаватель А. А. **Шутковъ** читалъ курсъ теоріи механизмовъ для студентовъ II курса механическаго отдѣленія (2 часа) и руководилъ практическими занятіями по этому предмету (1 часъ), кромѣ того руководилъ черченіемъ одной группы студентовъ I курса (6 часовъ), практическими упражненіями по начертательной геометріи (2 часа), по механикѣ I курса (1 часъ) и по механикѣ II курса (2 часа).

Преподаватель П. Е. **Первовъ** читалъ курсъ паровыхъ машинъ для студентовъ III курса механическаго отдѣленія (4 часа), краткій курсъ прикладной механики (теорія механизмовъ и детали машинъ) для студентовъ II курса горнаго и химическаго отдѣленій (2 часа) и для студентовъ III курса химическаго отдѣленія (паровыя машины) (2 часа); руководилъ проектированіемъ по механикѣ студентовъ III курса химиче-

скаго отдѣленія (1 часъ) и практическими занятіями по математикѣ одной группы студентовъ I курса (3 часа).

Преподаватель, профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго университета, А. М. **Зайцевъ** читалъ курсъ кристаллографіи для студентовъ I курса горнаго отдѣленія (2 часа), описательной минералогіи для студентовъ II курса горнаго отдѣленія (2 часа) и краткій курсъ минералогіи для студентовъ II курса химическаго отдѣленія (2 часа), кромѣ того имѣлъ общее руководство занятіями студентовъ въ минералогическомъ кабинетѣ, ближайшее руководство которыми было возложено на лаборанта А. В. **Емельянова**.

Преподаватель, профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета, Ѳ. Я. **Капустинъ** читалъ курсъ механической теоріи тепла для студентовъ III курса механическаго отдѣленія (4 часа).

Преподаватель, профессоръ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета, В. В. **Сапожниковъ** читалъ курсъ морфологіи и фізіологіи растений для студентовъ III курса химическаго отдѣленія (2 часа) и руководилъ практическими занятіями по ботаникѣ студентовъ III курса химическаго отдѣленія (2 часа).

Преподаватель **Ф. Ф. Гуть** читалъ курсъ архитектуры для студентовъ II курса (4 часа), руководилъ проектированіемъ по архитектурѣ студентовъ III курса (3 часа) и архитектурнымъ черченіемъ студентовъ II курса (по декабрь)—4 часа.

Преподаватель **Л. Н. Любимовъ** читалъ курсъ геодезіи для студентовъ I курса (1 часъ) и велъ практическія занятія по геодезіи (3 часа). Въ помощь для этихъ занятій были приглашены инженеры-строители С. Ф. **Марцинкевичъ** и Г. И. **Поповъ**.

Преподаватель **К. К. Лыгинъ** руководилъ проектированіемъ по архитектурѣ студентовъ III курса (3 часа) и рисованіемъ студентовъ I курса (4 часа).

Лаборантъ **В. С. Титовъ**, кромѣ занятій въ физической лабораторіи, руководилъ практическими занятіями по механикѣ одной группы студентовъ I курса (1 часъ), по математикѣ одной группы студентовъ II курса механическаго отдѣленія (2 часа) и одной группы студентовъ II курса химическаго отдѣленія—(1 ч.).

Преподаватели **К. А. Заранекъ**, **В. Ф. Оржешно**, **В. М. Сухоровскій** и **П. Ф. Федоровскій** руководили архитектурнымъ черченіемъ студентовъ II курса (по декабрь) (4 часа) и рисованіемъ студентовъ I курса (4 часа).

Преподаватель **З. А. Рокачевскій** руководилъ занятіями по рисованію студентовъ I курса (4 часа).

Преподаватель **Г. Э. Юганзенъ** преподавалъ нѣмецкій языкъ (4 часа).

Преподаватели **С. П. Гомелля**, **В. И. Пинегинь** и **А. Э. Кржижановскій** руководили черченіемъ студентовъ I курса (6 часовъ каждый), а также практическими занятіями по математикѣ (3 часа), механикѣ (1 часъ) и начертательной геометріи (2 часа).

Преподаватель **Н. Θ. Бундюковъ** руководилъ (съ декабря отчетнаго года) черченіемъ одной группы студентовъ I курса (6 часовъ).

Кромѣ своихъ непосредственныхъ обязанностей по Институту, нѣкоторые профессора и преподаватели состояли преподавателями и въ другихъ учебныхъ заведеніяхъ или исполняли обязанности въ различныхъ правительственныхъ или общественныхъ учрежденіяхъ.

Директоръ **Е. Л. Зубашевъ** состоитъ предсѣдателемъ Томскаго Отдѣленія **ИМПЕРАТОРСКАГО** Русскаго Техническаго Общества.

Преподаватель Богословія **Д. Н. Бѣликовъ** состоитъ профессоромъ **ИМПЕРАТОРСКАГО** Томскаго Университета, настоятелемъ Университетской церкви и цензоромъ печатныхъ духовныхъ изданій, выходящихъ въ предѣлахъ Томской епархіи. Кромѣ того читаетъ лекціи по исторіи церкви на вновь открытыхъ общеобразовательныхъ курсахъ.

Профессоръ **В. А. Обручевъ** участвовалъ съ 26-го сентября по 23-е декабря въ трудахъ Высочайше учрежденной Комиссіи по пересмотру уставовъ высшихъ учебныхъ заведеній Министерства Народнаго Просвѣщенія, въ качествѣ представителя Томскаго Технологическаго Института, по назначенію отъ Министерства; состоялъ членомъ Высочайше учрежденнаго Строительнаго Комитета по возведенію зданій Томскаго Технологическаго Института и производилъ по порученію Комитета изслѣдованія грунта посредствомъ буренія подь существующими и предполагаемыми къ постройкѣ зданіями Института.

Преподаватель **А. М. Зайцевъ** состоитъ профессоромъ **ИМПЕРАТОРСКАГО** Томскаго Университета по каѳедрѣ минералогіи и геологіи.

Преподаватель **В. В. Сапожниковъ** состоитъ профессоромъ **ИМПЕРАТОРСКАГО** Томскаго Университета по каѳедрѣ ботаники, предсѣдателемъ Западно-Сибирскаго Общества сельскаго хозяйства и товарищемъ предсѣдателя Общества естествоиспытателей и врачей при **ИМПЕРАТОРСКОМЪ** Томскомъ Университетѣ.

Преподаватель **Ф. Я. Капустинъ** состоитъ профессоромъ **ИМПЕРАТОРСКАГО** Томскаго Университета по каѳедрѣ физи-

ки и казначеемъ Общества естествоиспытателей и врачей при томъ же Университетѣ; производилъ конкурсныя испытанія по физикѣ лицъ, желавшихъ поступить въ Томскій Технологическій Институтъ.

Профессоръ Н. М. **Кижнеръ** прочиталъ пять публичныхъ лекцій по химіи при Обществѣ попеченія о начальномъ образованіи.

Профессоръ І. И. **Рончевскій** состоитъ секретаремъ химическаго отдѣленія Института.

Профессоръ А. Э. **Сабень** состоялъ съ января по іюнь по мощникомъ бібліотекаря, а съ 1 іюня до конца отчетнаго года и. об. бібліотекаря Института и членомъ Высочайше учрежденнаго Комитета по возведенію зданій Томскаго Технологическаго Института.

Преподаватель В. Н. **Пинегинъ** состоитъ преподавателемъ физики (по найму) въ Томской мужской гимназіи.

Преподаватель П. Е. **Первовъ** состоитъ начальникомъ Техническаго Отдѣла службы тяги Сибирской желѣзной дороги и товарищемъ предѣдателя Томскаго Отдѣленія ИМПЕРАТОРСКАГО Русскаго Техническаго Общества.

Преподаватель Ф. Ф. **Гуть** состоитъ архитекторомъ Западно-Сибирскаго учебнаго округа, архитекторомъ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета, строителемъ зданій Томскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II и общежитія для студентовъ ИМПЕРАТОРСКАГО Томскаго Университета.

Преподаватель К. К. **Лыгинъ** состоитъ архитекторомъ по отдѣлу новыхъ работъ при управленіи Сибирской желѣзной дороги и строителемъ зданій Окружнаго Суда и Томскаго коммерческаго училища.

Преподаватель П. Ф. **Федоровскій** состоитъ Томскимъ городскимъ архитекторомъ и производитъ частныя постройки.

Преподаватель В. М. **Сухоровскій** состоитъ инженеромъ для техническихъ занятій въ службѣ пути Сибирской желѣзной дороги.

Преподаватель З. А. **Роначевскій** занимаетъ должность старшаго техника въ службѣ пути Сибирской желѣзной дороги.

Преподаватель Л. Н. **Любимовъ** состоитъ помощникомъ начальника службы пути Сибирской желѣзной дороги.

Преподаватель К. А. **Заранекъ** состоитъ помощникомъ Начальника Техническаго Отдѣла службы пути Сибирской желѣзной дороги.

Преподаватель, художникъ-архитекторъ **В. Ф. Оржешко** состоитъ архитекторомъ по отдѣлу новыхъ работъ на той же дорогѣ.

Лаборантъ при физической лабораторіи **В. С. Титовъ** состоитъ преподавателемъ математики и физики въ Томскомъ Алексѣевскомъ реальномъ училищѣ и преподавателемъ въ Томскомъ коммерческомъ училищѣ.

Лаборантъ при кафедрѣ органической химіи **Д. В. Алексѣевъ** состоитъ преподавателемъ физики и естественной исторіи въ Томскомъ женскомъ городскомъ училищѣ.

Лаборантъ при кафедрѣ минералогіи **А. В. Емельяновъ** состоялъ исполняющимъ обязанности хранителя кабинета минералогіи **ИМПЕРАТОРСКАГО** Томскаго Университета.

Помощникъ руководителя, занятіями по геодезій Г. И. **Поповъ** состоитъ инженеромъ по отдѣлу новыхъ работъ при управленіи Сибирской желѣзной дороги.

Помощникъ руководителя занятіями по геодезій С. Ф. **Марцинкевичъ** состоитъ инженеромъ для особыхъ порученій при начальникѣ службы пути Сибирской желѣзной дороги.

Лекторъ нѣмецкаго языка Г. Э. **Юганзенъ** состоитъ преподавателемъ естественной исторіи въ Томскомъ Алексѣевскомъ реальномъ училищѣ и сверхштатнымъ ассистентомъ при кафедрѣ зоологіи въ **ИМПЕРАТОРСКОМЪ** Томскомъ Университетѣ.

Ученые труды г.г. профессоровъ и преподавателей въ 1902 году выражены въ слѣдующемъ:

Профессоръ **В. А. Обручевъ**: а) продолжалъ обработку геологическихъ матеріаловъ, собранныхъ въ Ленскомъ горномъ округѣ въ 1901 году и въ Забайкальской области въ 1895—1898 г.г.; б) продолжалъ обработку географическихъ матеріаловъ о степи Гоби, по порученію **ИМПЕРАТОРСКАГО** Русскаго Географическаго Общества; в) составилъ двѣ главы историческаго очерка объ экспедиціяхъ, снаряженныхъ Восточно-Сибирскимъ Отдѣломъ **ИМПЕРАТОРСКАГО** Русскаго Географическаго Общества для изслѣдованія Азіи за 50 лѣтъ; въ теченіе 1902 года закончилъ печатаніемъ: а) вторую часть полнаго отчета о геологическихъ изслѣдованіяхъ въ Забайкальской области въ 1895—1898 г.г. въ вып. XXII изданія Геологическаго Комитета: „Геологическія изслѣдованія и развѣдочныя работы по линіи Сибирской желѣзной дороги“, составившую 524 стр. in 4^o; б) предварительный отчетъ о геологическихъ изслѣдованіяхъ въ бассейнѣ р. Бодайбо, лѣтомъ 1901 года въ выпускѣ 2 изданія:

„Геологическія изслѣдованія въ золотоносныхъ областяхъ Сибири, Ленскій золотоносный районъ“ 36 стр. in 8^o, съ геологической картой; в) некрологъ профессора П. В. Мушкетова въ „Вѣстникѣ Золотопромышленности“ 1902 г. №№ 4 и 5; г) воспоминанія о профессорѣ Мушкетовѣ въ выпускѣ I т. VI. Ежегодника по геологіи и минералогіи Россіи; д) рефератъ о книгѣ І. Морозевича „Гора Магнитная и ея ближайшія окрестности“ въ „Вѣстникѣ Золотопромышленности“ 1902 г. № 3.

Профессоръ Н. М. **Кижнеръ** занимался оборудованіемъ лабораторій, продолжая свои изслѣдованія надъ превращеніями амина изъ триметиленкарбоновой кислоты. Въ теченіе 1902 г. напечаталъ: „Объ аминѣ изъ триметиленкарбоновой кислоты“ Журн. Рус. Физ. Хим. Общ. 1902 г. стр. 825.

Профессоръ М. Э. **Янишевскій**: а) занимался оборудованіемъ палеонтологическаго кабинета; б) разрабатывалъ геологическій матеріалъ, собранный имъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ въ долинѣ р. Урала между городами Верхнеуральскомъ и Орскомъ. Напечаталъ: а) о кости (sarcoid'ѣ) мезозавра, найденной въ нижнетретичныхъ отложеніяхъ Саратовской губерніи (Ежегодникъ по геологіи и минералогіи Россіи т. V выпускъ 4—5); б) Вельтминская дача наслѣдниковъ графа А. П. Шувалова въ Чердынскомъ уѣздѣ Пермской губерніи (Оро-гидро-геологическій очеркъ) Труды Казанск. Общ. Ест., т. XXXVI выпускъ 4; в) Горящая гора (Янганъ-Тау) въ Южномъ Уралѣ (прилож. къ прот. зас. Каз. Общ. Ест. № 204).

Профессоръ Н. И. **Карташевъ** напечаталъ „Опытное изслѣдованіе паровозовъ“ (отдѣльнымъ изданіемъ).

Профессоръ А. А. **Потебня** напечаталъ въ журналѣ „Электричество“ статью „объ измѣненіи скорости асинхроническихъ многофазныхъ двигателей“.

Профессоръ Г. Л. **Тираспольскій** напечаталъ въ истекшемъ году въ журналѣ Политехническаго Общества, состоящаго при ИМПЕРАТОРСКОМЪ Московскомъ Техническомъ училищѣ, слѣдующія статьи: въ № 2 „Колеса Гриссона“; въ № 3 „Цѣвочная передача между пересѣкающимися осями системы Тираспольскаго“ и въ № 5 „Сгибаніе чугунныхъ брусевъ прямоугольнаго сѣченія“.

Профессоръ А. М. **Зайцевъ** занимался разработкой петрографическаго матеріала, доставленнаго А. В. Адриановымъ съ р. Маны Енисейской губерніи и И. П. Бересневичемъ съ Алтая. Въ теченіе года напечаталъ: а) Кристаллографія, конспектъ лекцій, читанныхъ на горномъ отдѣленіи; б) озеро Шира и его окрестности (съ 15 фототипіями и картою)—въ извѣстіяхъ Томскаго

Университета; в) поѣздка на гору Пустась въ Кузнецкомъ Алатау (Сибирскій Наблюдатель, № 11).

Профессоръ В. В. **Сапожниковъ** занимался производствомъ опытовъ примѣненія чистыхъ культуръ винныхъ дрожжей для сбраживания виннаго сока, а также анализомъ муки, древесины, дрожжей и т. п. Кромѣ того лѣтомъ отчетнаго года въ теченіе 5 мѣсяцевъ находился въ командировкѣ съ ученой цѣлью въ Семирѣченской области для естественно-историческихъ и географическихъ изслѣдованій, о чемъ и печатаетъ въ настоящее время краткій предварительный отчетъ. Наконецъ, въ „Извѣстіяхъ Томскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II“ въ отчетномъ году напечаталъ отчетъ о заграничной командировкѣ, совершенной по порученію Совѣта Института.

Профессоръ Ф. Я. **Капустинъ** сдѣлалъ на XI съѣздѣ Естествоиспытателей сообщеніе: „Объ опредѣленіи магнитныхъ элементовъ въ г. Томскѣ походнымъ теодолитомъ Вильда“ (помѣщено въ дневникѣ XI съѣзда, 330).

Лаборантъ Д. В. **Алексѣевъ** продолжаетъ работать надъ изслѣдованіемъ превращеній натрія—амида и напечаталъ замѣтку „Реакція натрія—амида съ органическими соединеніями“. Журн. Русск. Физ.-Хим. Общ.

Преподаватель Л. Н. **Любимовъ** ѣздилъ для ознакомленія съ постановкой чтенія и организаціею кабинетовъ по строительному искусству и геодезіи въ Шарлоттенбургскій и Цюрихскій Политехникумъ.

Кромѣ того ознакомился: а) съ постройкой Симплонскаго и Кольдю-Жаменовскаго туннелей въ Швейцаріи; б) съ работами по исправленію обвала въ Шебрскомъ туннелѣ близъ Лозанны; в) съ устройствомъ полотна и искусственныхъ сооруженій всѣхъ линій Общества Юра-Симплонской желѣзной дороги; г) канатныхъ подъемныхъ дорогъ изъ Монтре на Гліонъ и изъ Уши въ Лозанну. д) электрической горной дороги Монтре; ж) зубчатой горной дороги—Гліонъ-Рошэ-де-Нэ.

Л. Н. Любимовъ въ отчетномъ году напечаталъ: 1) наставленіе къ производству путевыхъ работъ по весеннему, лѣтнему и зимнему ремонту пути. Изд. Риккера.

2) „Курсъ низшей геодезіи“, читанный въ Томскомъ Технологическомъ Институтѣ Изд. 2-ое.

3) „Работа снѣгоочистителя системы инженера Бурковскаго на Сибирской дорогѣ“, (Журналь М. П. С. кн. 10, 1902).

4) „Verdrückung von Brücken durch Frost auf der Sibirischen Eisenbahn“ (Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Heft 6, 1902)

Онъ-же читаль докладъ на всероссійскомъ Пожарномъ съѣздѣ „о противупожарныхъ мѣрахъ на мостахъ Сибирской дороги вообще и примѣненіи состава Бабаева въ частности“ (напечатанъ въ трудахъ съѣзда); приготовиль къ печати въ „Извѣстіяхъ Томскаго Технологическаго Института“ монографію: „18-ти фунтовый рельсъ и его служба на Сибирской желѣзной дорогѣ“ и краткій курсъ „Основанія и фундаменты“.

Совѣтъ.

Совѣтъ Института, подъ предѣдательствомъ Директора Института, состояль въ первой половинѣ 1902 года изъ членовъ профессоровъ: Д. Н. Бѣликова, В. А. Обручева, И. И. Бобарыкова, Ф. Э. Молина, Н. М. Кижнера, Д. П. Турбаба, В. Л. Некрасова, А. Э. Сабекъ, Н. Н. Салтыкова, А. И. Ефимова и І. И. Рончевскаго, а во второй половинѣ года изъ членовъ профессоровъ: Д. Н. Бѣликова, В. А. Обручева, И. И. Бобарыкова, Ф. Э. Молина, Н. М. Кижнера, Д. П. Турбаба, А. Э. Сабекъ, Н. Н. Салтыкова, А. И. Ефимова, І. И. Рончевскаго, А. А. Потенія, Н. И. Карташова, Г. Л. Тираспольскаго и М. Э. Янишевскаго. Секретаремъ Совѣта состояль ординарный профессоръ Д. П. Турбаба. Въ теченіе 1902 года, Совѣтъ имѣль 14 засѣданій, на которыхъ обсуждались вопросы, касающіеся учебныхъ плановъ, программъ, выбора профессоровъ и т. п.

Изъ особенныхъ постановленій Совѣта надо указать нижеслѣдующія:

І) Постановление Совѣта отъ 27 марта 1902 г., утвержденное Министерствомъ Народнаго Просвѣщенія, о введеніи элементарнаго курса технологіи металловъ на І курсѣ Института. Такое введеніе является по мнѣнію Совѣта необходимымъ, такъ какъ студенты уже на І курсѣ при черченіи съ натуры, а еще болѣе на второмъ, гдѣ черченіе представляетъ собою проектированіе деталей машинъ, нуждаются въ свѣдѣніяхъ о свойствахъ различныхъ металловъ.

ІІ) Постановление Совѣта отъ 19 апрѣля по поводу введенія временныхъ правилъ студенческихъ организацій, когда Совѣтъ приняль слѣдующую редакцію для своего заключенія по означенному вопросу:

1) Временныя правила не введены, ибо студенты рѣшили не возбуждать никакихъ ходатайствъ о введеніи организацій, согласно этимъ правиламъ.

2) Относительно желательныхъ измѣненій и дополненій, Совѣтъ полагаетъ необходимымъ высказать слѣдующее: прини-

мая во вниманіе, что „временныя правила“ признають необходимымъ ввести студенческія организациі въ самый строй высшихъ учебныхъ заведеній, а между тѣмъ Совѣту Томскаго Технологическаго Института совершенно неизвѣстно въ какомъ направленіи и въ какомъ объемѣ будетъ реформированъ уставъ высшихъ учебныхъ заведеній, Совѣтъ въ настоящее время лишень возможности высказаться подробно объ уставѣ будущихъ студенческихъ организаций.

По этому Совѣту остается указать только въ общихъ чертахъ тѣ недостатки „временныхъ правилъ“, которые, по его мнѣнію, обусловили отрицательное отношеніе студентовъ Института къ введенію организаций на основаніи этихъ правилъ.

Важнѣйшими ихъ недостатками являются: 1) чрезмѣрная опека, распространенная на всѣ виды студенческихъ организаций, выражающаяся: въ обязательномъ присутствіи лицъ преподавательскаго или служебнаго персонала на всѣхъ собраніяхъ студентовъ (§§ 6 и 8), въ руководствѣ или предѣлательствѣ тѣхъ же лицъ во всѣхъ студенческихъ учрежденіяхъ (§§ 21, 32, 34, 39, 42, 46, 52), въ особомъ надзорѣ (лицъ служебнаго персонала) за порядкомъ въ библіотекахъ, читальняхъ, чайныхъ и столовыхъ (§§ 35 и 46), при чемъ на этихъ лицъ возложены обязанности не только руководства студентами, но и привлеченія ихъ къ отвѣтственности (§ 8); 2) обязательное присутствіе на собраніяхъ студентовъ лица профессорскаго или служебнаго персонала, что особенно нежелательно, если этимъ лицомъ будетъ лицо, принадлежащее къ инспекціи; 3) отсутствіе товарищескаго суда и организаций землячества среди студенческихъ учреждений, разрѣшаемыхъ этими правилами. 4) Наконецъ послѣдній изъ болѣе важныхъ недостатковъ—обременѣніе курсовыхъ старостъ слишкомъ многочисленными обязанностями; обязательное участіе старостъ въ комиссіяхъ по управленію попечительствами, кассой, столовой, библіотекой и читальней не нужно. Не слѣдуетъ также обязывать старосту наблюдать за отсутствіемъ на курсовыхъ собраніяхъ студентовъ другихъ курсовъ и постороннихъ лицъ. Совѣтъ полагаетъ, что курсовой староста долженъ быть только довѣреннымъ лицомъ своего курса и посредникомъ въ сношеніяхъ студентовъ съ начальникомъ учебнаго заведенія. Отвѣчать за свои дѣйствія староста долженъ не только предъ Совѣтомъ Института (§ 18), но и предъ своими товарищами.

Ш) По вопросу о распредѣленіи прибавки къ содержанію лицамъ преподавательскаго персонала и врачу изъ предполагающейся къ отпуску съ начала будущаго учебнаго года 20% прибавки, Совѣтъ, въ засѣданіи 31-го октября отчетнаго года, высказался въ слѣдующей формѣ:

Свой взглядъ о желательномъ вознагражденіи Совѣтъ уже выразилъ въ представленномъ имъ проектѣ новыхъ штатовъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ онъ находитъ необходимымъ высказать, что прежде всего должно быть увеличено содержаніе служащимъ, которые по штату получаютъ слишкомъ ничтожное вознагражденіе, являющееся вмѣстѣ съ тѣмъ причиной того, что должности остаются зачастую вакантными; таковыми будутъ должности младшихъ и старшихъ лаборантовъ, врача, фельдшера, бібліотекаря и его помощника.

Приводить доводы о невозможности найти лаборантовъ на окладъ въ 750 руб. въ годъ едва-ли нужно, но Совѣтъ считаетъ нужнымъ ходатайствовать о значительномъ увеличеніи имъ содержанія, чтобы лаборантъ не имѣлъ нужды искать заработка на сторонѣ, а посвящалъ бы больше времени лабораторіи и занятіямъ со студентами; что касается врача, то Совѣтъ находитъ, что необходимо увеличить ему содержаніе и дать квартиру, чтобы врачъ не имѣлъ нужды искать другое официальное мѣсто; кромѣ того при такомъ значительномъ населеніи, какое будетъ въ Томскомъ Технологическомъ Институтѣ, близость врача необходима; вмѣстѣ съ тѣмъ Совѣтъ находитъ нужнымъ ходатайствовать объ увеличеніи содержанія фельдшеру, такъ какъ за штатное содержаніе постоянного фельдшера до сихъ поръ въ Томскѣ найти не удалось, а пришлось пригласить желѣзно-дорожнаго фельдшера, который приходитъ только къ пріему врача. Совѣтъ счелъ долгомъ ходатайствовать и о повышеніи содержанія бібліотекаря, такъ какъ за штатную сумму до сихъ поръ не удалось найти бібліотекаря и приходится возлагать обязанности на одного изъ профессоровъ.

Затѣмъ по вопросу объ увеличеніи жалованія профессорамъ, Совѣтъ высказался о необходимости повысить содержаніе въ особенности тѣмъ профессорамъ, которые завѣдываютъ лабораторіями и руководятъ занятіями въ лабораторіяхъ, такъ какъ лабораторіи и руководство лабораторными занятіями отнимаютъ много времени и отдѣльно не оплачиваются,

между тѣмъ, какъ профессора, не имѣющіе лабораторіи, заняты не болѣе семи часовъ въ недѣлю, а при увеличеніи числа часовъ занятій, получаютъ вознагражденіе за каждый лишній часъ по 200—300 руб. въ годъ; поэтому Совѣтъ ходатайствуетъ, впредь до разрѣшенія представленнаго ранѣе Совѣтомъ ходатайства, о назначеніи изъ 20-ти проц. прибавки профессорамъ за завѣдываніе лабораторіями, хотя по пятьсотъ рублей.

Что же касается вознагражденія преподавателямъ, которое опредѣляется по числу часовъ ихъ занятій, то такое при настоящихъ штатахъ является не вполне удовлетворительнымъ только по отношенію къ нѣкоторымъ. По настоящимъ штатамъ 1 часъ лекціи оплачивается тремя стами рублей въ годъ, одинъ часъ руководства проектированіемъ на 4 и 5-мъ курсѣ также тремя стами, а 1 часъ руководства проектированіемъ на III курсѣ, черченіемъ на II и I курсѣ, рисованіемъ, практическими занятіями по математикѣ, механикѣ и проч. двумя стами рублей. Изъ послѣдней категоріи надо выдѣлить руководство проектированіемъ на III курсѣ, которое, по мнѣнію Совѣта, должно оплачиваться такъ же, какъ и руководство проектированіемъ на IV и V курсахъ, т. е. тремя стами руб., а также руководство черченіемъ второго курса, которое въ Томскомъ Технологическомъ Институтѣ поставлено такъ, что представляетъ собой въ сущности проектированіе деталей, требуетъ отъ руководителя подготовки и потому должно быть оплачиваемо выше, чѣмъ руководство черченіемъ I курса, именно, по мнѣнію Совѣта, двумя стами пятидесятью рублями за часъ. При этомъ Совѣтъ находитъ справедливымъ это повышеніе окладовъ дѣлать только для преподавателей, не получающихъ опредѣленнаго содержанія; если же занятія ведутся профессорами, получающими профессорское содержаніе и если эти часы являются для нихъ добавочными, то вознагражденіе за нихъ они должны получать по прежней нормѣ.

Ниже приведена таблица штатнаго содержанія и проектированнаго распредѣленія предполагаемой Министерствомъ двадцати-процентной прибавки.

	Число.	Содержаніе по штату одному.	Общая сумма со-державія по штату.	Проектуемое содержаніе одному.	Общая сумма про-ектируе-мага со-держанія.	Прибавка одному.	Общая сумма при-бавокъ.
Младшіе лаборанты	8	750 и квартира	6000	1500 и квартира	12000	750 100%	6000
Старшіе лаборанты	8	1200 и квартира	9600	1800 и квартира	14400	600 50%	4800
Врачъ	1	600	600	1500 и квартира	1500	900 и квартира 150%	900
Фельдшеръ	1	300 и квартира	300	600 и квартира	600	300 100%	300
Экстраординарные профессора . . .	11	3000	33000	3600	39600	600 20%	6600
Ординарные про-фессора	19	4500	85500	4800	91200	300 6,67%	5700
На вознагражденіе преподавателей по числу часовъ	—	—	57200	—	63040	—	5800 10,21%
За завѣдываніе ла-бораторіями и руководствомъ за-нятїями въ нихъ	16	—	—	500	8000	—	8000
Преподаватель бо-гословія	1	1000	1000	1200	1200	200 20%	200
Библиотечаръ . . .	1	1500	1500	2000 и квартира	2000	500 и квартира 33%	500
Помощникъ би-блиотечаря . . .	1	750	750	1000	1000	250 33%	250
			195450	—	234540	—	39090 20%

Общая сумма прибавки на все штатное содержание выразится въ суммѣ 39090 рублей въ годъ, что составитъ 20% отъ суммы, отпускаемой по штату на содержание преподавательскаго персонала, бібліотекаря, врача и фельдшера. Въ заключеніе Совѣтъ не считалъ себя въ правѣ, на основаніи циркуляра, касаться вознагражденій другимъ служащимъ Института, характеръ должностей которыхъ административный, а не учебный (сюда же отнесены между прочимъ директоръ и деканы), но считаетъ тѣмъ не менѣе своимъ нравственнымъ долгомъ указать, что штатное содержаніе этихъ служащихъ также очень низко, и почему увеличеніе его желательно по возможности въ скоромъ времени.

III. Возбуждено ходатайство объ учрежденіи третьей кафедры химіи.

Учебно-вспомогательныя учрежденія.

Учебно-вспомогательныя учрежденія и въ истекшемъ 1902 году все еще находились въ періодѣ организациі, причемъ многія изъ нихъ находились во временныхъ помѣщеніяхъ.

На оборудованіе этихъ учрежденій расходовались отчасти штатныя суммы, а отчасти заимствованныя, согласно разрѣшенія Министерства, изъ строительнаго кредита въ счетъ предположенныхъ къ отпуску на оборудованіе этихъ учрежденій.

Математическій кабинетъ.

Завѣдующій профессоръ **Ө. Э. Молинъ**. Къ 1-му января 1902 года въ кабинетѣ числилось различныхъ моделей и приборовъ на сумму. 1570 р.

Въ теченіе 1902 года приобрѣтено:

Приборовъ и моделей на сумму. 1226 р. 45 к.
Барогироскопъ Гильбера на „ 436 р. 93 к.

Подставки къ геометрическимъ проводочнымъ моделямъ на сумму 42 р.

Такимъ образомъ къ 1-му января 1903 года въ кабинетѣ имѣется моделей и приборовъ на сумму 1705 р. 38 к.

Физическая лабораторія.

Завѣдующій и. д. экстраординарнаго профессора А. И. Ефимовъ.

Въ истекшемъ 1902 году было израсходовано на:

1) Приобрѣтеніе инструментовъ и приборовъ	7969 р. 20	к.
2) Доставку ихъ по желѣзной доржѣ и почтѣ	677 р. 29	к.
3) Разнаго рода мебель и плотничныя и бетонныя работы по приспособленію временнаго помѣщенія лабораторіи	870 р. 90	к.
4) Книги и журналы	209 р. 93	к.
5) Освѣщеніе лабораторіи съ ноября 1901 г. по ноябрь 1902 г.	146 р. 88	к.
6) Жалованіе механику и служителю	937 р. 25	к.
7) Разнаго рода заказы на мѣстѣ, матеріалы и инструменты, канцелярскіе, почтовые, типографскіе и мелкіе расходы	845 р. 14 ¹ / ₂	к.
<u>Всего</u>		11656 р. 59 ¹ / ₂ к.

На уплату этой суммы было употреблено:

1) Изъ суммъ на содержаніе смѣты 1902 г.	4657 р. 01 ¹ / ₂	к.	}	4673 р. 53 ¹ / ₂ к.
перешло изъ смѣты 1901 г.	16 р. 52	к.		
2) Изъ суммъ на единовременные расходы смѣты 1902 г.	5407 р. 46	к.	}	6983 р. 06 к.
смѣты 1901 г.	1575 р. 60	к.		
<u>Всего</u>		11656 р. 59 ¹ / ₂ к.		

Всего-же израсходовано за истекшее время (конецъ 1900 г., 1901-й и 1902-й г.):

Изъ суммъ на содержаніе	9151 р. 15 ¹ / ₂	к.
Изъ суммъ на единовременные расходы	17109 р. 61	к.
<u>Итого</u>		26260 р. 76 ¹ / ₂ к.

Изъ этой суммы приходится на:

1) Инструменты и приборы	18463 р. 58	к.
2) Ихъ доставка	2010 р. 89	к.
3) Мебель и всякаго рода приспособленія	1934 р. 72	к.
4) Электрическое освѣщеніе и его устройство	529 р. 77	к.
5) Книги и журналы	540 р. 13	к.
6) Жалованіе механику и служителю	981 р. 25	к.
7) Заказы на мѣстѣ, химическіе и механическіе матеріалы и инструменты, канцелярскіе, почтовые, типографскіе и мелкіе расходы	1800 р. 42 ¹ / ₂	к.
<u>Итого</u>		26260 р. 76 ¹ / ₂ к.

Изъ происшедшихъ въ 1902 г. переменъ и усовершенствованій въ лабораторіи можно указать на слѣдующія;

1) Механикомъ физической лабораторіи съ начала года приглашенъ ученикъ механика С.-Петербургскаго университета В. Л. Францена А. П. **Завьяловъ** съ жалованіемъ 50 руб. въ мѣсяцъ и 25 р. въ мѣсяцъ квартирныхъ, съ обязательствомъ посвящать физической лабораторіи 6 часовъ ежедневной работы; вознагражденіе механику производится изъ суммъ на содержаніе лабораторіи.

2) Приобрѣтенъ отъ Кернера въ Берлинѣ токарный станокъ съ самоточкой и приспособленіемъ для фрезирования; при наличности механика станокъ этотъ вмѣстѣ съ приобретенными ранѣе болѣе простыми различными инструментами и матеріалами позволяетъ теперь физической лабораторіи производить не только починку, но и постройку инструментовъ и приборовъ въ собственной мастерской, для которой отгорожена небольшая часть временно занимаемаго лабораторіей помѣщенія.

3) Динамо-машина Шукерта, соединенная съ $4\frac{1}{2}$ саженымъ двигателемъ переменнаго тока, и дающая постоянные, трехъ токи;

4) Батарея изъ 36 аккумуляторовъ фирмы Тюдора въ С. Петербургѣ емкостью 130 амперъ-часовъ при разрядномъ токѣ 13 амперовъ; батарея эта временно установлена въ подвальному этажѣ подъ физической лабораторіей, заряжается вышеупомянутой динамо-машиной и позволяетъ на лекціяхъ для всякаго рода проектированія примѣнять вольтову дугу.

5) Пять переносныхъ двойныхъ аккумуляторовъ фирмы Тюдора въ ящикахъ.

6) Двѣ индукціонныхъ катушки: одна работы Кейзера и Шмидта въ Берлинѣ съ искрой въ 30 сантиметровъ и различными прерывателями; другая работы Макса Коля въ Хемницѣ съ искрой въ 15 сантиметровъ.

7) Электрическая машина Теплеръ съ двумя неподвижными и двумя подвижными кругами.

Лабораторія неорганической химіи.

(аналитическая и физико-химическая).

Завѣдующій профессоръ Д. П. Турбаба.

Въ истекшемъ 1902 г. въ лабораторіи приобрѣтено:

1) Приборовъ для лекціонныхъ опытовъ и практическихъ занятій студентовъ на . 3201 р. 60 к.

2) Платины	39 р. 48 к.
3) Серебра	— р. — к.
4) Посуды металлической простой	23 р. 52 к.
5) Посуды фарфоровой и глиняной	74 р. 10 к.
6) „ стеклянной	1188 р. 23 к.
7) Коллекцій и наборовъ	116 р. 25 к.
8) Мебели	327 р. 30 к.
9) Справочныхъ книгъ и періодическихъ изданій	76 р. 22 к.
10) Реагенты и препараты	2348 р. 72 к.
11) Разнаго рода имущества	3028 р. 75 к.
12) Желѣзн. дорогамъ за доставку вещей	640 р. 76 к.
Итого на сумму	
	11064 р. 93 к.

Лабораторія органической химіи.

Завѣдующій профессоръ Н. М. Кижнеръ.

Находилась во временномъ помѣщеніи. Къ 1-му января 1902 г. въ лабораторіи числилось:

Приборовъ и посуды на сумму	2623 р. 40 к.
Химическихъ препаратовъ	1484 р. 50 к.

Въ теченіе 1902 года поступило:

Химическихъ аппаратовъ и посуды на сумму	13319 р. 09 к.
Химическихъ матеріаловъ на сумму	377 р. 73 к.
Химическихъ вѣсовъ	1108 р. 06 к.
Книгъ на	581 р. 26 к.
Всего на сумму	
	15286 р. 04 к.

Такимъ образомъ на 1-ое января 1903 года числится въ общемъ:

Приборовъ и посуды на	15942 р. 49 к.
Химическихъ препаратовъ и матеріаловъ	1862 р. 23 к.
Химическихъ вѣсовъ	1108 р. 06 к.
Книгъ на	581 р. 26 к.

Между приобретенными наиболѣе важными являются:

1) поляризационный аппаратъ Ландольта; 2) 4 вѣсовъ отъ Рупрехта для студентовъ и 2 вѣсовъ для профессора и лаборантовъ и 1 демонстративные; 3) Рефрактометръ Аббэ и 4) Chemisches Centralblatt съ 1835 года.

Металлургическая лабораторія.

Завѣдующій профессоръ **І. И. Рончевскій.**

На оборудованіе и содержаніе металлургической лабораторіи къ 1-му января 1903 года было израсходовано:

1) На лабораторную мебель	1450 р. — к.
2) На приборы и посуду	3097 р. 35 к.
3) На газо-водопроводныя принадлежности	470 р. 85 к.
4) На реактивы	336 р. 32 к.
5) На приобрѣтеніе маталлургич. коллекцій	250 р. — к.
6) На огнеупорный матеріалъ для печей и изразцы для тягъ	778 р. — к.
<hr/>	
Всего на сумму	6382 р. 52 к.

Геологическій кабинетъ.

Завѣдующій профессоръ **В. А. Обручевъ.**

Въ теченіе 1902 года въ геологическій кабинетъ поступило всего 238 предметовъ на сумму 4514 р. 06 к., въ томъ числѣ:

- 1) Книгъ и картъ 216 названій въ 431 томѣ на сумму 2094 р. 02 к.
изъ нихъ 48 названій въ 58 томахъ получены въ даръ.
- 2) Коллекцій микроскопическихъ шлифовъ 15 названій (696 шт.) на сумму 443 р. 40 к.
- 3) Коллекцій горныхъ породъ и полезныхъ ископаемыхъ 13 названій въ 830 экземплярахъ на сумму 41 р. 81 к.
большая часть этихъ коллекцій, именно 12 названій въ 741 экземплярахъ получена въ даръ (отъ А. П. Герасимова, Л. Н. Любимова, В. А. Обручева, П. И. Преображенскаго, г. Пылкова, В. В. Рассушина); кромѣ того по тому-же отдѣлу получены еще коллекціи отъ г. Ларина, Н. М. Мартянова, И. В. Проскурякова, И. Л. Шейнцвита и П. К. Щелкунова, но не раскупорены по недостатку мѣста въ временномъ помѣщеніи кабинета и потому не записаны въ инвентарь.
- 4) Мебели приобрѣтено на сумму 1580 р. — к.

5) Различныхъ принадлежностей для пригото- вленія шлифовъ и для анализовъ	84 р. 63 к.
6) Принадлежностей для экскурсій	129 р. 55 к.
7) Картонныхъ коробочекъ для образчиковъ горныхъ породъ заготовлено 6000 шт.	122 р. — к.
8) Канцелярскихъ принадлежностей	19 р. 20 к.

Изъ приобретений заслуживаютъ упоминанія: по отдѣлу книгъ почти полная серія журнала „Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie“ за годы 1835—1901, необходимаго для справокъ, купленная на общія средства кабинетовъ минералогическаго, геологическаго и палеонтологическаго; далѣе полная серія „Monographs of the United States Geological Survey“ и годовыхъ отчетовъ того же „Survey“ за все время его существованія; наконецъ Hall „Palaentology of New-Jork“.

По отдѣлу коллекцій: коллекціи П. И. Преображенскаго изъ Бакальскаго рудника на Уралѣ и съ линіи предполагаемой жел. дороги Уфа-Магнитная; коллекція А. П. Герасимова съ золотыхъ приисковъ бассейна р. Жуи въ Ленскомъ горномъ округѣ; коллекціи В. А. Обручева съ золотыхъ приисковъ бассейна р. Бодайбо въ томъ же округѣ и изъ разныхъ мѣстъ Забайкальской области.

Въ итогъ къ 1-му января 1903 года по геологическому кабинету состояло:

Книгъ и картъ 336 названій въ 602 томахъ на сумму	3187 р. 78 к.
Микроскоповъ и принадлежностей къ нимъ на сумму.	1158 р. 29 к.
Коллекцій шлифовъ 22 названія (1398 шт.) на сумму.	907 р. 90 к.
Коллекцій горныхъ породъ 14 въ 950 экзем- плярахъ на сумму	86 р. 81 к.
Принадлежностей для шлифовъ и анализовъ на сумму	349 р. 23 к.
Принадлежностей для экскурсій на сумму	129 р. 55 к.
Мебели на сумму	1580 р. — к.
Канцелярскихъ принадлежностей и коробочекъ на сумму	224 р. 94 к.
<hr/>	
Всего на сумму	7624 р. 50 к.

Минералогическій кабинетъ.

Завѣдующій профессоръ А. М. Зайцевъ.

Къ 1-му января 1902 года было приобрѣтено для кабинета на сумму 4489 р. 58 копѣекъ. Въ частности приобрѣтенія распредѣлились по отдѣламъ:

Наименованіе прибрѣтеній по отдѣламъ.		Число экземпля- ровъ.	СУММА.	
			Рубли.	Коп.
1	Мебель, канцелярскія принадлежности и пр.	44	315	55
2	Приборы, инструменты, препараты .	575	2362	88
3	Модели	748	871	17
4	Таблицы и проч.	—	—	—
5	Минералогическія коллекціи	679	867	36
6	Книги	47	72	62
Итого		2093	4489	58
Въ теченіе 1902 года приобрѣтено.				
1	Мебель, канцелярскія принадлежности и пр.	68	822	27
2	Приборы, инструменты и препараты	149	268	32
3	Модели	52	133	—
4	Таблицы и пр.	203	207	—
5	Минералогическія коллекціи	—	—	—
6	Книги	75	359	33
Итого		547	1789	92
			+101	01
Къ 1-му января 1903 года состоитъ.				
1	Мебель, канцелярскія принадлежности и пр.	112	1137	82
2	Приборы, инструменты, препараты .	742	2631	20
3	Модели.	800	1004	17
4	Таблицы и проч.	203	207	—
5	Минералогическія коллекціи	679	867	36
6	Книги	112	431	95
Всего		2640	6279	50
			101	01

Главнѣйшія пріобрѣтенія въ теченіе отчетнаго года.

1) Отъ книжной торговли Дейерлиха въ Геттингенѣ:
Учебныя пособія и справочныя изданія.

2) Отъ столяра Ермакова:

Шкафы для бібліотеки кабинета, для инструментовъ и лабораторныхъ принадлежностей.

3) Отъ столяра Медвѣдева:

Шкафы для минералогическихъ коллекцій и столы для занятій студентовъ въ помѣщеніи кабинета.

Библіотека.

И. об. бібліотекаря профессоръ А. Э. Сабекъ.

Къ 1-му января 1902 года по инвентарю бібліотеки Института значилось названій 5945 (въ отчетѣ за 1901 г. было ошибочно показано число экземпляровъ 6751) въ томахъ 10997 (въ томъ числѣ пожертвованій 1822) всего на сумму 27961 р. 32 к.

Въ теченіе 1902 г. въ бібліотеку поступило и записано въ инвентарь назваій 1439 въ томахъ 5920 (въ томъ числѣ пожертвованій 853), всего на сумму 20540 р. 62 к. (въ томъ числѣ издержано на пересылку изданій 562 р. 75 к. и на переплетъ книгъ 1299 р. 86 коп.).

Такимъ образомъ къ 1-му января 1903 г. по инвентарю бібліотеки значится названій 7384 въ томахъ 16917 (въ томъ числѣ пожертвованій 2675) всего на суму 48989 руб. 94 к. (сюда вошли 488 руб. за *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft* и *Dinglers polytechnisches Journal*, которые были уплачены въ 1901 г., но въ итогъ того года не вошли.)

Къ числу главнѣйшихъ пріобрѣтеній, сдѣланныхъ въ 1902 году, надо отнести слѣдующіе журналы, выписанные съ основанія:

3993. <i>Chemische Industrie</i> Bd. I—XXII	97 р. 50 к.
3995. <i>Bulletin of the geological Survey of India</i> Vol. I—XXXIV	285 р. — к.
3999. <i>Fortschritte der Electrotechnik</i> Jahrg. I—XIV.	90 р. — к.
4002. <i>Bulletin de la société mineralogique de France</i> T. I—XXIII	250 р. — к.
4246. <i>Jahrbuch d. K. K. Reichsanstalt</i> Bd. I—L.	315 р. — к.
291. <i>Annales des mines</i> 1839—99.	375 р. — к.
4278. <i>Paläontologische Abhandlungen</i> Bd. I—VIII	197 р. 50 к.
4280. <i>Beiträge zur Paläontologie und Geologie</i> Bd. I—XIII .	185 р. — к.
4726. <i>Memoires presentées devant de l'academie de France</i> T. 1—33.	220 р. — к.
1457. <i>Journal of the Iron and Steel Institute</i> 1871—1901 . .	375 р. — к.
2227. <i>Transactions of the american Institute of mining engi-</i> <i>neers</i> Vol. I—XXI.	475 р. — к.
4728. <i>Minuts of proceedings of the Institution of civil-engi-</i> <i>neers</i> Vol. I—CXLVI.	782 р. 50 к.

4729. Memoires de la societé géologique de France (Palaeontologie 104.10) Paris 1830—90	380 p. 35 к.
4732. Thonindustriezeitung I—XXV	150 p. — к.
4733. Revue industrielle. Paris 1871—901	250 p. — к.
4722. American geologist Vol. 1—28.	125 p. — к.
4734. Bulletin de la societe de l'industrie minerale Paris 1855—93	233 p. — к.
2230. Zeitschrift für analytische Chemie I—XXXIV Jahrgang.	150 p. — к.
4739. Bulletin de la societé géologique de France Paris 1830—90	374 p. — к.
4740. Revue universelle des mines, de la metallurgie etc Paris, 1875—99	249 p. — к.
4741. Portefeuille économique des machines Paris, 1856—901	182 p. — к.
4742. Proceedings of the Institute of mechanical engineers London, 1847—901.	340 p. — к.
4744. Transactions american society of mechanical engineers Vol. I—XXI	600 p. — к.
4748. Annales des Sciences géologiques Vol. I—XXII.	100 p. — к.
4751. Geological Magazine Vol. I—XXXVIII.	205 p. 87 к.
4752. Mineralogical Magazine Vol. I—XIII.	115 p. — к.
2255. Organ für die Fortschritte der Eisenbahnwesens Jahrgang 1880—900.	190 p. — к.
4753. Civil ingenieur Jahrg. 1875—91	90 p. — к.
4797. Proceedings of the Royal Society of London 1832—900	242 p. — к.

Палеонтологическій кабинетъ.

Завѣдующій профессоръ М. Е. Янишевскій.

Приобрѣтена для палеонтологическаго кабинета, у Кранца въ г. Боннѣ палеонтологическая коллекція, содержащая въ себѣ 295 видовъ окаменѣлостей, начиная съ Protozoa и кончая Arthropoda; стоимость ея 500 рублей. Рядомъ съ этой коллекціей нужно отмѣтить полученныя отъ Кранца же 3 коллекціи: а) коллекція окаменѣлостей, представляющая различные способы сохраненія органическихъ остатковъ; б) коллекція брахіоподъ, представляющая различный характеръ ручнаго аппарата и с) коллекція микроскопическихъ шлифовъ ископаемыхъ представителей типовъ (начиная съ Protozoa и кончая Arthropoda.) Стоимость этихъ 3 коллекцій 164 рубля. Кроме того отъ общества „Linnaea“ въ Берлинѣ получены 2 коллекціи современныхъ раковинъ, имѣющихъ значеніе для палеонтологіи; стоимость ихъ 133 руб. 50 коп.

Въ бібліотеку кабинета были приобрѣтены отъ Гирземана въ Лейпцигѣ: 73 палеонтологическихъ таблицы Циттеля и Гаусгофера, стоимостью 187 р. 50 коп., и различныхъ палеонтологическихъ книгъ на сумму 90 р. 81 к.

Наконецъ для кабинета были приобрѣтены различныя

мелкія вещи, какъ то письменныя принадлежности, лупы, циркуль и т. п. Всего по инвентарной книгѣ палеонтологическаго кабинета за 1902 годъ числится инвентаря на сумму 1084 руб. 09 коп.

Кабинетъ деталей машинъ.

Временно-завѣдующій профессоръ И. И. Бобарыковъ.

Въ кабинетъ деталей машинъ сдѣланы слѣдующія приобрѣтенія:

а) Отъ фирмы Ritter'a смазывающіе аппараты на сумму	167 р. 84 к.
б) Отъ фирмы Dreyer, Rosenkranz & Droop части машинъ	363 р. 46 к.
в) „ „ Frederking тоже	821 р. 83 к.
г) „ „ Berlin—Anhaltische Maschinenbau Actiengesellschaft тоже	747 р. 87 к.
е) Отъ фирмы Otto Gruson зубчатыя колеса	272 р. 71 к.
ф) „ I. Grob части машинъ	219 р. 95 к.
и) „ Томскаго ремесленнаго училища	133 р. — к.
і) Сдѣлаво 12 штукъ настѣнныхъ чертежей по деталямъ машинъ на сумму	183 р. 25 к.
Всего	2909 р. 91 к.

Механическая лабораторія.

Завѣдующій профессоръ И. И. Бобарыковъ.

Въ истекшемъ году:

а) мебели на сумму	227 р. 50 к.
б) Книгъ отъ Фокка	426 р. 93 к.
тоже отъ Макушина	46 р. 16 к.
Всего	700 р. 59 к.

Лабораторія химической технологіи питательныхъ веществъ.

Завѣдующій профессоръ Е. Л. Зубашевъ.

Въ 1902 году сдѣланы слѣдующія приобрѣтенія:

5 Химическихъ столовъ	1380 р.
Химическая посуда и приборы	1100 р.
Разные мелкіе расходы	86 р. 83 к.
Итого	2566 р. 83 к.

1186 р. 83 к. израсходовано изъ штатныхъ суммъ, а 1380 р. изъ суммъ, отпущенныхъ на оборудованіе лабораторій.

Геодезическій кабинетъ.

Завѣдующій преподаватель инженеръ Л. Н. Любимовъ.

Приобрѣтено для геодезическаго кабинета:

Тахеометръ Муано, шесть биноклей, двѣ рейки, всего на сумму 400 рублей.

Рисовальный музей.

Завѣдующій З. А. Рокачевскій.

Для рисовальнаго музея выписаны изъ Москвы отъ худож. магазина Брокманъ 73 шт. гипсовыхъ моделей на сумму около 200 руб., сдѣланы 4 шкафа для храненія гипсовыхъ моделей, цѣною всего 800 руб., и 20 шт. багетныхъ рамъ для вывѣшиванія лучшихъ работъ студентовъ по рисованію.

Учащіеся.

Къ первому января 1902 года въ Институтѣ состояло студентовъ на первомъ курсѣ механическаго отдѣленія 136, горнаго отдѣленія 104, химическаго отдѣленія 62; на II курсѣ механическаго отдѣленія 54, химическаго отдѣленія 15, а всего 371. Кромѣ того состояло вольно-слушателей на I курсѣ 3 и на II курсѣ 3. Въ теченіе перваго полугодія выбыло изъ Института 71. Такимъ образомъ къ концу 190¹/₂ учебнаго года состояло студентовъ на I курсѣ 194, на II курсѣ 64.

По экзаменамъ переведены на слѣдующіе курсы: на третій курсъ механическаго отдѣленія 40, химическаго отдѣленія 4, на второй курсъ механическаго отдѣленія 76, горнаго отдѣленія 56, и химическаго отдѣленія 31. Кромѣ того, выдержали экзамены и зачислены въ число студентовъ 2-го курса 2 бывшихъ студента Харьковскаго Технологическаго Института, одинъ бывший студентъ Томскаго Технологическаго Института и 2, окончившіе курсъ Красноуфимскаго реальнаго училища; изъ нихъ одинъ принятъ на 2-й курсъ механическаго отдѣленія, 3 на 2-й курсъ горнаго отдѣленія и одинъ на 2-й курсъ химическаго отдѣленія. Оставлены на второй годъ въ томъ-же курсѣ: на 2-мъ курсѣ 11 студентовъ механическаго отдѣленія и 9 студентовъ химическаго отдѣленія, при чемъ изъ нихъ два студента механическаго отдѣленія и четыре студента химическаго отдѣленія выдержали дополнительные экзамены по кристаллографіи и переведены на горное отдѣленіе. На 1-мъ курсѣ оставлены на 2-й годъ механическаго отдѣленія 12 студент., горнаго отдѣленія 15 студент. и химическаго отдѣленія 4 студента.

Въ августѣ мѣсяцѣ отчетнаго года происходили конкурсные испытанія для пріема студентовъ на всѣ четыре отдѣленія: механическое, инженерно-строительное, горное и химическое, при чемъ, согласно постановленія Совѣта, объявлено было число вакансій на механическомъ 100, инженерно-строительномъ 50, горномъ 100 и химическомъ 50.

Общее число подавшихъ прошенія о пріемѣ равнялось 555: на механическомъ отдѣленіи 230, горномъ отдѣленіи 198, химическомъ отдѣленіи 70 и инженерно-строительномъ отдѣленіи 57. Изъ нихъ зачислены безъ конкурсныхъ испытаній, согласно § 25 положенія о Томскомъ Технологическомъ Институтѣ, уроженцы Азіатской Россіи или же окончившіе курсъ средне-учебныхъ заведеній Азіатской Россіи 111 человекъ: на механическое отдѣленіе 46, горное 44, химическое 4 и инженерно-строительное 17. Приступили къ конкурснымъ испытаніямъ 313 человекъ, изъ которыхъ приняты 228: на механическое отдѣленіе 67, горное 69, химическое 53 и инженерно-строительное 39. Такимъ образомъ первоначально было зачислено въ число студентовъ 339 лицъ, затѣмъ согласно разрѣшенія Министра Народнаго Просвѣщенія увеличить % норму для лицъ іудейскаго вѣроисповѣданія, были зачислены еще 8 лицъ іудейскаго исповѣданія, выдержавшихъ конкурсъ, но не зачисленныхъ ранѣе за отсутствіемъ вакансій для лицъ іудейскаго вѣроисповѣданія.

Кромѣ того, были присланы на десять министерскихъ вакансій 15 кандидатовъ, изъ которыхъ въ дѣйствительности пріѣхали 11 человекъ.

Изъ принятыхъ безъ конкурсныхъ испытаній не явились въ Институтъ 10 человекъ и, кромѣ того, выбыли изъ Института согласно прошенія 16, а одинъ умеръ. Такимъ образомъ къ 1-му января 1903 года состоитъ въ Институтѣ студентовъ 591.

О Т Д Ъ Л Е Н І Я.	І в.	ІІ в.	ІІІ в.	Всего.
Механическое.	113	96	43	252
Горное.	112	73	—	185
Химическое.	59	35	4	98
Инженерно-Строительное	56	—	—	56
Всего	343	201	47	591

Распредѣленіе студентовъ по мѣсту рожденія и по вѣроисповѣданіямъ показано въ приложеніи № 5. Кромѣ того, въ Институтѣ состоятъ вольнослушателями 18 человекъ.

Занятія студентовъ, какъ въ первой половинѣ истекшаго года, такъ въ особенности во второй были вполнѣ удовлетворительны въ смыслѣ посѣщаемости практическихъ занятій и чертежныхъ залъ. Посѣщаемость лекцій довольно удовлетворительна только въ началѣ учебнаго года, т. е. сентябрь, октябрь и начало ноября мѣсяца, а затѣмъ начинаетъ значительно ослабѣвать. Въ началѣ января истекшаго года были произведены испытательные полугодичные экзамены, при чемъ таковыя держало болѣе половины студентовъ.

Значеніе этихъ экзаменовъ, какъ облегченія для весеннихъ съ одной стороны, и съ другой, какъ средство равномерно распредѣлять свои занятія, проникаетъ въ сознаніе студентовъ и они охотно ихъ держатъ.

Въ матеріальномъ отношеніи студенты обезпечены не достаточно. Въ распоряженіи Комитета по студенческимъ дѣламъ имѣлись въ первомъ полугодіи 25 казенныхъ стипендій и во второмъ 50. Кромѣ того, имѣлись 8 стипендій различныхъ городовъ Сибири.

Въ первомъ полугодіи пользовались казенными стипендіями въ 300 руб. двадцать два студента, а во второмъ пятьдесятъ студентовъ; остатокъ отъ казенныхъ стипендій, въ количествѣ 2250 руб. былъ розданъ студентамъ въ видѣ единовременныхъ пособій. Кромѣ казенныхъ стипендій различными обществами были назначены слѣдующія стипендіи и пособія.

Числящіяся при Институтѣ стипендіи.

Томскаго Городскаго Общественнаго Управленія 4 стипендіи—1200 руб.; эти стипендіи Городскимъ Управленіемъ распредѣлены между пятью студентами.

Красноярскаго Городскаго Общественнаго Управленія 1 стипендія	300 руб.
Енисейскаго Городскаго Управленія 1 стипендія	300 руб.
Петропавловскаго Городскаго Управленія 1 стипендія	360 руб.
Омскаго Городскаго Управленія 1 стипендія	300 руб.
Министерства Внутреннихъ Дѣлъ 1 стипендія	360 руб.

Томскаго Губернскаго Акцизнаго Управле- нія двѣ стипендіи по 120 рублей въ полугодіе	240 руб.
Пермской Губернской Управы 1 стипендія .	275 руб.
Совѣта съѣзда марганце-промышленниковъ Кутаисской губ. пособие одному студенту .	270 руб.
Стипендія Генерала Бѣневскаго	239 руб. 75 к.
Енисейской Городской Думы 1 стипендія . .	332 руб. 52 к.
Дворянства области Войска Донскаго 1 стип.	360 руб.
Военнаго Губернатора о. Сахалина 1 (полугодіе)	120 руб.
Общества пособия учащимся Восточной Си- бири 1 стипендія	300 руб.
Шадринской Земской Управы пособие одному студенту	150 руб.
Вятской Губернской Земской Управы пособия .	975 руб.
Тремъ студентамъ по	150 руб.
Двумъ „ по	120 руб.
Тремъ „ по	75 руб.
Одному „	60 руб.
Комитета Общества вспомошествованія недо- статочнымъ студентамъ Тобольской губ. 4 стипендіи по 60 руб. всего:	240 руб.
Общества пособия учащимся Владивостокской гимназіи пособие одному студенту	135 руб.
Ремесленнымъ воспитательнымъ заведеніемъ имени Н. П. Трапезникова 1 студенту	140 руб.
Самарскимъ Обществомъ поощренія образова- нія пособия двумъ студентамъ по 40 руб. и одному 50 руб. всего	130 руб.
Саратовскимъ Обществомъ вспомошествованія недостаточнымъ молодымъ людямъ, стре- мящимся къ высшему образованию, 2 сту- дентамъ по 40 руб., всего	80 руб.
Кавказскимъ Обществомъ вспомошествованія учащимся 2 студентамъ по 30 руб., всего	60 руб.
Курскимъ Обществомъ вспомошествованія учащимся	12 руб. 84 к.
Казанскимъ университетомъ	20 руб.
Кромѣ того, внесено фирмой Эрлангеръ за слушаніе лекцій 2 студентамъ	100 руб.
и роздано пособій 127 студентамъ на сумму собранныхъ съ вечера, даннаго въ пользу недостаточныхъ студентовъ 6-го декабря 1902 г.	2644 руб.

Всего роздано студентамъ въ видѣ стипендій и въ видѣ пособій изъ штатныхъ суммъ. 11250 руб.

Стипендій и пособій отъ различныхъ Правительственныхъ учреждений, городскихъ и земскихъ управленій и пожертвованій частныхъ лицъ 9764 руб. 41 к.

ВѢДОМОСТЬ

о личномъ составѣ Томскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II
къ 1-му январю 1903 года.

Директоръ.	Профес- соры.		Препода- ватели.		Лаборанты			Инспекторъ.	Его Помощники.	Библиотекаръ.	Его Помощникъ.	Дѣлопроизводитель.	Его Помощникъ.	Бухгалтеръ.	Его Помощникъ.	Смотритель зданий.	Архитекторъ.	Врачъ.	ВСЕГО.
	Ординарные.	Экстра-ординарные.	Штатные.	По найму.	Старшіе штатные.	Младшіе штатные.	По найму.												
1	5	11	11	17	5	1	—	1	3	1 ¹⁾	1 ²⁾	1	1	1	1	1 ³⁾	—	1	63

¹⁾ Обязанности библиотекара исполнялъ и. д. экстра-ординарнаго профессора А. Э. Сабень, по вакантной должности.

²⁾ Изъ платы по найму.

³⁾ Изъ платы по найму.

УЧЕБНЫЙ ПЛАНЪ

Томскаго Технологич. Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II

на 190¹/₂ учебный годъ.

I-ый КУРСЪ.

Предметы общіе для всѣхъ отдѣленій.

	I ПОЛУГОДИЕ.		II ПОЛУГОДИЕ.	
	Лекціи.	Упражне- нія.	Лекціи.	Упражне- нія.
Богословіе	2	—	2	—
Физика	3	2	3	2
Аналитическая геометрія	2	—	2	—
Практическія упражненія по анали- тической геометріи	—	1	—	1
Начертательная геометрія	4	—	—	—
Практическія упражненія по начер- тательной геометріи (6 группъ)	—	2	—	—
Химія	4	—	4	—
Геодезія	1	—	1	—
Практическія занятія по геодезіи (въ 6-ти группахъ)	—	1/2	—	1/2
Механика (теоретическая)	—	—	4	—
Практическія упражненія по меха- никѣ (въ 6-ти группахъ)	—	—	—	2
Черченіе (въ 5-ти группахъ)	—	6	—	6
Рисованіе (въ 4-хъ группахъ)	—	4	—	4
	16	15 ¹ / ₂	16	15 ¹ / ₂

Въ отдѣленіяхъ.

	Механическое.				Химическое.				Горное.			
	1 полугодіе		2 полугодіе		1 полугодіе		2 полугодіе		1 полугодіе		2 полугодіе	
	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.
Дифференціальное и интегральное исчисления	3	—	3	—	2	—	2	—	2	—	2	—
Практическія упражненія по дифференціальному исчисленію (6 группъ)	—	1	—	1	—	1	—	1	—	1	—	1
Аналитическая химія	—	—	—	3	—	—	—	5	—	—	—	5
Общая минералогія	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1	2	1
Нѣмецкій языкъ 2 ч. и Англійскій языкъ 2 ч.												
Итого	19	16 ¹ / ₂	19	19 ¹ / ₂	18	16 ¹ / ₂	18	21	20	17 ¹ / ₂	20	22 ¹ / ₂

II-й КУРСЪ

(МЕХАНИЧЕСКОЕ и ХИМИЧЕСКОЕ ОТДѢЛЕНІЯ).

Предметы общіе для всѣхъ отдѣленій.

	I ПОЛУГОДИЕ.		II ПОЛУГОДИЕ.	
	Лекціи.	Упражне- нія.	Лекціи.	Упражне- нія.
Физика	4	2	4	2
Графическая статика и сопротивле- ніе матеріаловъ	4	—	2	—
Практическія упражненія по со- противленію матеріаловъ (въ 3-хъ группахъ).....	—	1	—	1
Строительное искусство.....	2	—	2	—
Архитектура	2	—	2	—
Черченіе техническое и архитектур- ное (3 группы)	—	4	—	4

Въ отдѣленіяхъ.

	Механическое.				Химическое.			
	1 полугодіе.		2 полугодіе.		1 полугодіе.		2 полугодіе.	
	Лекцій.	Упражн.	Лекцій.	Упражн.	Лекцій.	Упражн.	Лекцій.	Упражн.
Математика	3	—	3	—	2	—	—	—
Практическія упражненія по математикѣ (въ 3-хъ группахъ)	—	2	—	2	—	1	—	—
Теоретическая механика	3	—	3	—	—	—	—	—
Практическія упражненія по механикѣ (въ 2-хъ группахъ)	—	2	—	2	—	—	—	—
Теорія механизмовъ	2	—	2	—	—	—	—	—
Прикладная механика	—	—	—	—	2	—	2	—
Детали машинъ	—	—	3	—	—	—	—	—
Органическая химія	—	—	—	—	4	—	4	—
Минералогія	—	—	—	—	2	—	2	2
Занятія въ аналитическихъ лабораторіяхъ	—	3	—	—	—	12	—	12
Нѣмецкій яз. 2 ч. и Англійскій яз. 2 ч.								
Всего	20	14	21	11	22	20	18	21

УЧЕБНЫЙ ПЛАНЪ

Гомскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II
на 190²/₃ учебный годъ.

I-й КУРСЪ

механическаго, инженерно-строительнаго, горнаго и химическаго отдѣлений.

Предметы общія для всѣхъ категорій.

	I ПОЛУГОДИЕ.		II ПОЛУГОДИЕ.	
	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.
Богословіе	2	—	2	—
Физика	3	2	3	2
Аналитическая геометрія	2	—	2	—
Практическія упражненія по аналитической геометріи въ 7 груп.	—	1	—	1
Дифференціальное и интегральное исчисленія	3	—	—	—
Практическ. упражненія по дифферен. исчисленію	—	2	—	—
Начертательная геометрія	3	—	1	—
Практич. упражнен. по начертательн. геометріи въ 7 группахъ	—	2	—	—
Теоретическая механика	2	—	2	—
Практическія упражн. по механикѣ въ 7 группахъ	—	1	—	1
Химія	4	—	4	—
Геодезія	1	—	1	—
Практ. упражн. по геодезіи въ 7 гр.	—	1/2	—	1/2
Технологія металловъ	—	—	3	—
Черченіе (8 группъ).	—	6	—	6
Рисованіе (6 группъ).	—	4	—	2
Архитектурное черченіе.	—	—	—	2

Въ отдѣленіяхъ.

	Механическомъ.		Инж.-строительномъ		Горномъ.		Химическомъ.	
	1 полуг.	2 полуг.	1 полуг.	2 полуг.	1 полуг.	2 полуг.	1 полуг.	2 полуг.
	Л. Упр.	Л. Упр.	Л. Упр.	Л. Упр.	Л. Упр.	Л. Упр.	Л. Упр.	Л. Упр.
Диффер. и интегральное исчисленіе		3		3		2		2
Практич. упражн. по диф- ференц. и интегр. исчи- сленію въ 7 групп.		1		1		1		1
Общая минералогія					2	1	2	1
Аналитическ. химія								5
Топограф. черченіе			1	1				
Геодезія				1				
ИТОГО ...	20 18 ¹ / ₂	21 15 ¹ / ₂	20 19 ¹ / ₂	22 16 ¹ / ₂	22 19 ¹ / ₂	22 16 ¹ / ₂	20 18 ¹ / ₂	20 20 ¹ / ₂

Нѣмецкій языкъ 2 часа, Англійскій—2 часа и Французскій—2 часа.

II-й КУРСЪ

МЕХАНИЧЕСКОЕ, ГОРНОЕ и ХИМИЧЕСКОЕ ОТДѢЛЕНІЯ.

Предметы общіе для всѣхъ трехъ отдѣленій.

	1 полугодіе.		2 полугодіе.	
	Лекц.	Упр.	Лекц.	Упр.
Физика	3	2	3	2
Графическая статика	1	—	1	—
Сопротивленіе матеріаловъ	3	—	2	—
Практич. упражн. по сопротив. матеріаловъ (5 гр.) ...	—	1	—	1
Строительное искусство	2	—	2	—
Архитектура	2	—	2	—
Черченіе архитектурн. (Сент., Октябрь и Ноябрь)	—	4	—	4
» технич. (Дек., Янв., Февр., Мартъ и Апр.) } 5 гр.				

Въ отдѣленіяхъ.

	Механическое.				Горное.				Химическое.			
	1		2		1		2		1		2	
	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.	Лекціи.	Упражн.
Математика	3	—	3	—	2	—	—	—	2	—	—	—
Практическія упраж. по математикѣ (3 группы)	—	2	—	2	—	1	(2 гр.)	—	1	(1 г.)	—	—
Теоретическая механика	3	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Практич. упражн. по механикѣ (3 гр.)	3 гр.	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Теорія механизмовъ	2	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Практич. упражн. по теоріи механизмовъ (1 группа)	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Детали машинъ	1	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Органическая химія	—	—	—	—	2	—	2	—	4	—	4	—
Минералогія	—	—	—	—	2	1	2	1	2	1	2	1
Прикладная механика. (теорія механизмовъ, детали машинъ, гидравлика)	—	—	—	—	2	—	2	—	2	—	2	—
Палеонтологія	—	—	—	—	2	—	2	—	—	—	—	—
Занятія по аналитической химіи	—	3	—	—	—	12	—	12	—	12	—	12
Итого	20	14	20	11	21	20	18	20	21	21	18	20

Нѣмецкій языкъ—2 часа, Французскій—2 часа и Англійскій—2 часа.

III-й КУРСЪ

МЕХАНИЧЕСКОЕ и ХИМИЧЕСКОЕ ОТДѢЛЕНІЯ.

Предметы общіе для всѣхъ отдѣленій.

	I ПОЛУГОДИЕ.		II ПОЛУГОДИЕ.	
	Лекціи.	Упражненія.	Лекціи.	Упражненія.
Электротехника.....	2	2 (лаб.)	2	2 (лаб.)
Технологія строительныхъ материал...	2	—	—	—
Технологія воды и топлива.....	1	—	1	—
Отопленія и вентиляція.....	2	—	—	—
Паровые котлы.....	3	—	—	—
Архитектурное проектированіе (2 гр.)	—	3	—	3

Въ отдѣленіяхъ:

	Механическое.				Химическое.			
	1 пол.		2 пол.		1 пол.		2 пол.	
	Лекц.	Прак. зан.	Лекц.	Прак. зан.	Лекц.	Прак. зан.	Лекц.	Прак. зан.
Механическая теорія тепла....	4	—	—	—	—	—	—	—
Прилож. механ. теоріи тепла къ паров. маш.....	—	—	4	—	—	—	—	—
Паровыя машины (конструкція).	—	—	4	—	—	—	—	—
Гидравлика и гидравл. двигат..	2	—	2	—	—	—	—	—
Технологія металловъ (литейн. и кузн.).....	—	—	4	—	—	—	—	—
Детали машинъ.....	2	—	—	—	—	—	—	—
Подъемныя машины.....	2	—	—	—	—	—	—	—
Керамика и стекло.....	—	—	—	—	—	—	2	—
Механич. теорія тепла и физико-химія.....	—	—	—	—	2	—	2	—
Ботаника.....	—	—	—	—	2	2	2	2
Металлургія общая.....	—	—	—	—	3	—	3	—
Прикладн. механ. (паровыя машины и насосы).....	—	—	—	—	2	—	2	—
Работы въ аналитической лабораторіи.....	—	—	—	—	—	12	—	—
Работы по органической химіи.	—	—	—	—	—	—	—	12
Проектированіе по механикѣ...	—	6	—	6	—	1	—	2
Технологія металловъ и дерева.	—	—	—	—	—	—	3	—
Итого....	21	11	17	11	19	20	17	21

ВѢДОМОСТЬ

о пропущенныхъ лекціяхъ и практическихъ занятіяхъ въ Томскомъ Технологическомъ Институтѣ ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II г.г. профессорами и преподавателями.

Съ Января по Юнь 1902 года.

ФАМИЛИИ.	Мѣсяцъ и число.	Названіе предметовъ.	Число пропущенныхъ часовъ.	Причина пропуска.
Гарднеръ, Данииль Даниловичъ штатный старшій лаборантъ.....	Съ Марта 27-го, четыре недѣли.	Англійскій языкъ.	8	Отпускъ.
Гуть, Фортунатъ Фердинандовичъ преподаватель по найму.....	Февраль 6-го.	{ Рисованіе и строительное искусство.....	2 1	} Дѣло въ окружн. судѣ.
	7	Строительн. искус.	1	
	8	{ Рисованіе и строительное искусство.....	2 1	
	9	Строительн. искус.	1	
	25	Рисованіе	2	
	Марта 6-го.	{ Рисованіе и строительное искусство.....	2 1	
	15	{ Рисованіе и строительное искусство.....	2 1	
	16	Строительн. искус.	1	
	22	Рисованіе.....	1	
	23	Строительн. искус.	1	
Ефимовъ, Александръ Ивановичъ и. д. экстраординарнаго профессора.	Январь 31	Физика.....	1	Болѣзнь.

ФАМИЛИИ.	Мѣсяцъ и число.	Названіе предметовъ.	Число пропущенныхъ часовъ.	Причина пропуска.
Юганзенъ, Германъ Эдуардовичъ преподаватель по найму	Январь 16	Нѣмецкій языкъ..	2	Командир.
Вижнеръ, Николай Матвѣевичъ ординарн. профессоръ	Февраль 19	Органическ. химія.	1	
Сахарновъ, Владиміръ Александровичъ штатный преподаватель	Мартъ 27	Практическ. занятія	2	Болѣзнь.
Сухоровскій, Владиміръ Марцелліевичъ преподаватель по найму	Мартъ 16	Рисованіе	2	
Турбаба, Дмитрій Петровичъ ординарный профессоръ	Январь 26	Химія	2	Тоже.
Южаконъ, Михаилъ Ильичъ штатный преподаватель	Январь 30	Практическ. занятія	2	Тоже.
	31	{ Практическія занятія	1	} Тоже.
		{ Черченіе	2	
	Марта 12	Практическ. занятія	1	Тоже.
	13	Практическ. занятія	2	Тоже.
Федоровскій, Петръ Федоровичъ преподаватель по найму.	Февраль 25	Рисованіе	2	
	Марта 11	Рисованіе	2	
	13	Рисованіе	2	
	22	Рисованіе	2	
	29	Рисованіе	2	

ВѢДОМОСТЬ

о пропущенныхъ лекціяхъ и практическихъ занятіяхъ въ Томскомъ Технологическомъ Институтѣ ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II
г.г. профессорамъ и преподавателями Института.

Съ Сентября по Декабрь 1902 года.

ФАМИЛИИ.	Мѣсяць и число.	Названіе пред- метовъ.	Число про- пущенныхъ часовъ.	Причина пропуска.
Бобарыковъ , Иванъ Ива- новичъ, ординарный про- фессоръ.....	Ноябрь 7	Детали машинъ..	2	Болѣзнь.
Гомелля , Степанъ Прок- ловичъ, штатный препо- даватель.....	Октябрь 3	Практическ. занятія по 1) Математикѣ. по 2) Начерт. геом. по 3) Черченіе....	1 1 2	} Болѣзнь.
	Октябрь 11	{ Архитектура и Архитектурное черченіе.....	1 2	
	Ноябрь 12	{ Архитектура и Архитектурное черченіе.....	1 2	
Декабрь 12	Архитектура.....	1		
Ефимовъ , Александръ Ивановичъ, и. д. экстра- ординарнаго профессора	Декабрь 11	Физика.....	2	Болѣзнь.
Заранекъ , Константинъ Антоновичъ, преподава- тель по найму.....	Ноябрь 29	Рисованіе.....	2	
	Декабрь 11	Рисованіе.....	2	
	13	Рисованіе.....	2	
Зубашевъ , Ефимъ Лукья- новичъ, орд. профессоръ	Октябрь 11	Технологія воды и дерева.....	1	
Кижнеръ , Николай Мат- вѣевичъ, ординарный профессоръ.....	Декабрь 11	Органическая химія	2	
	12	Тоже.	2	

ФАМИЛИИ.	Мѣсяць и число.	Названіе предметовъ.	Число пропущенныхъ часовъ.	Причина пропуска.
Молинь , Федоръ Эдуардовичъ, ординарный профессоръ.....	Сентябрь 28	Математика.....	2	Болѣзнь.
Первовъ , Павелъ Ефимовичъ, преподаватель по найму.....	Ноябрь 6	Паровыя машины и практическія занятія по математикѣ.	1 1	}
Пинегинъ , Василій Николаевичъ, штатный преподаватель.....	Октябрь 5	Практическія занятія по математикѣ.	3	
	Декабрь 12	Практическія занятія по черченію...	2	
Сабекъ , Александръ Эдуардовичъ, и. д. экстраординарнаго профессора	Сентябрь 30	Технологія строительныхъ матеріаловъ.....	1	Болѣзнь.
Салтыковъ , Николай Николаевичъ, и. д. экстраординарнаго профессора	Октябрь 5	Теоретическая механика.....	2	
	30	Тоже.	1	
	31	Тоже.	1	
	Декабрь 7	Тоже и практическія занятія по математикѣ.....	2 1	} Болѣзнь
Сухоровскій , Владиміръ Марцеллевичъ, преподаватель по найму.....	Декабрь 11 13	Рисованіе... Тоже.	2 2	
Турбаба , Дмитрій Петровичъ, ординарный профессоръ.....	Ноябрь 5 26	Неорганическая химія..... Тоже.	2 2	} Болѣзнь
	Декабрь 10	Тоже.	2	
Шутковъ , Алексѣй Алексѣевичъ, штатный преподаватель.....	Ноябрь 25	Практическія занятія по теоріи механизмовъ ..	1	
	Декабрь 12	Тоже.	1	

РАСПРЕДѢЛЕНІЕ СТУДЕНТОВЪ.

	I курсъ.				II курсъ.			III курсъ.		В С Е Г О.
	Механическ.	Инж.-строит.	Горное.	Химическое.	Механическ.	Горное.	Химическое.	Механическ.	Химическое.	
I. По курсамъ и отдѣленіямъ.										
II. По вѣроисповѣданіямъ.										
Православныхъ	87	50	97	50	84	63	26	35	4	496
Армяно-Григоріанскихъ	6	—	2	2	—	1	—	1	—	12
Католиковъ	4	2	5	2	6	3	5	1	—	28
Лютеранъ и реформъ	1	2	2	1	1	1	—	—	—	8
Иудеевъ	11	1	6	4	5	2	4	6	—	39
Магометанъ	2	—	—	—	—	—	—	—	—	2
Прочихъ вѣроисповѣданій	2	1	3	—	—	—	—	—	—	6
ИТОГО....	113	56	115	59	96	70	35	43	4	591
III. По сословіямъ.										
Дѣтей дворянъ и чиновниковъ ..	31	19	30	13	31	19	11	14	1	169
Духовнаго званія	4	5	13	4	6	4	2	5	—	43
Купцовъ	14	4	14	10	7	8	5	7	2	71
Мѣщанъ	35	17	30	13	34	18	14	12	—	173
Крестьянъ	12	3	14	9	10	10	1	3	—	62
Казачьяго сословія и дѣтей нижнихъ чиновъ	6	2	1	2	1	3	1	1	—	17
Иностранцевъ	1	1	3	—	—	—	—	1	—	6
Инородцевъ и пр. сословія	10	5	10	8	7	8	1	—	1	50
ИТОГО....	113	56	115	59	96	70	35	43	4	591
IV. По предвар. образованію.										
Окончившихъ курсъ высшихъ учебн. заведеній	—	—	3	—	2	—	—	—	—	5
Окончившихъ гимназій ..	31	19	45	7	36	29	7	16	1	191
Реальныхъ училищъ	68	32	49	39	37	33	19	13	3	293
Кадетскихъ корпусовъ	1	—	2	3	3	1	—	1	—	11
Духовныхъ семинарій	4	4	7	6	4	—	3	3	—	31
Промышленныхъ училищъ	—	1	1	1	5	4	2	10	—	24
Коммерческихъ училищъ	—	—	2	1	1	—	1	—	—	5
Горныхъ училищъ	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1
Московского лиція Цесаревича Николая	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1
Ремесленныхъ училищъ	1	—	1	1	—	—	—	—	—	3
Земледѣльческихъ училищъ	2	—	3	1	1	2	2	—	—	11
Техническихъ училищъ	6	—	2	—	4	1	1	—	—	14
Техническ. артилл. школь	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1
ИТОГО....	113	56	115	59	96	70	35	43	4	591

	I курсъ.				II курсъ.			III курсъ.		В С Е Г О.
	Механическ.	Инж.-строит.	Горное.	Химическое.	Механическ.	Горное.	Химическое.	Механическ.	Химическое.	
V. По сроку окончанія средняго образованія.										
Окончили курсъ 1902 года	56	37	62	26	—	—	—	—	—	181
» » 1901 »	35	11	31	17	45	39	9	—	—	168
» » 1900 »	13	6	9	9	29	17	7	20	1	114
» » 1899 »	4	—	5	2	13	8	5	12	2	51
» » 1898 »	1	—	3	2	4	2	6	3	1	22
» » 1897 »	2	1	1	1	2	—	4	3	—	13
» » 1896 »	—	—	—	2	—	—	1	2	—	5
» » 1895 »	1	1	1	—	1	1	—	—	—	5
» » 1894 »	—	—	2	—	1	1	1	—	—	5
» » 1893 »	—	—	—	—	—	1	1	—	—	2
» » 1892 »	—	—	—	—	2	1	1	2	—	6
» » 1891 »	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
» » 1889 »	—	1	—	—	—	—	—	—	—	1
» » 1887 »	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1
» » 1881 »	—	—	1	—	—	—	—	—	—	1
ИТОГО	113	56	115	59	96	70	35	43	4	591
По мѣсту рожденія.										
Петербургскаго учебн. округа . . .	4	3	7	1	4	—	2	1	—	22
Рижскаго » »	1	—	3	2	—	2	—	—	—	8
Виленскаго » »	5	1	2	3	4	2	2	4	—	23
Варшавскаго » »	1	2	1	2	1	2	1	—	—	10
Кіевскаго » »	4	4	2	1	4	2	1	—	—	18
Московскаго » »	7	3	8	8	12	7	1	6	—	52
Одесскаго » »	4	1	9	4	1	4	1	1	—	25
Харьковскаго » »	5	4	9	7	11	4	4	1	1	46
Казанскаго » »	19	9	16	7	10	12	4	4	1	82
Оренбургскаго » »	22	11	11	4	18	10	4	2	1	83
Кавказскаго » »	9	2	10	6	4	2	2	1	—	36
Западно-Сибирск. » »	12	5	17	9	12	9	6	7	1	78
Восточно-Сибирск.» »	15	6	17	4	14	12	5	16	—	89
Туркестанскаго » »	5	5	3	1	1	2	2	—	—	19
ИТОГО	113	56	115	59	96	70	35	43	4	591

СВѢДѢНІЕ

о кредитахъ, ассигнованныхъ по смѣтѣ Министерства Народнаго Просвѣщенія 1902 года на расходы по Томскому Технологическому Институту ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II.

Ассигновано по § 12 ст. 1.	126375 р. — к.
перечислено въ § 12 ст. 2.	22996 р. 45 к.
<hr/>	
Итого. . .	103378 р. 45 к.

Израсходовано изъ § 12 ст. 1 на содержаніе личнаго состава	102873 р. 88 к.
--	-----------------

Въ остаткѣ къ 1-му марта 1903 года.	504 р. 57 к.
--	--------------

Изъ оставшихся неизрасходованными 504 руб. 57 коп., заявлено по именованнымъ спискамъ кредиторовъ казны 450 руб., а 54 руб. 57 коп. поступили въ казну.

Ассигновано по § 12 ст. 2.	77985 р. 75 к.
перечислено изъ § 12 ст. 1.	22996 р. 45 к.
<hr/>	
Итого. . .	100982 р. 20 к.

Израсходовано:

На лабораторію органической химіи.	3703 р. 34 к.
„ „ неорганической химіи.	5796 р. 90 к.
„ „ химич. технол. минеральныхъ веществъ.	114 р. 60 к.
„ „ химич. технол. питательныхъ веществъ.	1186 р. 83 к.
„ „ по металлургіи.	1306 р. 26 к.
„ „ по физикѣ.	4977 р. 23 к.
„ „ по электротехникѣ.	167 р. 08 к.
„ механическія мастерскія.	1112 р. 38 к.
„ кабинетъ по строительному искусству.	88 р. — к.
„ кабинетъ по геодезіи.	185 р. 70 к.
„ „ минералогическій.	754 р. 43 к.
„ „ геологическій.	1065 р. 71 к.
„ „ палеонтологическій.	407 р. — к.

На кабинетъ ботаническій	100	р.	—	к.
„ библиотеку	10389	р.	79	к.
„ учебныя пособія	2971	р.	96	к.
„ печатаніе отчетовъ и другихъ изданій	595	р.	75	к.
„ расходы по лѣтнимъ занятіямъ . .	430	р.	80	к.
„ научныя командировки по Сибири.	500	р.	—	к.
„ отопленіе, освѣщеніе и водоснабженіе	16361	р.	93	к.
„ содержаніе въ чистотѣ зданій, дво- ровъ и проч.	3750	р.	96	к.
„ прислугу	6068	р.	60	к.
„ писцовъ и канцелярію	5195	р.	40	к.
„ ремонтъ зданій	688	р.	40	к.
„ мебель и ремонтъ ея	2827	р.	64	к.
„ награды и пособія	2500	р.	—	к.
„ приѣмный покой	335	р.	—	к.
„ выдачу квартирныхъ денегъ . . .	3073	р.	34	к.
	<hr/>			
Итого. . .	76655	р.	03	к.

Въ остаткѣ къ 1-му марта 1903 года 24327 р. 17 к.

Оставшаяся неизрасходованная сумма заявлена по имен-
нымъ спискамъ кредитовъ казны.

Директоръ Института Е. Зубашевъ.

Бухгалтеръ Д. Соковнинъ.

СВѢДѢНІЕ

о приходѣ, расходѣ и остаткѣ специальныхъ средствъ Томскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II за 1902 годъ.

Оставалось отъ 1901 года	20961 р. 68 к.
Поступило въ 1902 году	25550 р. — к.
<hr/>	
Итого . . .	46511 р. 68 к.

Израсходовано:

На выдачу пособій учащимся	298 р. 48 к.
На расширеніе преподаванія и улучшеніе учебно-вспомогательныхъ учреждений	2442 р. 29 к.
На мелочные расходы по разнымъ предметамъ	3120 р. 20 к.
<hr/>	
Итого . . .	5860 р. 97 к.

Въ остаткѣ къ 1-му января 1903 года: 40650 р. 71 к.

Директоръ Института Е. Зубашевъ.

Бухгалтеръ Д. Соковнинъ.

С В Ъ Д Ъ Н І Е

о суммахъ, израсходованныхъ на оборудованіе Томскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II изъ кредита, отпущеннаго на постройку зданій Института по § 13 ст. I смѣты Министерства Народнаго Просвѣщенія 1902 года.

Физическая лабораторія	5407 р. 46 к.
Лабораторія неорганической химіи . . .	2670 р. 10 к.
„ органической химіи	5173 р. 43 к.
„ химич. технол. минеральныхъ веществъ	145 р. 23 к.
„ химич. технол. органическихъ веществъ	145 р. 23 к.
„ химич. технол. питательныхъ веществъ	145 р. 23 к.
„ по металлургіи	3429 р. 26 к.
„ по электротехникѣ	560 р. — к.
Инженерная лабораторія	5900 р. — к.
Библіотека	3240 р. 42 к.
Приобрѣтеніе приборовъ и моделей . . .	3515 р. 15 к.
Мебель, чертежныя доски и проч.	1826 р. 97 к.
Кабинетъ минералогической	2504 р. 19 к.
„ геологической	3938 р. 85 к.
„ по геодезіи	812 р. 59 к.
Мебель для лабораторій	13668 р. 93 к.
<hr/>	
Итого	53083 р. 04 к.

Директоръ Института Е. Зубашевъ.

Бухгалтеръ Д. Соковнинъ.

С В Ъ Д Ъ Н І Е

о суммахъ, израсходованныхъ на оборудование Томскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II съ 1900 года по 1903 годъ.

Физическая лабораторія	17109 р. 61 к.
Лабораторія неорганической химіи	12125 р. 52 к.
„ органической химіи	5675 р. 30 к.
„ химич. технол. минеральныхъ веществъ	145 р. 23 к.
„ химич. технолог. органическихъ веществъ	145 р. 23 к.
„ химическ. технол. питательныхъ веществъ	145 р. 23 к.
„ по металлургіи	4313 р. 56 к.
„ по электротехникѣ	560 р. 00 к.
Инженерная лабораторія	5900 р. 00 к.
Библіотека	13854 р. 32 к.
Приобрѣтеніе приборовъ и моделей	5264 р. 15 к.
Мебель, чертежныя доски и проч.	19959 р. 56 к.
Кабинетъ минералогическій	5117 р. 84 к.
„ геологическій	4208 р. 78 к.
„ по геодезій	3391 р. 89 к.
Мебель для лабораторій	19817 р. 58 к.
<hr/>	
Итого	117733 р. 80 к.

Директоръ Института **Е. Зубашевъ.**

Бухгалтеръ **Д. Соковнинъ.**