

да

# ИЗВѢСТІЯ

Томскаго Технологическаго Института.

Томъ 41. Выпускъ 2.

1918.

Проф. В. Л. Малѣевъ.

из

ИСПЫТАНІЕ ДВУХЪ ЛОКОМОБИЛЕЙ ПО 250 Л. С.

# BULLETIN

of the Tomsk Institute of Technology Siberia, Russia.

Vol 41. Number 2.

1918.

Prof. V. L. Malejev.

TESTING OF TWO LOCOMOBILES 250 HP. EACH.

ТОМСКЪ.

1919.

## Испытаніе двухъ локомотивовъ по 250 л. с.

Профессоръ В. Л. Малъевъ.

**1. Предисловіе.**—Лѣтомъ 1914 г. автору пришлось производить испытанія двухъ локомотивовъ одного заграничнаго завода, установленныхъ на городской электрической станціи въ г. К—ѣ, Тобольской г..

Испытанія эти заслуживаютъ быть описанными, по мнѣнію автора, по нѣсколькимъ причинамъ: во-первыхъ данные локомотивы представляютъ собой въ смыслѣ конструкціи новый, интересный типъ, при чемъ испытывавшіеся локомотивы были вообще первыми этого типа, установленными въ Россіи; далѣе, при поставкѣ этихъ локомотивовъ былъ гарантированъ очень малый расходъ пара, который въ общемъ былъ достигнутъ; наконецъ, установки сравнительно крупныхъ локомотивовъ, какъ данные, развивающіе по 225 до 270 инд. л. с., представляютъ въ настоящее время особый интересъ съ точки зрѣнія соревнованія различныхъ тепловыхъ машинъ.

**2. Описание локомотивовъ.**—Оба локомотива по размѣрамъ и конструкціи совершенно тождественны, заводской марки В. К. 11. Единственная разница въ томъ, что у присланнаго и установленнаго первымъ, будемъ называть его № 1, поршневые стержни не сквозные, у другого же, № 2, они сквозные. Монтеръ фирмы сообщилъ, впрочемъ, что заводъ и къ № 1 пришлетъ новые сквозные поршневые стержни съ наружными поддерживающими ползунками и соотв. новыя крышки съ направляющими.

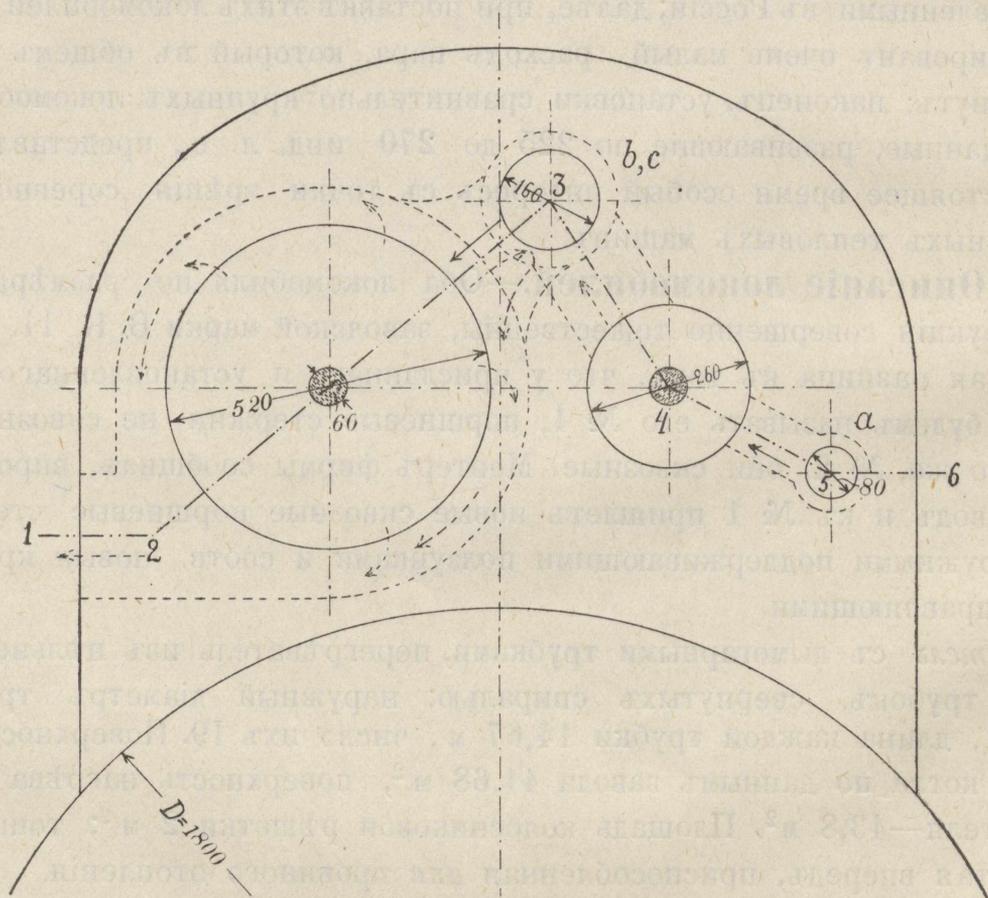
*Котелъ* съ дымогарными трубками, перегрѣватель изъ цѣлнотянутыхъ трубокъ, свернутыхъ спиралью; наружный діаметръ трубокъ 50 мм., длина каждой трубки 14,67 м., число ихъ 19. Поверхность нагрѣва котла по даннымъ завода 41,68 м.<sup>2</sup>, поверхность нагрѣва перегрѣвателя—43,8 м.<sup>2</sup>. Площадь колосниковой рѣшетки 2 м.<sup>2</sup>; топка выдвинутая впередъ, приспособленная для дровяного отопленія.

Рабочее давленіе пара 15 атм. ман.; температура перегрѣтаго пара указана фирмой въ 350<sup>0</sup> Ц.; однако никакихъ приспособленій для ея регулированія не имѣется, и, какъ показали испытанія, она колеблется въ зависимости отъ нагрузки машины и способа веденія топки.

Для питанія котла имѣется инжекторъ и скальчатый насосъ, находящійся на продолженіи стержня воздушнаго насоса холодильника. При пользованіи насосомъ питательную воду можно подогрѣвать, пропуская ее по трубкамъ подогрѣвателя, обогрѣваемого отработавшимъ паромъ на пути его къ холодильнику.

*Машина.* Основные размѣры машины: діаметръ цилиндра в. д.  $D' = 260$  мм., — н. д.  $D'' = 520$  мм.; ходъ поршней у локомотива № 1  $H = 461$  мм., у № 2 —  $H = 462$  мм.; діаметры поршневыхъ стержней  $d = 60$  мм. Колѣна вала находятся подъ угломъ  $180^0$  другъ къ другу; нормальное число  $n = 214$  обр./мин.; степень неравномѣрности вращенія вала  $\delta = \frac{1}{180}$ .

Распределительные органы: впускъ пара въ цилиндръ в. д. производится круглымъ поршневымъ золотникомъ  $a$ , черт. 1, находящимся подъ воздѣйствіемъ плоскаго регулятора; выпускъ пара изъ цилиндра в. д. производится поршневымъ же золотникомъ  $b$ ; онъ же впускаетъ паръ въ цилиндръ н. д., при чемъ исполненъ въ родѣ золотника

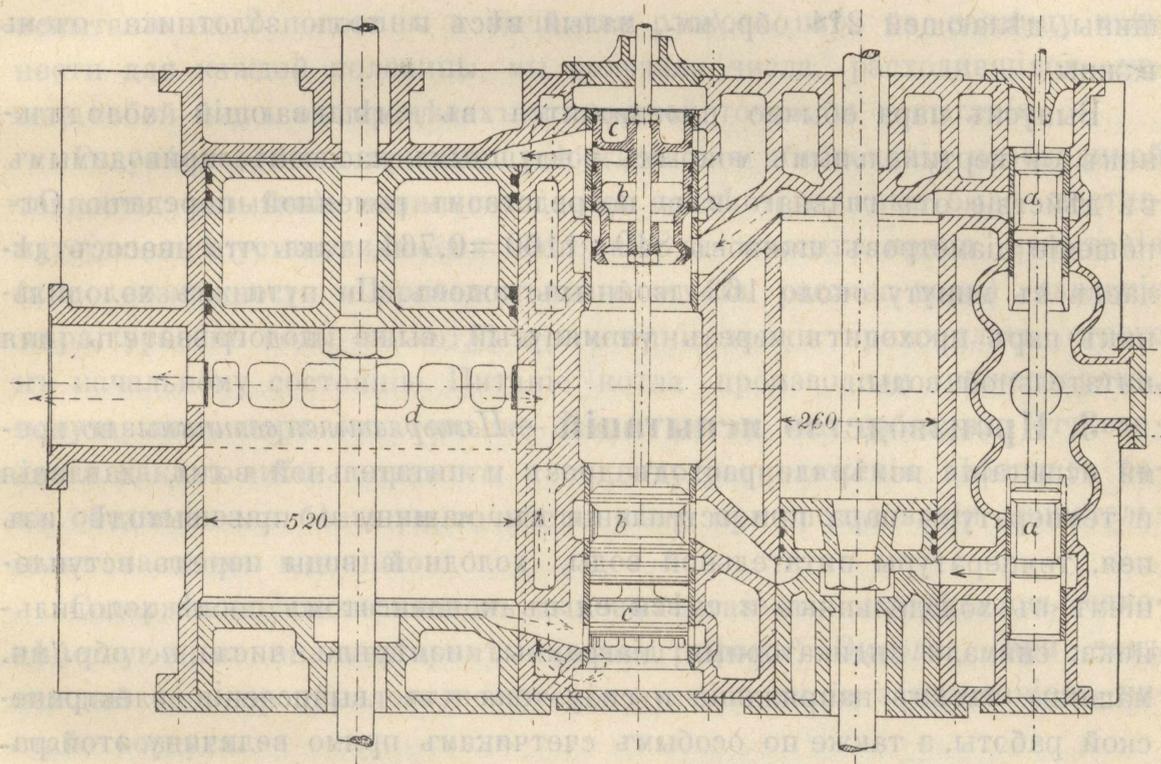


Черт. 1.

Трика съ двойнымъ впускомъ, но внутренними кромками; выпускъ отработавшаго пара изъ цилиндра н. д. производится сперва черезъ окна  $d$ , черт. 2, находящіяся въ срединѣ цилиндра и открываемыя и

закрываема широкомъ поршнемъ, какъ у прямоходовыхъ паровыхъ машинъ; дальнѣйшій выпускъ пара для уменьшенія сжатія, которое начинается приблизительно лишь за 20% хода поршня до мертвой точки, производится черезъ особые выпускныя шели, закрываемыя поршневыми золотниками *c, c*, сидящими на общемъ стержнѣ съ перепускнымъ золотникомъ *b*.

по 1-2-3-4-5-6.



Черт. 2.

Болѣе ясно движеніе пара по черт 2, представляющему схематически развернутое продольное сѣченіе цилиндровъ и золотниковъ по ломанной линіи 1-2-3 4 5 6, черт. 1. Сплошными стрѣлками показано движеніе пара, вступающаго въ цилиндръ, пунктирными — выходящаго.

Оцѣнивая особенности этого парораспределенія, можно указать, что раздѣленіе впускныхъ каналовъ отъ выпускныхъ у цилиндра в. д. сильно понижаетъ охлажденіе впускаемаго пара и съ точки зрѣнія уменьшенія расхода его вполне цѣлесообразно; подобное раздѣленіе встрѣчается и въ другихъ хорошихъ конструкціяхъ, напр. у локомотивовъ Людиновскаго завода Акц. О-ва Мальцовскихъ заводовъ. Неизбѣжное увеличеніе вреднаго пространства имѣетъ лишь небольшое значеніе и поглощается получаемой выгодой.

Что касается цилиндра н. д., то въ немъ раздѣленіе впуска и выпуска осуществлено не столь полно: одинъ изъ двухъ паровыхъ каналовъ у каждаго конца цилиндра омывается какъ впускнымъ, такъ и

отработавшимъ паромъ. Однако главная часть (около  $\frac{3}{4}$  по вѣсу) выпускного пара вылетаетъ черезъ выхлопныя окна въ срединѣ цилиндра. Поэтому начальная конденсація пара тоже сильно ослаблена.

Другое преимущество данной конструкціи — очень малые размѣры выпускного золотника цилиндра и. д.: при діаметрѣ цилиндра въ 520 мм. круглый золотникъ имѣетъ въ діаметрѣ всего 150 мм. при осевой длинѣ (высотѣ) окна 38 мм; ходъ золотника  $h=2r=112$  мм. Для машины, дѣлающей 214 обр./мм., малый вѣсъ и ходъ золотника очень важны.

Выпускъ пара обычно производится въ смѣшивающей холодильникъ съ вертикальнымъ мокрымъ воздушнымъ насосомъ, приводимымъ въ дѣйствіе отъ главнаго вала посредствомъ ременной передачи. Отношеніе діаметровъ шкивовъ  $840 : 1100 = 0,764$ , такъ что насосъ дѣлаетъ въ минуту около 163 двойныхъ ходовъ. По пути въ холодильникъ паръ проходитъ черезъ упомянутый выше подогреватель для питательной воды.

**3. Производство испытаній.** — *Измѣрявшіяся величины.* во время испытанія измѣряли расходъ дровъ и питательной воды, давленія и температуры пара при вступленіи въ машину и при выходѣ изъ нея, температуры питательной воды, холодной воды передъ вступленіемъ въ холодильникъ и смѣси ея съ конденсатомъ послѣ холодильника; снимали индикаторныя діаграммы; измѣряли числа  $n$  обр./мм. машины, затѣмъ напряженіе и силу тока для вычисленія электрической работы въ кв.ч. и, наконецъ, опредѣляли содержаніе  $CO_2$  въ продуктахъ горѣнія.

*Методы измѣреній.* Расходъ дровъ опредѣлялся взвѣшиваніемъ ихъ на десятичныхъ вѣсахъ полѣнницами по 15 пудовъ.

Расходъ питательной воды первоначально предполагалось измѣрять при помощи водомѣра типа Лейнерта съ качающимися баками. Однако при провѣркѣ его при помощи взвѣшиванія пропускаемой имъ воды была обнаружена довольно сильная нечувствительность его, свыше  $\pm 10\%$ ; кромѣ того, при пользованіи этимъ водомѣромъ пришлось бы подгонять продолжительность опыта къ моменту израсходованія цѣлаго бака, емкость котораго  $7\frac{1}{2}$  пуд., т. е. работать лишнихъ 5—10 мин.. Въ виду этого расходъ питательной воды опредѣлялся взвѣшиваніемъ ея на провѣренныхъ десятичныхъ вѣсахъ по 10 пуд.; вѣсы съ бакомъ стояли на козлахъ, рядомъ съ которыми находился второй бакъ, въ который спускалась отвѣшенная вода и изъ котораго она и забиралась инжекторомъ. Этими же вѣсами отвѣшивали воду для при-

ведения послѣ окончанія опыта уровня во второмъ бакѣ на ту же высоту, какъ и въ моментъ начала опыта.

Въ виду того, что агрегаты испытывались подъ совершенно постоянной нагрузкой, случайныя колебанія которой сейчасъ же выравнивались, мы сочли возможнымъ ограничивать продолжительность каждаго испытанія ровно 6 часами съ промежуточными отчетами въ серединѣ каждаго испытанія. Разбивая этими отчетами каждое 6-часовое испытаніе на 2 половины и вычисляя расходъ пара на единицу мощности для каждой половины, мы получали числа, расхотившіяся между собой лишь въ предѣлахъ возможной точности испытанія.

Разумѣется, были приняты всѣ мѣры для обезпеченія необходимой точности: испытаніе начиналось лишь послѣ того, какъ было достигнуто вполне установившееся состояніе; въ моментъ конца испытанія (а по возможности и промежуточнаго отчета расхода воды) давленіе пара, уровень воды въ котлѣ и состояніе топки приводились строго къ начальному состоянію. Питаніе котла производили инжекторомъ, получавшимъ паръ отъ того же самаго котла, что избѣжало отъ введенія какихъ либо поправокъ, а въ виду расположенія заборнаго бака обезпечивало бѣльшую точность, чѣмъ при пользованіи питательнымъ насосомъ машины.

Содержаніе углекислоты въ дымовыхъ газахъ опредѣлялось самодѣйствующимъ анализаторомъ — „эконографомъ“ Экардта, при чемъ каждый день провѣрялось положеніе нулевой линіи засасываніемъ чистаго воздуха.

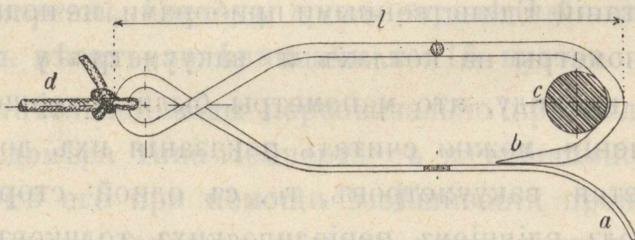
Вѣсы и вообще всѣ измѣрительные приборы были провѣрены до и послѣ испытаній, и соотв. поправки введены въ указанные ниже результаты испытаній. Единственными приборами, не подвергнутыми провѣркѣ, были манометры на котлахъ и вакууметры у холодильниковъ. Впрочемъ, имѣя въ виду, что манометры были совершенно новые, хорошаго изготовленія, можно считать показанія ихъ достаточно надежными. Что касается вакууметровъ, то, съ одной стороны, колебанія ихъ стрѣлокъ подъ вліяніемъ періодическихъ толчковъ воздушнаго насоса были настолько значительны, что при записываніи „средняго показанія“ все равно могла вноситься ошибка больше возможной ошибки прибора, съ другой же стороны, показаніями вакууметровъ мы пользовались лишь для грубой установки количества охлаждающей воды и провѣрки, не перегрѣтъ ли выхлопной паръ, а для термодинамическихъ подсчетовъ мы опредѣляли разрѣженіе по температурѣ выхлопного пара, такъ какъ, какъ оказалось, онъ всегда былъ влажный.

Доказательствомъ влажности (отсутствія перегрѣва) отходящаго пара служили, съ одной стороны, показанія вакууметра, съ другой, то

обстоятельство, что случайныя колебанія температуры свѣжаго перегрѣтаго пара, доходившія до  $50^{\circ}$  и болѣе, не отражались на температурѣ отработавшаго пара и, наконецъ, тепловая діаграмма, черт. 26.

*Отдѣльныя приспособленія.* Во-первыхъ, можно упомянуть приспособленіе для сниманія индикаторныхъ діаграммъ: индикаторы ставились на каждый конецъ цилиндра, прямо на соотв. штуцеръ. На цилиндрѣ в. д. стояли 2 новѣйшихъ индикатора Майгакъ средняго размѣра съ холодной пружиной, на цилиндрѣ н. д. 2 индикатора Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ, тоже модель II, новѣйшаго типа съ холодной пружиной, работающей на сжатіе, пластинчатымъ поршнемъ и мгновеннымъ запоромъ. Къ внутреннимъ (ближайшимъ къ валу) индикаторомъ были прикрѣплены роликовые ходоуменьшители соотв. завода; концы шнура отъ ходоуменьшителей зацѣплялись за особые пальцы изъ полосового желѣза, привернутые къ ползунамъ машины; каждый изъ шнуровъ направлялся нѣсколькими роликами, чтобы часть его, примыкающая къ пальцу, имѣла направленіе, строго параллельное оси цилиндра машины. Во избѣжаніе вытяжки шнура былъ взятъ для одной пары индикаторовъ особенно толстый, а для другой, за неимѣніемъ толстаго, въ два ряда; кромѣ того, приборы были такъ установлены, чтобы шнуры были возможно короткими.

При данныхъ числѣ оборотовъ и длинѣ хода поршня зацѣплять индикаторный крючокъ за упомянутый выше палецъ на ползунѣ (машины обычнымъ способомъ невозможно. Пришлось прибѣгнуть къ „самозацѣпляющемуся“ крючку по черт. 3: крѣпкій, но легкій, стальной крючокъ имѣетъ отогнутый пружинящій язычекъ *a*; длина крючка  $l=100$  до  $120$  мм. Чтобы зацѣпить крючокъ за палецъ-зацѣпку *c*



Черт. 3.

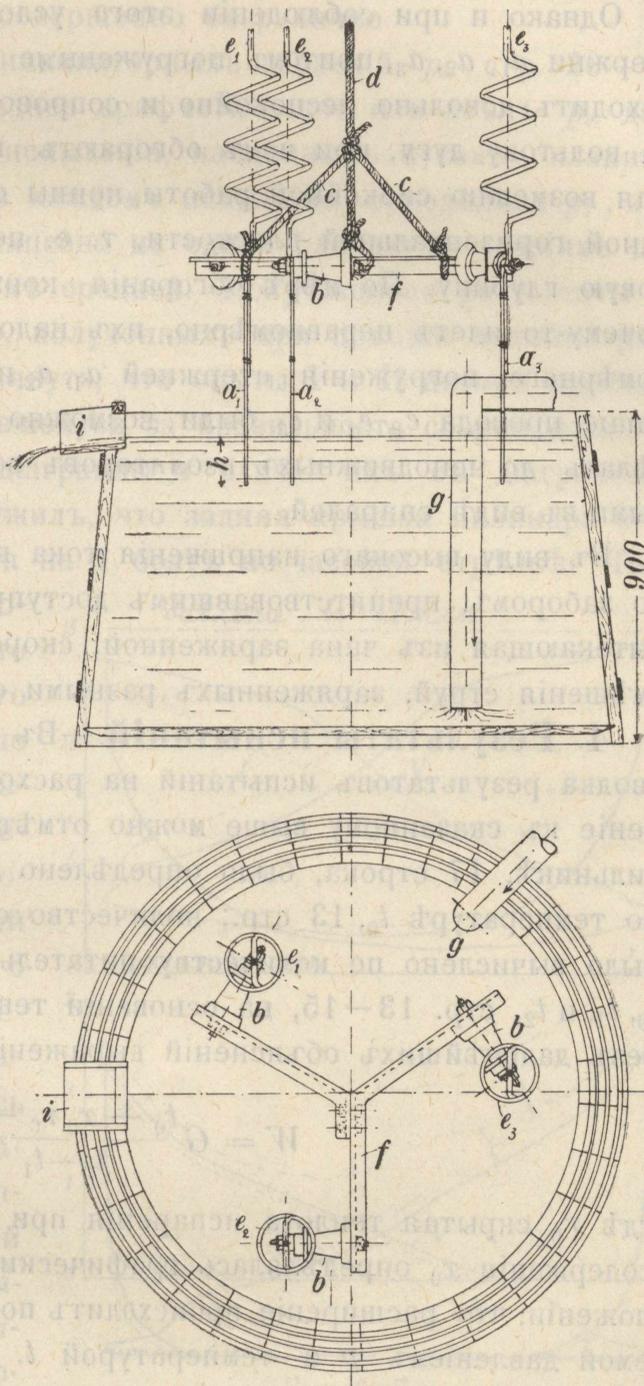
у ползуна машины, надо крючокъ держать такъ, чтобы этотъ палецъ, приходя въ лѣвое мертвое положеніе, ударялся въ уголъ, образуемый язычками *a* и *b*; при обратномъ движеніи *c* скользитъ мимо жесткаго язычка *b* и захватываетъ крючокъ. Чтобы снять крючокъ, т. е. остановить индикаторы достаточно схватиться за шнурокъ *d*.

Штуцера для термометровъ въ паропроводахъ были латунные, причемъ было обращено вниманіе, чтобы шарикъ ртути приходился примерно въ центрѣ сѣченія паропроводной трубы, а температура килѣнія

масла, наливавшего для лучшей теплопередачи, была возможно вы-сока; на трубопроводъ со свѣжимъ, сильно перегрѣтымъ паромъ по крайней мѣрѣ на 20 — 30° выше температуры пара.

Нагрузочное сопротивление было сконструировано особеннымъ образомъ, такъ какъ несмотря на довольно значительную мощность — до 170 кв. — вслѣдствіе трех-фазной системы тока и вы-сокаго напряжения въ 3000 вольтъ сила тока, идущаго въ сопротивление, выража-лась всего нѣсколькими — до 32 — амперами. Сопротивле-ніе было составлено изъ де-ревяннаго чана, діаметромъ около 1,4 м., высотой около 0,9 м., въ который погружа-лись на нѣсколько сантиме-тровъ концы трехъ желѣз-ныхъ стержней  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ , черт. 4, толщиной въ 5 — 6 мм., прикрѣпленных на изо-ляторахъ  $b, b$  къ свернутому на болтахъ треугольнику  $f$  изъ углового желѣза, черт. 5; треугольникъ  $f$  былъ под-вѣшенъ при помощи про-межуточныхъ веревокъ  $c, c, c$  на веревкѣ  $d$ , перекинутой черезъ блокъ; къ погружа-емымъ стержнямъ присоеди-нены гибкіе провода  $e_1, e_2$  и  $e_3$  отъ всѣхъ трехъ фазъ унич-тожаемаго тока.

Регулированіе нагрузки производилось погруженіемъ концовъ  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  на боль-шую или меньшую глубину  $h$ . Для отвода теплоты, въ которую превращается электрическая энергія, вода въ чанѣ непрерывно обновлялась, поступа-я по пенько-вому рукаву  $g$ , конецъ котораго былъ спущенъ почти до дна чана; на-



Черт. 4 и 5.

грѣтая вода вытекала черезъ вырѣзъ въ верхнемъ краѣ чана по сливу  $i$  въ приставленный жолобъ, а по послѣднему стекала прочь въ рѣку. Чтобы переходъ электрической энергіи въ теплоту происходилъ спокойно, вода должна мѣняться съ такой быстротой, чтобы она не успѣвала нагрѣваться выше  $50-55^{\circ}$  Ц.

Однако и при соблюденіи этого условія разрядъ черезъ тонкіе стержни  $a_1, a_2, a_3$ , притомъ погруженные на небольшую глубину, происходитъ довольно беспокойно и сопровождается явленіемъ, похожимъ на вольтову дугу, при чемъ обгораютъ концы стержней  $a_1, a_2$ , и  $a_3$ . Для возможно спокойной работы концы  $a_1, a_2$  и  $a_3$  должны лежать въ одной горизонтальной плоскости, т. е. погружаться строго на одинаковую глубину. По мѣрѣ обгорания концовъ, которое обыкновенно почему-то идетъ неравномѣрно, ихъ надо вновь подравнивать. Для равномернаго погруженія стержней  $a_1, a_2$  и  $a_3$  необходимо, чтобы подводящіе провода  $e_1, e_2$  и  $e_3$  были возможно гибки, для чего ихъ полезно дѣлать до неподвижныхъ изоляторовъ возможно длинными и скрученными въ видѣ спиралей.

Въ виду высокаго напряженія тока все сооруженіе было ограждено заборомъ, препятствовавшимъ доступу постороннихъ лицъ; вода же, вытекающая изъ чана заряженной, скоро теряетъ зарядъ вслѣдствіе смѣшенія струй, заряженныхъ разными фазами.

**4. Результаты испытаній.**—Въ слѣдующей таблицѣ 1 дана сводка результатовъ испытаній на расходъ пара и топлива. Въ дополненіе къ сказанному выше можно отмѣтить, что давленіе въ холодильникѣ, 17 строка, было опредѣлено при помощи таблицъ паровъ по температурѣ  $t_0$ , 13 стр.; количество охлаждающей воды  $W$ , 18 стр., было вычислено по количеству питательной воды  $G$  и температурамъ  $t_0, t_1$ , и  $t_2$ , стр. 13—15, на основаніи теплого баланса по понятному безъ дальнѣйшихъ объясненій выраженію

$$W = G \frac{t_0 + x_0 r_c - t_2}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

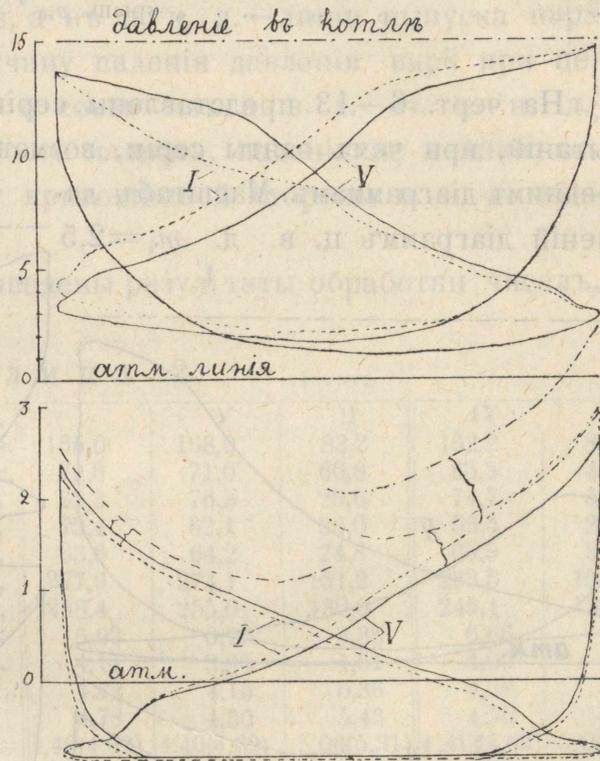
гдѣ  $r_0$  скрытая теплота испаренія при давленіи  $p_0$ , а величина паросодержанія  $x_0$  опредѣлялась графически по діаграмѣ  $J-S$  въ предположеніи, что расширеніе происходитъ по адіабатѣ отъ точки, опредѣляемой давленіемъ  $p$  и температурой  $t$ . Дѣйствительная величина  $x_0$  должна быть нѣсколько ниже подъ вліяніемъ охлаждения пара при впускѣ, однако мы не имѣли возможности ее измѣрять. По всей вѣроятности, величина  $W$ , найденная нами, нѣсколько преувеличена, но въ виду второстепеннаго значенія ея можно ограничиться этимъ способомъ.

Что касается чисель  $n$  обр./мин, 19 стр., то надо замѣтить, что регуляторы не были достаточно вывѣрены, монтеръ почти передъ каждымъ испытаніемъ мудрилъ съ ними: то подтягиваль, то отпускаль пружины регуляторовъ, вслѣдствіе чего у опытовъ II и V  $n$  оказались выше нормальныхъ. Впрочемъ, повышение  $n$  на 1—2% съ термодинамической точки зрѣнія совершенно безразлично.

Что касается среднихъ индикаторныхъ давленій  $p_i$ , стр. 20—23, то они опредѣлены какъ среднее арифметическое изъ всѣхъ  $p_i$  данной рабочей полости соотв. испытанія, найденныхъ путемъ планиметрированія. Для контроля въ каждомъ испытаніи опредѣляли  $p_i$ , кромѣ того, еще по правилу Симпсона на одной или двухъ серіяхъ діаграммъ, возможно близкихъ къ средней. Получавшіеся результаты не отличались отъ результатовъ, полученныхъ при помощи планиметра.

Въ заключеніе надо упомянуть, что опыты I и II авторъ провелъ, довѣрившись монтеру, ручавшемуся за правильность сборки машины. Разсматривая получившіяся діаграммы и сличая ихъ съ діаграммами машины № 2, авторъ обнаружилъ, что задняя крышка цилиндра в. д. поставлена невѣрно, сдвинута на 1 болтъ по часовой стрѣлкѣ. Такъ

какъ каналы расположены почти цѣликомъ въ крышкѣ, то они оказались вслѣдствіе этого сильно суженными, особенно паровпускной каналъ. Результатомъ этого явилась уменьшеніе площади діаграммы этой полости и сопряженной съ ней полости цилиндра н. д., черт. 6 и 7. Когда крышка была переставлена правильно, индикаторныя діаграммы получились значительно лучше, среднія давленія почти сравнялись и работы отдѣльныхъ полостей также. Такимъ образомъ испытаніе I съ точки зрѣнія приѣмки машины слѣдуетъ отбросить. Мы привели его лишь для выясненія вліянія указанной неправильности сборки. Къ сожалѣнію, недостатокъ времени не позволилъ повторить опытъ съ  $1/2$ -ной нагрузкой съ правильно установленной крышкой. Можно однако съ увѣренностью утверждать, что результаты



Черт. 6 и 7.

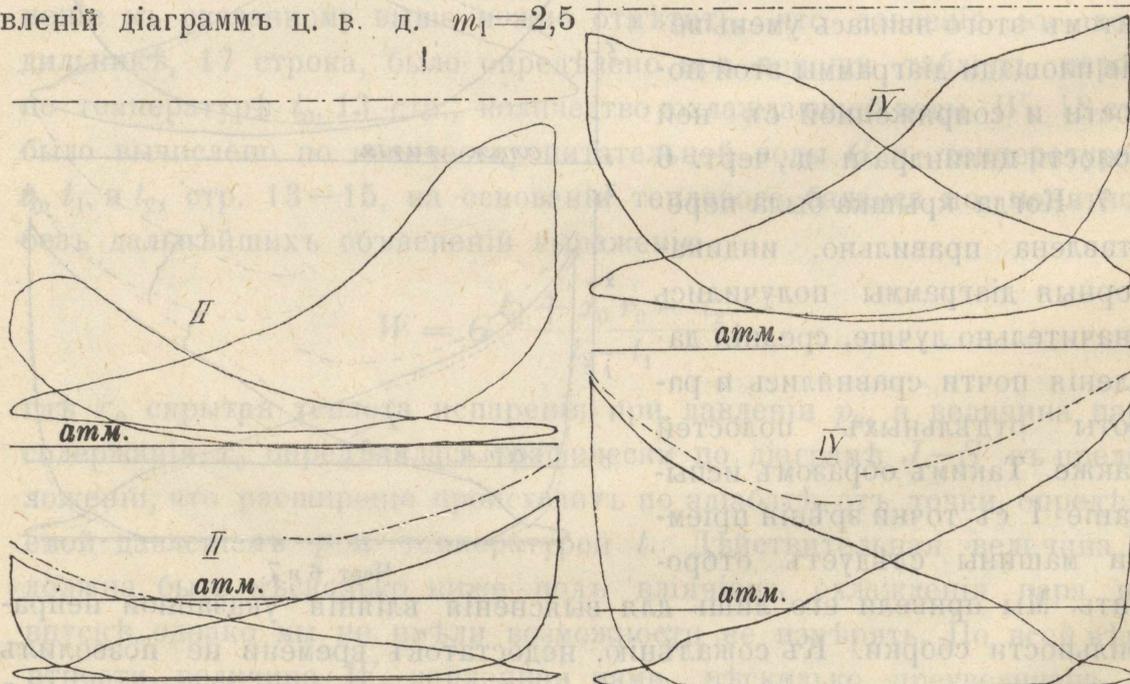
Мы привели его лишь для выясненія вліянія указанной неправильности сборки. Къ сожалѣнію, недостатокъ времени не позволилъ повторить опытъ съ  $1/2$ -ной нагрузкой съ правильно установленной крышкой. Можно однако съ увѣренностью утверждать, что результаты

были бы примерно настолько же лучше результатовъ испытанія II, насколько результаты испытанія V лучше испытанія I.

Т а б л и ц а 1.

1	номеръ агрегата . . . . .	первый			второй	
		I	V	II	IV	III
2	номеръ испытанія . . . . .					
3	день испытанія . . . . .	2.6.14	5.6.14	3.6.14	4.6.14	4.6.14
4	нагрузка (часть полной) . . . . .	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{2}$
5	продолжительность испытанія $h$ . . . . . ч.	5,83	6,0	6,0	6,0	6,0
6	выработано энергии на шинахъ . . . . . кв.ч.	962	1008	499	972	519
7	израсходовано питательной воды $G$ . . . . . кгр.	6658	6340	4185	3465	4325
8	„ березовыхъ дровъ $B$ . . . . . „	2690	2458	1573	2595	1582
9	температура питательной воды $t_0$ . . . . . °Ц.	26,0	24,0	24,2	24,0	25,7
10	среднее содержаніе $CO_2$ въ дым. газахъ %	14,0	14,0	9,0	14,0	12,5
11	давленіе свѣжаго пара $p$ . . . . . кгр./см. <sup>2</sup> изб.	14,4	15,0	15,1	15,0	15,0
12	температура „ „ $t$ . . . . . °Ц	327	368	285	353	296
13	„ отраб. „ $t_0$ . . . . . „	—	54,9	—	54,0	53,0
14	„ охлаждающей воды $t_1$ . . . . . „	19,5	20,4	19,2	19,3	20,0
15	„ смѣси конденс. и воды $t_2$ . . . . . „	37,5	38,2	38,25	36,0	31,5
16	показанія вакуумметра у холодильника . . . . . %	88,3	88,0	87,3	85,0	84,0
17	давленіе въ холодильнике $p_0$ . . . . . атм. абс.	(0,117)	0,159	(0,127)	0,152	0,144
18	количество охлаждающей воды $W$ . . . . . кгр.	—	184600	—	199600	191800
19	число оборотовъ машины $n$ . . . . . обр./мн.	214,3	218,6	216,0	214,0	215,0
20	средн. индик. давл. ц.в.д. стор.крив. $p_i'$ кгр./см. <sup>2</sup> .	7,18	6,30	5,47	5,93	3,84
21	„ „ „ „ „ крив. $p_i''$ „	5,32	6,47	2,52	6,76	4,74
22	„ „ „ „ „ п.н.д. „ крив. $p_{in}'$ „	1,57	1,32	0,776	1,223	0,640
23	„ „ „ „ „ „ крив. $p_{in}''$ „	1,29	1,35	0,528	1,450	0,725

На черт. 6—13 представлены серіи діаграммъ изъ всѣхъ пяти испытаній, при чемъ взяты серіи, возможно близко подходящія къ соотв. среднимъ діаграммамъ. Масштабъ давленій діаграммъ ц. в. д.  $m_1=2,5$



Черт. 9 и 10.

Черт. 10 и 11.

мм./кгр. см.<sup>2</sup>; масштабъ  $m_2=10$  мм./кгр./см.<sup>2</sup> діаграммъ ц. н. д. взять съ такимъ расчетомъ, чтобы отношеніе  $m_1:m_2$  равнялось приблизи-

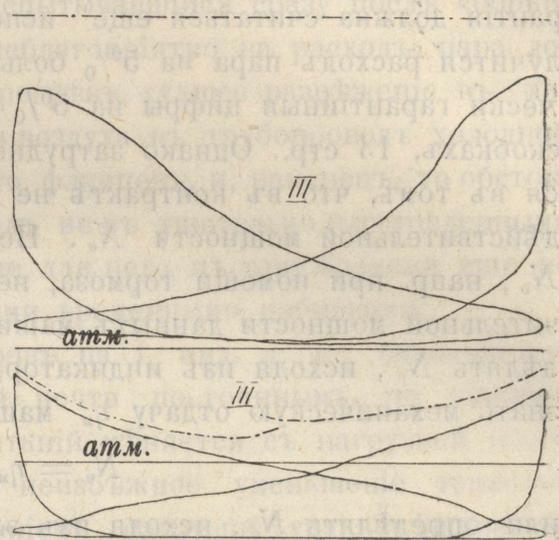
тельно отношенію  $F_1 : F_2$  площадей поршней ц. в. д. и ц. н. д.; тогда при равенствѣ длинъ діаграммъ площади ихъ выражаютъ работы въ одномъ масштабѣ. Римскими цифрами на діаграммахъ обозначенъ номеръ испытанія, изъ котораго діаграмма взята.

Діаграммы, какъ уже указывалось выше, снимались съ каждой рабочей полости отдѣльнымъ индикаторомъ, а на черт. 6—13 онѣ совмѣщены попарно ради сбереженія мѣста.

Діаграммы испытаній I и V совмѣщены для лучшаго выясненія суженія канала.

За исключеніемъ діаграммъ испытаній I и II, остальные показываютъ хорошія очертанія и удовлетворительное распредѣленіе работы.

Пунктиромъ на діаграммахъ ц. в. д.



Черт. 12 и 13.

показано давленіе пара въ котлѣ, а въ ц. н. д. — линии выпуска пара изъ цилиндра в. д., дающія величину паденія давленія пара при переходѣ его изъ котла въ ц. в. д. и соотв. изъ ц. в. д. въ ц. н. д.; принимая во вниманіе быстроходность машинъ, паденія не велики; почему то они болѣе значительны у кривошипной стороны ц. н. д. обѣихъ машинъ.

Въ слѣдующей таблицѣ 2 приведены результаты обработки чиселъ, приведенныхъ въ таблицѣ 1.

Т а б л и ц а 2.

	I	V	II	IV	III
1 номеръ испытанія . . . . .					
2 средн. нагрузка $K$ на сборн. шп.нахъ . клв.	165,0	168,0	83,2	162,2	86,5
3 „ индик. работа $N_{i1}$ ц.в.д. стор.крив. л.с.	79,6	71,0	60,8	65,5	42,6
4 „ „ „ $N_{i1}''$ „ „ крыш. „	62,3	76,8	29,6	74,7	52,7
5 „ „ „ $N_{i2}$ ц.н.д. „ крив. „	72,4	62,1	36,0	56,4	29,4
6 „ „ „ $N_{i2}''$ „ „ крыш. „	63,6	64,2	24,8	66,9	33,6
7 „ „ „ всей машины $N_i$ . . . „	277,9	274,1	151,2	263,5	158,3
8 „ дѣйствительная работа $N_e$ . . . „	258,4	255,0	130,0	245,1	136,2
9 расходъ пара $D = G/h.K$ . . . . кгр./кв. ч.	6,92	6,29	8,38	6,66	8,35
10 „ „ $D_i = G/h.N_i$ . . . . кгр./л.с.ч.	4,11	3,86	4,61	4,09	4,55
11 „ „ $D_e = G/h.N_e$ . . . . „ „	4,42	4,15	5,36	4,39	5,2
12 „ „ $D'e = 0,736 \eta_a . G/hK$ „ „	4,78	4,30	5,43	4,55	5,40
13 „ „ $D_{ег}$ гарантированный „ „	4,40(4,62)	4,40(4,62)	5,06(5,31)	4,40(4,62)	5,06(5,31)
14 „ дровъ $b = B/h.N_i$ . . . . „ „	1,66	1,50	1,73	1,64	1,67
15 „ гелла $Q_d = BH_n / hN_i$ . т. е. л./л.с.ч.	5642	5035	5890	5580	5660
16 „ „ $Q_n$ самой машиной . . . „	2942	2855	3230	2990	3186
17 отдача термодинамическая $\eta_t$ . . . . .	0,215	0,222	0,196	0,212	0,199
18 „ индикаторная $\eta_i$ . . . . .	(0,76)	0,790	(0,70)	0,756	0,724
19 „ экономическая $\eta_{эк}$ . . . . .	0,0905	0,1036	0,0802	0,0946	0,0829
20 испарительность котла $G/B$ . . . . .	2,48	2,58	2,67	2,49	2,73
21 напряженность котла $G/T$ . . . . кгр./м <sup>2</sup> .ч	27,4	25,4	16,8	25,9	17,3
22 расходъ охлад. воды на 1 кгр. пара $m = W/G$	—	29,1	—	30,8	44,3
23 полная отд. агрег. $\eta_a = K/0,736 N_i = \eta_a . \eta_m$ .	0,807	0,833	0,747	0,834	0,742
24 механическая отдача машины $\eta_m = \eta_a / \eta_a$	0,867	0,896	0,849	0,897	0,843

Въ поясненіе ея нужно сказать, во-первыхъ, относительно дѣйствительной мощности  $N_e$ . Дѣло въ томъ, что въ контрактѣ съ фирмой были гарантированы цифры расхода пара на 1 дѣйств. лош. силу при  $1/1$ -ой и  $1/2$ -ой нагрузкѣ, 13 стр.. При этомъ было оговорено, что гарантія должна считаться еще исполненной, если при испытаніи получится расходъ пара на 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> больше гарантиованнаго, т. е. фактически гарантійныя цифры на 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> выше номинальныхъ и указаны въ скобкахъ, 13 стр.. Однако затрудненіе, вѣрнѣе, недосмотръ заключался въ томъ, что въ контрактѣ не былъ указанъ способъ опредѣленія дѣйствительной мощности  $N_e$ . Непосредственно измѣрять величину  $N_e$ , напр. при помощи тормоза, не было возможности вслѣдствіе значительной мощности данныхъ машинъ. Оставалось два пути: или опредѣлять  $N_e$ , исходя изъ индикаторной мощности  $N_i$ , для чего нужно знать механическую отдачу  $\eta_m$  машины, тогда

$$N_e = \eta_m \cdot N_i, \quad (2)$$

или опредѣлять  $N_e$ , исходя изъ электрической работы на сборныхъ шинахъ  $K$  кв., при чемъ надо знать отдачу  $\eta_g$  электрическаго генератора; тогда при непосредственномъ соединеніи вала генератора съ валомъ машины-двигателя

$$N_e = K/0,736 \eta_g. \quad (3)$$

Къ сожалѣнію, въ договорѣ не были обусловлены ни  $\eta_m$ , ни  $\eta_g$ . Дальнѣйшее затрудненіе состояло въ томъ, что хотя оба агрегата по договору ставились фирмой Сименсъ-Шукертъ, но въ дѣйствительности ея ставилась лишь электрическая часть, а локомобили ставились и сдавались представителемъ локомобильнаго завода. Въ виду этого приѣмочная комиссія согласилась для провѣрки гарантій расхода пара пользоваться величиной  $N_e$ , найденной по ур-ію (2), при чемъ согласно указанію фирмы было принято  $\eta_m = 0,93$  для полной нагрузки; для половинной нагрузки авторъ, пользуясь результатами испытаній подобныхъ машинъ, принялъ  $\eta_m = 0,86$ . Впрочемъ, ради контроля было рѣшено опредѣлять расходъ пара и по электрической работѣ, т. е. при помощи ур-ія (3). Согласно указанію фирмъ для генератора было принято  $\eta_g = 0,93$  для полной нагрузки, а для половинной, опираясь на опытыя данныя для подобныхъ машинъ, авторъ принялъ  $\eta_g = 0,88$ .

Вычисленные по ур-ію (2) величины  $N_e$  приведены въ стр. 8.

Строки 9—12 представляютъ расходъ пара на единицу различной мощности и понятны безъ дальнѣйшихъ поясненій. Сличая соств. цифры стр 11 и 13, можно отмѣтить, что при полной нагрузкѣ оба локомобили гарантію выдержали, при половинной—локомобиль II вы-

держаль, а локомотивъ I — не совсѣмъ, вѣроятно, изъ-за неправильной установки крышки цилиндра в. д. Сличая цифры расхода локомотива I съ таковыми II, видимъ что локомотивъ I, работавшій до приѣмки въ теченіе нѣсколькихъ недѣль и успѣвшій приработаться, далъ лучшіе результаты, чѣмъ локомотивъ II, испытывавшійся сразу послѣ сборки. Другими причинами, вліявшими неблагоприятно на расходъ пара локомотива II, были болѣе низкій перегрѣвъ, худшее разрѣженіе въ холодильникѣ вслѣдствіе просачиванія воздуха въ трубопроводъ холодной воды, собранный на муфтахъ вмѣсто фланцевъ, и, наконецъ, то обстоятельство, что локомотивъ II работалъ не съ тщательно изготовленными патентованными набивками, которые для него къ тому времени еще не были доставлены, а съ упрощенными временными набивками.

Въ стр. 14 указанъ расходъ дровъ на 1 инд. л. с.; оказывается, онъ остается для всѣхъ испытаній почти постояннымъ, по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ точности испытаній мѣняется съ нагрузкой очень мало. Объясняется это тѣмъ, что неизбежное уменьшеніе тепловой отдачи самой машины съ уменьшеніемъ нагрузки уравнивается увеличеніемъ отдачи котла. Это обстоятельство наводитъ на мысль, вполне ли удачно выбраны заводомъ относительные размѣры котла и машины. Къ сожалѣнію, наши испытанія не могутъ дать на это болѣе определеннаго отвѣта, такъ какъ намъ не удалось измѣрять температуры дымовыхъ газовъ и производить болѣе подробный анализъ ихъ.

Въ стр. 15 указанъ  $Q_d$  — расходъ тепла на 1 инд. л. с. по количеству израсходованныхъ дровъ, при чемъ была принята средняя полезная теплопроизводительность березовыхъ дровъ  $H_n = 3400$  т.ед./кгр. <sup>1)</sup>

Такъ какъ полезная теплопроизводительность дровъ подвержена значительнымъ колебаніямъ, главнымъ образомъ въ зависимости отъ содержанія влаги (для высушенныхъ дровъ  $H_n$  доходитъ до 4490 т.ед./кгр., для дровъ съ 40% влаги  $H_n$  понижается до 2400 т.ед./кгр.), и такъ какъ мы содержанія влаги не измѣряли, а исходимъ лишь изъ указанія завѣдующаго станціей, что дрова лежалыя, т. е. содержатъ около 20% влаги, то числа стр. 15 не могутъ претендовать на особую точность. Возможна ошибка  $\pm 10\%$ . Впрочемъ, для сравненія испытаній между собой числа стр. 15 могутъ считаться достаточно точными, такъ какъ дрова брались изъ одной полѣнницы, т. е. истинная теплопроизводительность ихъ дѣйствительно одинакова для всѣхъ опытовъ.

Въ стр. 16 указанъ расходъ тепла на 1 инд. л. с./ч. самой машиной, т. е. по расходу пара, принимая во вниманіе теплоту воды при

<sup>1)</sup> К. Б л а х е р ъ. Теплота въ заводскомъ дѣлѣ. Рига, 1905 г., стр. 93 и 94.

вступленіи въ котель  $i' = t_b$  и температуру  $t$  перегрѣтаго пара при вступленіи въ цилиндръ в. д.; вычисленіе сдѣлано по таблицамъ паровъ по выраженію

$$Q_n = D_i [i' + r + c_p (t - \vartheta) - t_b]. \quad (4)$$

Термодинамическая отдача  $\eta_t$ , стр. 17, показываетъ, какая часть тепла  $Q_i$ , содержащагося въ парѣ при вступленіи въ машину, превращается въ индикаторную работу. Такъ какъ часть полного тепла даже въ идеальной машинѣ должна неизбежно теряться, то болѣе ясно достоинство машины выясняетъ сравненіе съ идеальной машиной, т. е. такъ назыв. индикаторная отдача  $\eta_i$ , стр. 18, причемъ

$$\eta_i = \frac{632,3}{D_i (i - i_0)}; \quad (5)$$

работу 1 кгр. пара въ идеальной машинѣ Клаузиусъ-Ранкина,  $(i - i_0)$ , мы опредѣляли по диаграммѣ  $I - S$  по  $p$ ,  $t$  и  $p_0$ , а работу 1 кгр. пара въ испытываемой машинѣ,  $632,3/D_i$ , мы получали изъ стр. 10. Для сравненія мы брали машину Клаузиусъ-Ранкина, а не Ранкина-Мейера ради простоты вычисленій; разница же отъ пренебреженія неполнымъ расширеніемъ не особенно велика. Къ тому же въ новыхъ русскихъ правилахъ испытанія паровыхъ машинъ и турбинъ о машинѣ Мейера не говорится.

Величины  $\eta_i$ , стр. 18, показываютъ, что съ термодинамической точки зрѣнія испытывавшіяся машины очень совершенны.

Въ стр. 19 указана экономическая отдача  $\eta_{эк}$  всего агрегата, вычисленная по выраженію

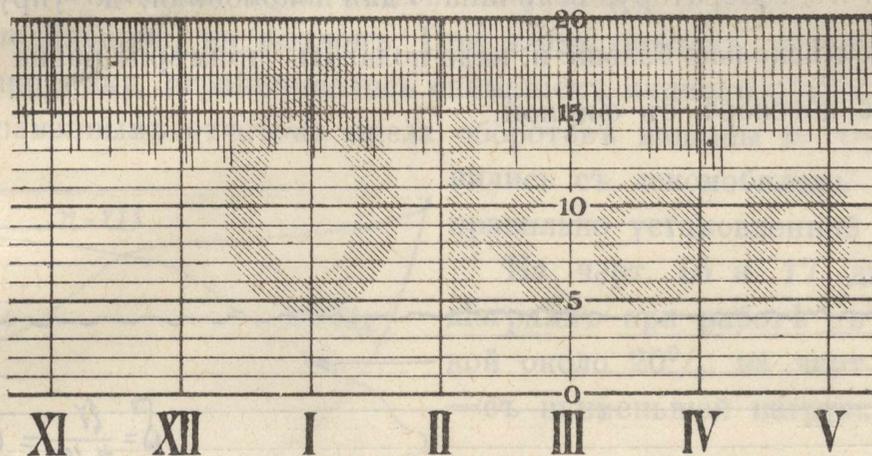
$$\eta_{эк} = \frac{632,3 K \cdot h}{0,736 B H_n}. \quad (6)$$

Хотя величины  $Q_d$  и  $\eta_{эк}$  значительно уступаютъ получаемымъ съ машинами внутренняго горѣнія, однако превосходятъ среднія величины, обычно принимаемыя въ настоящее время для паровыхъ машинъ соотв. мощности.

Въ заключеніе пояснимъ стр. 23 и 24 таблицы 2: такъ какъ величины отдачи электрическихъ генераторовъ  $\eta_e$  значительно болѣе опредѣленны, чѣмъ величины механической отдачи  $\eta_m$  паровыхъ машинъ, менѣе подвержены измѣненію отъ случайныхъ воздѣйствій и, наконецъ, одинаковы, какъ у новой машины, такъ и у приработавшейся, то автору казалось интереснымъ опредѣлить, наоборотъ, величины  $\eta_m$  по  $K$ ,  $N_i$  и  $\eta_e$ . Въ стр. 23 указаны получившіяся величины суммарной отдачи всего агрегата  $\eta_a = \eta_e \cdot \eta_m$ , а въ стр. 24 величины  $\eta_m$  при  $\eta_e = 0,93$  для полной и  $\eta_e = 0,88$  для половинной нагрузки. Испы-

танія II—V дали результаты очень согласные между собой и довольно близкіе къ принятымъ нами величинамъ  $\eta_m$ . Испытаніе I, проведенное съ неправильными сѣченіями паровыхъ каналовъ у стороны крышки цилиндра в. д., а потому съ бѣльшими потерями и съ неправильнымъ распределеніемъ работы по отдѣльнымъ рабочимъ полостямъ, дало величину  $\eta_m$  примѣрно на 0,03 ниже величинъ изъ испытаній IV и V. При  $1/2$ -ой нагрузкѣ, испытаніе II, суженіе каналовъ не сказалось на величинѣ  $\eta_m$ ; вѣроятно, вслѣдствіе меньшаго расхода пара.

Въ общемъ стр. 24 подтверждаетъ достаточную правильность принятыхъ нами выше величинъ  $\eta_m$  и  $\eta_o$ .



Начало испытанія въ 11 ч. утра, конецъ въ 5 ч. дня.

Черт. 14.

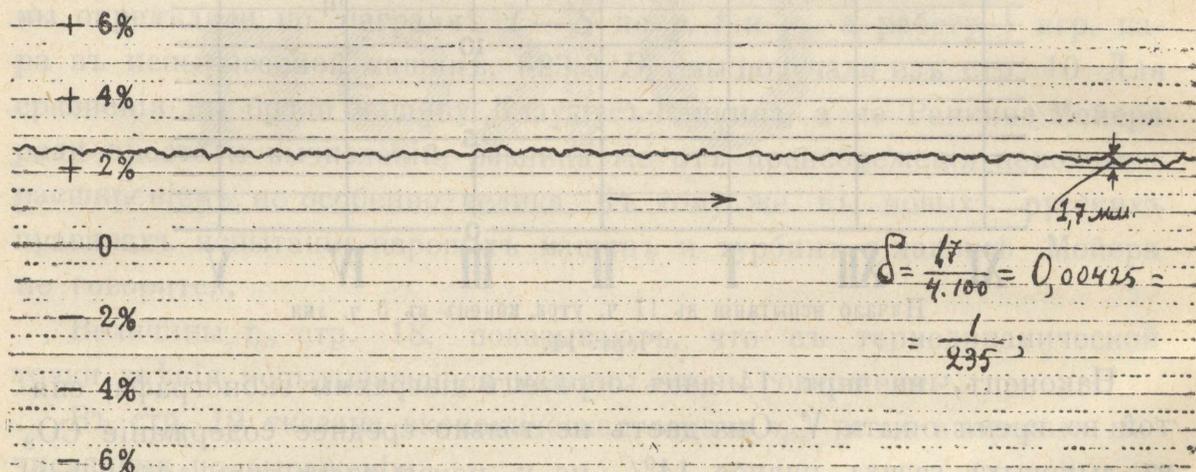
Наконецъ, на черт. 14 данъ образецъ діаграммы эконографа, снятой во время опыта V. Она даетъ не только среднее содержаніе CO<sub>2</sub> въ дымовыхъ газахъ равное 14%, но и показываетъ, что содержаніе CO<sub>2</sub> колебалось очень мало, всего въ предѣлахъ отъ 12 до 15%.

*Регулируемость.* Послѣ испытаній на расходъ пара были произведены испытанія регулируемости машинъ: при почти мгновенномъ уменьшеніи нагрузки съ  $1/1$  примѣрно до  $1/9$  нормальной величины ея, съ 250 до 28—30 д. л. с.<sup>2)</sup>, число оборотовъ  $n$  возрастало съ 214 до до 229, но черезъ 10 ск. устанавливалась на 224, т. е. наибольшій бросокъ былъ на +7%, а остающееся измѣненіе  $\Delta n = +4,7\%$ . При быстромъ увеличеніи нагрузки число оборотовъ садится съ 224 до 209, а черезъ 10 ск устанавливается на 214. Такимъ образомъ можно считать, что регуляторы у этихъ машинъ достаточно сильные и надежные, но съ довольно значительной степенью нечувствительности. Въ виду послѣдняго обстоятельства, имѣя въ виду параллельную

<sup>2)</sup> Произвести полную разгрузку при работѣ съ холодильникомъ нельзя было, такъ какъ тогда остановился бы центрофужный электронасосъ, подававшій воду для охлажденія пара и въ нагрузочное сопротивление; энергія на насосъ шла около 30 д. л. с.

работу обоихъ агрегатовъ регуляторы снабжены приспособленіями, позволяющими измѣнять на ходу машины число оборотовъ до  $\pm 5\%$ .

Далѣе была изслѣдована степень неравномѣрности вращенія машинъ при помощи тахографа Горна. Въ виду полного тождества машинъ одинаковыхъ размѣровъ и вѣсовъ маховиковъ и генераторовъ и одинаковой регулируемости машинъ, тахограммы снимались лишь съ одного агрегата II. Шкивъ для приведенія въ дѣйствіе тахографа пришлось насадить на валъ генератора, за муфтой Цодель-Фойта, такъ что найденная по тахограммѣ степень неравномѣрности  $\delta = \frac{1}{235}$  относится къ генератору; величина  $\delta$  для локомотива, до упругой муфты, будетъ нѣсколько больше и, надо полагать, примѣрно равна  $\frac{1}{180}$ , указанной въ договорѣ съ фирмой.



Черт. 15.

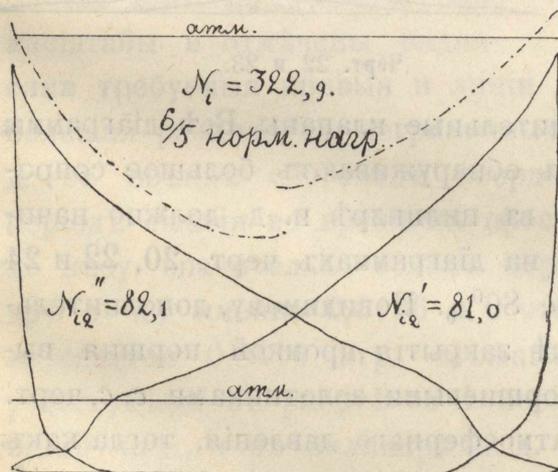
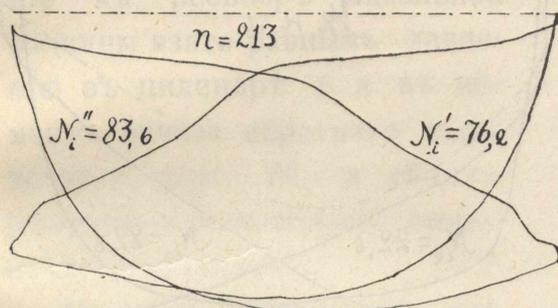
На черт. 15 данъ на образецъ фотографическій снимокъ куска тахограммы, снятой при полной нагрузкѣ  $N_e \cong 250$  д. л. с. и  $n = 214$  обр./мин.; масштабъ ординатъ 4 мм.  $= 1\%$  колебанія скорости. Номинальная скорость бумажной ленты была  $c = 10$  мм./сек., т. е. одному обороту машины на діаграммѣ должна бы соотвѣтствовать длина  $l = \frac{10 \cdot 60}{214} = 2,8$  мм.; однако вслѣдствіе скольженія, съ одной стороны, фрикціонныхъ колесикъ въ самомъ тахографѣ, съ другой, ленты на алюминіевомъ шкивѣ, длина, соотвѣтствующая 20 оборотамъ машины, получилась 48 мм., т. е. длина, соотвѣтствующая 1 обороту, равна всего 2,4 мм., скольженіе около  $14\%$ .

Обращаясь къ діаграммѣ, черт. 15, мы видимъ, что одинъ полный періодъ, отъ одного зубца минимума до слѣдующаго, составляетъ довольно точно 4,8 мм., т. е. охватываетъ какъ разъ 2 оборота машины. Объясненіе этого явленія нужно искать, по всей вѣроятности,

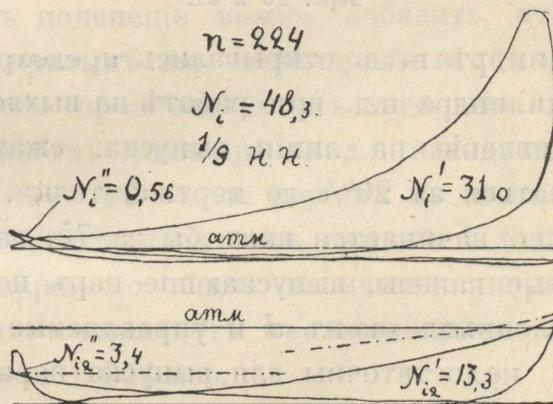
въ взаимодействіи между маховиками и регуляторомъ. Впрочемъ, какъ извѣстно, тахографъ Горна даетъ діаграммы, которыя позволяютъ измѣрять довольно точно предѣлы колебанія скорости машины, т. е. находить степень неравномѣрности  $\delta$  ея вращенія, но не могутъ передавать правительнаго характера кривыхъ измѣненія скорости, особенно при такомъ значительномъ числѣ оборотовъ, какъ  $n=214$  въ мн..

*Дополнительныя изслѣдованія.* По окончаніи описанныхъ приѣмочныхъ испытаній авторъ рѣшилъ произвести хотя бы бѣглое изслѣдованіе работы машины при иныхъ нагрузкахъ, а также при работѣ безъ холодильника, на выхлопъ. При этихъ опытахъ, установивъ желаемую нагрузку, ограничивались сниманіемъ индикаторныхъ діаграммъ и одновременнымъ отчетомъ числа оборотовъ машины  $n$ . Опыты ставились съ локобилемъ № 1, съ правильно установленной крышкой.

На черт. 16 и 17 дана серія діаграммъ при работѣ съ перегрузкой около 200%; на черт 18 и 19 — съ наименьшей нагрузкой около



Черт. 16 и 17.

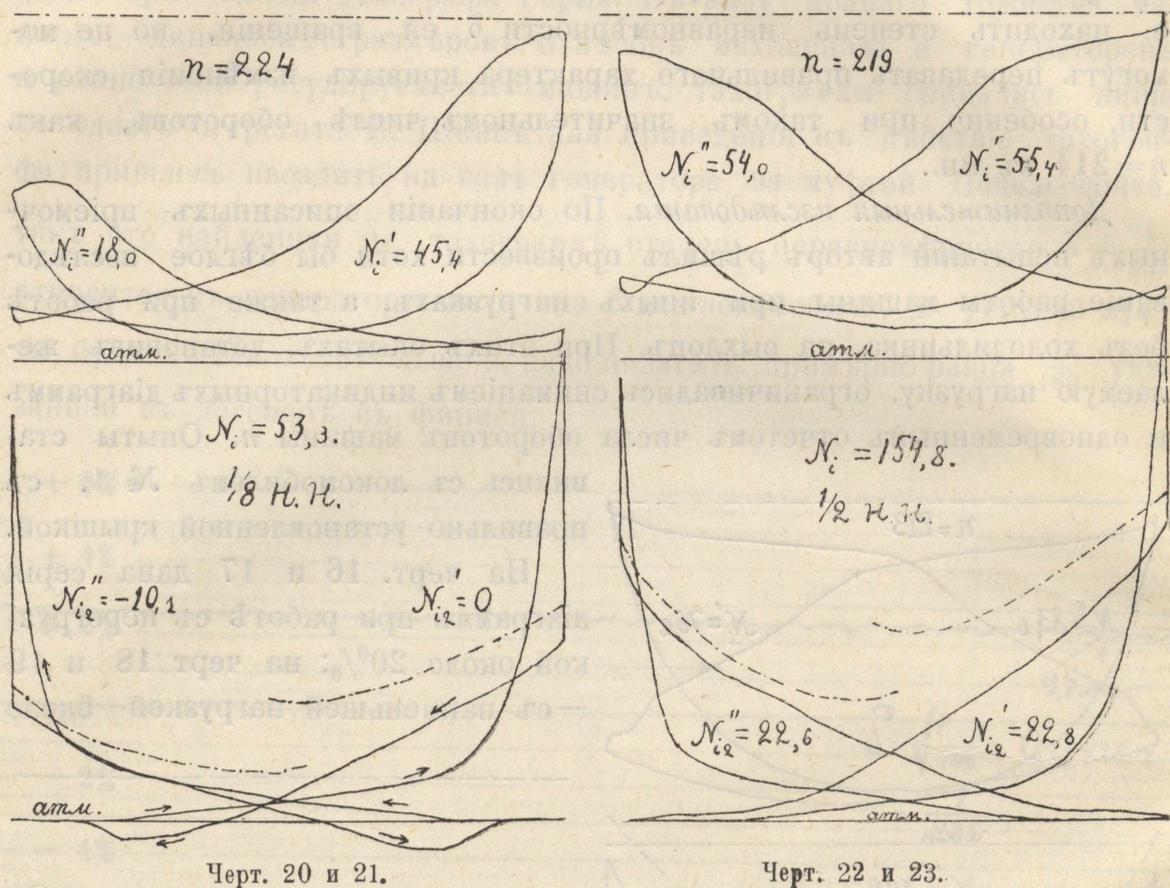


Черт. 18 и 19.

$1/9$  нормальной величины; на черт. 20—25 даны серіи діаграммъ при работѣ на выхлопъ съ  $1/8$ -ой,  $1/2$ -ой и  $1/1$ -ой нагрузками. Большую нагрузку при работѣ на выхлопъ машина не могла везти. Масштабы давленій у черт. 16—25 одинаковы съ черт. 6—13. Надписи на самихъ діаграммахъ дѣлаютъ дальнѣйшія поясненія излишними.

Въ общемъ діаграммы, кромѣ наименьшей нагрузки, имѣютъ правильный видъ; неизбежныя петли не представляютъ ничего опаснаго

вследствие применения поршневых золотниковъ. При работѣ съ полной нагрузкой на выхлопъ, черт. 24 и 25, въ концѣ сжатія въ ни-

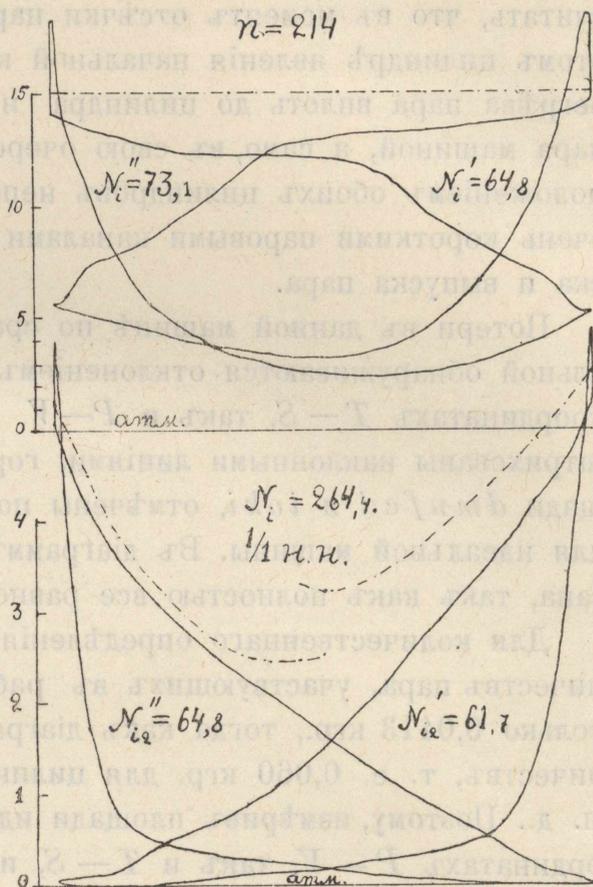


линдра в. д. открывались предохранительные клапаны. Всѣ диаграммы цилиндра н. д. при работѣ на выхлопъ обнаруживают большое сопротивление на линіи выпуска: сжатіе въ цилиндрѣ н. д. должно начинаться за 20% до мертвой точки, а на диаграммахъ черт. 20, 22 и 24 оно начинается какъ бы за 75, даже 80%. Повидимому, дополнительные каналы, выпускающіе паръ послѣ закрытія кромкой поршня выхлопныхъ оконъ  $d$  и управляемые поршневыми золотниками  $e, e$ , черт. 2, недостаточны для выпуска пара атмосфернаго давленія, тогда какъ для выпуска менѣе плотнаго пара, съ давленіемъ около 0,15 кгр./см<sup>2</sup> абс., сѣченіе ихъ достаточно велико. Подтверждается это предположеніе и величиной скорости пара: площадь дополнительныхъ оконъ составляетъ всего около 132 см.<sup>2</sup>, что при средней скорости поршня въ 3,29 м./ск. даетъ среднюю скорость пара въ окнахъ около 52,2 м./ск. а наибольшую, около середины хода поршня, даже до 83,5 м./ск. Такъ какъ машины предназначены для постоянной работы съ холодильникомъ, это то обстоятельство не особенно важно.

Далѣ на черт. 26 даны сперва ранкинизированныя діаграммы локомотива № 1 при правильной сборкѣ и полной нагрузкѣ, черт. 6 и 7, а затѣмъ онѣ же перенесены по известному способу Бульвена<sup>3)</sup> въ тепловыя координаты  $T-S$ . Для выясненія потерь дѣйствительной машины въ координатахъ  $T-S$ , а также и въ  $P-V$  вчерчены діаграммы идеальной машины — безъ вреднаго пространства, безъ потерь отъ вліянія стѣнокъ и отъ мятія, но съ неполнымъ расширеніемъ Давленіе въ ресиверѣ идеальной машины взято равнымъ давленію въ цилиндрѣ в. д. въ моментъ начала обратнаго хода, точка  $f$ , черт. 26, а объемъ ресивера предположенъ безконечно большимъ.

На черт. 26 указаны всѣ масштабы и отмѣчены надписями требуемыя кривыя и линіи. Въ поясненіе можно добавить, что большая разница въ пограничныхъ кривыхъ для цилиндровъ в. д. и н. д. въ обѣихъ системахъ координатъ происходитъ отъ того, что въ періодъ сжатія во вредномъ пространствѣ цилиндра в. д. находится по вѣсу значительно больше пара, чѣмъ въ соотв. періодъ въ цилиндрѣ н. д., именно 0,0186 и соотв. 0,0026 кгр.; такъ какъ за 1 ходъ впускается 0,0413 кгр. свѣжаго пара, то общее количество пара, участвующее въ работѣ за 1 періодъ, составляетъ въ цилиндрѣ в. д. 0,060 кгр., а въ цилиндрѣ н. д. всего 0,044 кгр..

Тепловыя діаграммы испытанной машины показываютъ, что перегрѣвъ пара въ концѣ наполненія цилиндра в. д., точка 2, сохраняется, и только температура пара понижается съ  $368^{\circ}$  до  $290^{\circ}$ ; въ цилиндрѣ н. д. паръ уходитъ еще перегрѣтымъ и даже въ моментъ отсѣчки въ цилиндрѣ н. д. имѣетъ температуру около  $122^{\circ}$ , т. е. на нѣсколько градусовъ выше соотв. температуры влажнаго пара. Впрочемъ, пе-



Черт. 24 и 25.

<sup>3)</sup> См. налр. Дуббель, Паровыя машины. Петроградъ. 1907; Уго Анкона, Энтропійная діаграмма и ея приложения. Петроградъ, 1910.

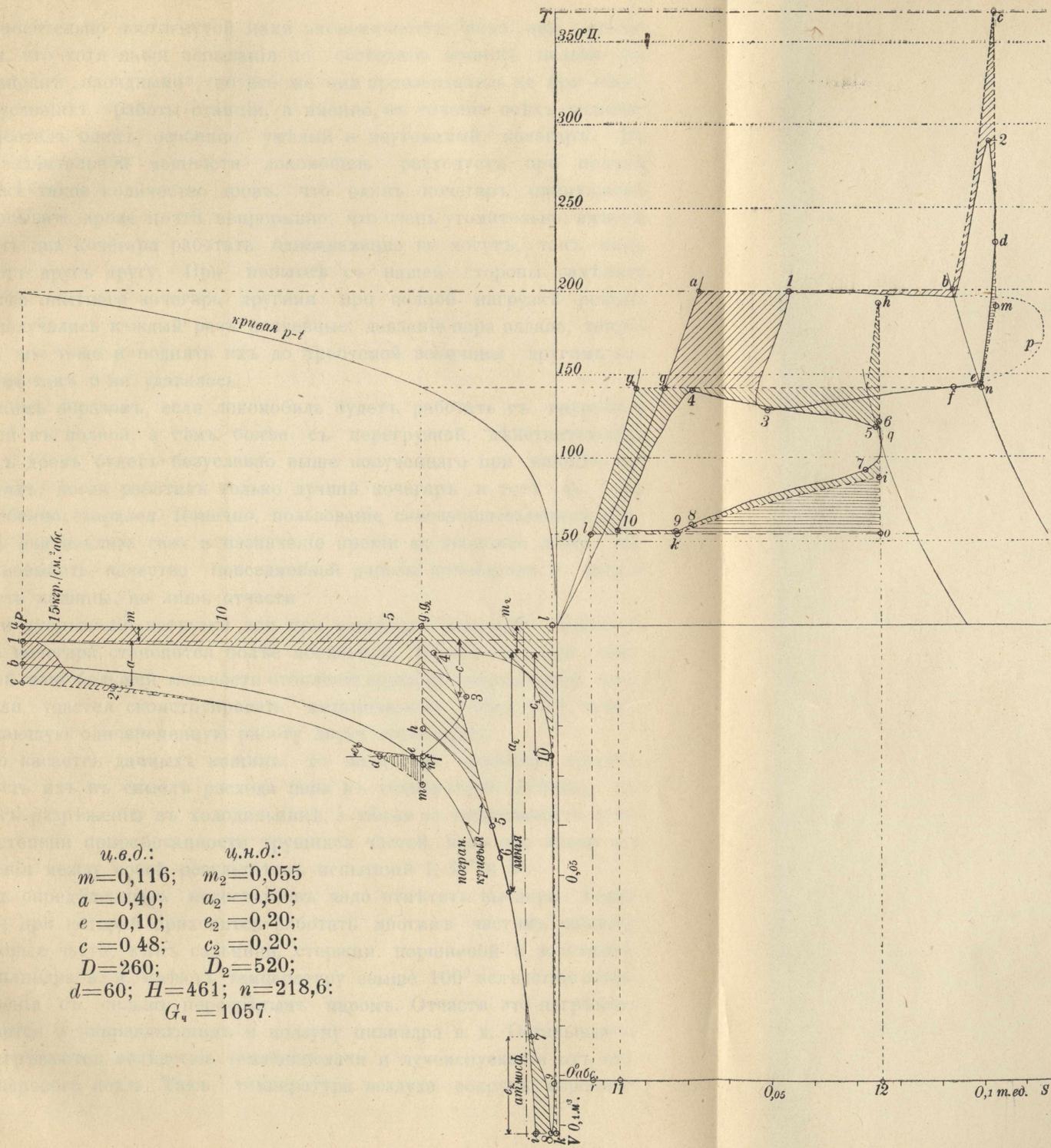
реходъ индикаторной діаграммы этого цилиндра въ область перегрѣва настолько незначителенъ, что съ достаточной точностью можно просто считать, что въ моментъ отсѣчки паръ безусловно сухой, т. е. и въ этомъ цилиндрѣ явленія начальной конденсаціи нѣтъ. Сохраненіе перегрѣва пара вплоть до цилиндра н. д. объясняетъ малый расходъ пара машиной, а само, въ свою очередь, должно быть объяснено расположеніемъ обоихъ цилиндровъ непосредственно на паровомъ котлѣ, очень короткими паровыми каналами и раздѣленіемъ оконъ для впуска и выпуска пара.

Потери въ данной машинѣ по сравненію съ указанной выше идеальной обнаруживаются отклоненіемъ очертаній діаграммъ, какъ въ координатахъ  $T-S$ , такъ и  $P-V$ . Для ясности соотв. площади заштрихованы наклонными линіями, горизонтальной же штриховкой, площади  $d m n f e d$  и  $i o k i$ , отмѣчены потери отъ неполнаго расширения для идеальной машины. Въ діаграммѣ  $P-V$  площадь  $i o k i$  не показана, такъ какъ полностью все равно не помѣстилась бы на чертежѣ.

Для количественнаго опредѣленія потерь надо помнить, что изъ количествъ пара, участвующихъ въ рабочемъ процессѣ, свѣжаго пара только 0,0413 кгр., тогда какъ діаграммы вычерчены для полныхъ количествъ, т. е. 0,060 кгр. для цилиндра в. д. и 0,044 для цилиндра н. д.. Поэтому, измѣривъ площади идеальныхъ діаграммъ, какъ въ координатахъ  $P-V$ , такъ и  $T-S$ , ихъ надо уменьшить въ отношеніи  $\frac{0,0413}{0,0600}$  и  $\frac{0,0413}{0,0440}$ ; дѣлать это графически, при вычерчиваніи діаграммъ, нецѣлесообразно, такъ какъ тогда пропадетъ наглядность потерь въ отдѣльныхъ частяхъ діаграммъ дѣйствительной машины.

Имѣя это въ виду, надо признать, что потери въ данной машинѣ очень не велики. Даже значительныя на первый взглядъ потери вслѣдствіе вреднаго пространства и при впускѣ оказываются не особенно велики: въ суммѣ всѣ потери равны всего 0,13 площади идеальной діаграммы. Даже если взять въ качествѣ идеальной машины машину безъ потерь отъ неполнаго расширения, то потери равны всего 0,22 ея площади, что находится въ очень близкомъ согласіи съ найденной выше, стр. 18 таблицы 2, величиной  $\eta_i = 0,79$ .

**5. Общія заключенія.**—Если подвести итоги испытаній разбираемыхъ локомотивовъ и сравнить ихъ преимущества и недочеты, а также постараться вообще оцѣнить данный типъ машинъ, то въ первую очередь надо признать за ними сравнительно малый расходъ топлива и пара, т. е. экономичность; второе достоинство—сравнительно малая площадь и вообще малое мѣсто, потребныя для ихъ установки. Этимъ однако и исчерпывается положительная сторона, а далѣе придется указать нѣсколько отрицательныхъ свойствъ.



Черт. 26.

Относительно достигнутой нами экономичности надо еще оговориться, что хотя наши испытанія по состоянію машинъ нельзя назвать вполне „парадными“, но все же они производились не при обычныхъ условіяхъ работы станціи, а именно, въ теченіе всѣхъ испытаній работалъ одинъ, особенно умѣлый и неутомимый кочегаръ. Въ виду значительной мощности локомобиль расходуетъ при полной нагрузкѣ такое количество дровъ, что одинъ кочегаръ принужденъ подбрасывать дрова почти непрерывно, что очень утомительно; вмѣстѣ съ тѣмъ два кочегара работать одновременно не могутъ, такъ какъ мѣшаютъ другъ другу. При попыткѣ съ нашей стороны замѣнить наиболѣе опытнаго кочегара другими при полной нагрузкѣ результаты получались каждый разъ плачевные: давленіе пара падало, температура его тоже и поднять ихъ до требуемой величины другимъ кочегарамъ такъ и не удавалось.

Такимъ образомъ, если локомобиль будетъ работать съ нагрузкой близкой къ полной, а тѣмъ болѣе съ перегрузкой, дѣйствительный расходъ дровъ будетъ безусловно выше полученнаго при нашихъ испытаніяхъ, когда работалъ только лучший кочегаръ и тотъ къ тому же особенно старался. Конечно, пользованіе самозаписывающимъ приборомъ для анализа газа и назначеніе преміи за экономію дровъ можетъ повысить качество повседневной работы кочегаровъ и экономичность машины, но лишь отчасти.

При уменьшеніи нагрузки или при машинахъ меньшей мощности работа кочегара становится болѣе посильной. Наоборотъ, для локомобилей еще большей мощности отопленіе дровами непримѣнимо, развѣ, если удастся сконструировать механическую топку или топку, допускающую одновременную работу двухъ кочегаровъ.

Что касается данныхъ машинъ, то надо еще отмѣтить чувствительность ихъ въ смыслѣ расхода пара къ температурѣ свѣжаго пара и къ разрѣженію въ холодильникѣ, а также къ тщательности сборки и степени приработанности трущихся частей, какъ это видно изъ сравненія между собой результатовъ испытаній I, IV и V.

Изъ опредѣленныхъ недостатковъ надо отмѣтить высокую температуру, при которой приходится работать многимъ частямъ машины. Нѣкоторыя части, какъ сальники, стержни поршневой и золотниковый цилиндра в. д., имѣютъ температуру свыше  $100^{\circ}$  вслѣдствіе соприкосновенія съ сильно перегрѣтымъ паромъ. Отчасти это нагрѣваніе передается и направляющимъ и ползуну цилиндра в. д.. Остальныя части нагрѣваются вслѣдствіе теплопередачи и лучеиспусканія отъ стѣнокъ парового котла. Такъ, температура воздуха вокругъ коренного

вала во время работы съ полной нагрузкой составляетъ около  $50^{\circ}$  Ц., температура вкладыша коренного подшипника доходитъ до  $60^{\circ}$ , даже до  $70^{\circ}$  Ц.; и это считается нормальнымъ; дотрогиваясь до периль у маховика, боишься обжечься объ нихъ. Хотя данный заводъ отличается примѣненіемъ матеріаловъ высокаго качества и тщательной обработкой частей, но работа ихъ при указанныхъ тяжелыхъ температурныхъ условіяхъ должна неизбежно давать довольно сильный износъ ихъ и во всякомъ случаѣ требуетъ чрезвычайно внимательнаго ухода.

Далѣе, уходъ сильно затрудняется недоступностью отдѣльныхъ частей: чтобы отъ осмотра направляющихъ перейти къ осмотру находящагося на разстояніи  $1-1\frac{1}{2}$  м. подшипника коренного вала, надо спуститься по лѣстницѣ съ высоты около 2 м., вновь подняться на такую же лѣстницу и пройти метровъ 10 по горизонтальному направлению; то же самое для осмотра другого цилиндра или направляющей.

О преимуществѣ небольшихъ и среднихъ локобилей—возможно-сти обходиться однимъ лицомъ, исполняющимъ обязанности и кочегара, и машиниста, и масленщика, говорить, конечно, уже не приходится. Да и вообще названіе „локобилъ“ для такой махины, имѣющей въ длину около 7 м., въ ширину 3 м. и въ высоту 3,5 м. и вѣсящей около 60 тоннъ (3600 пуд.!) совершенно не подходитъ, такъ какъ ни о какомъ передвиженіи ея не можетъ быть и рѣчи.

Впрочемъ, что касается неудобства ухода за машинами вслѣдствіе многочисленныхъ отдѣльныхъ лѣстницъ, то этотъ упрекъ относится не столько къ типу машинъ, какъ къ неудачному проекту ея установки. Вообще нужно замѣтить, что данная станція спроектирована и построена неудачно: видимо, ради экономіи зданіе построили такой длины, что въ него съ трудомъ умѣстились два агрегата первой очереди, и совершенно нѣтъ мѣста на установку третьяго, когда придется увеличивать мощность станціи. Въ тоже время совершенно бесполезно сдѣлана высота зданія чуть ли не вдвое больше нужнаго. Далѣе, вслѣдствіе неудачнаго расположенія распредѣлительной доски ширина зданія получилась настолько большой (почти равной длинѣ его), что нельзя поставить мостового крана, отсутствіе котораго сильно сказывалось при установкѣ машинъ и будетъ ощущаться при каждой разборкѣ и сборкѣ.

О неудачной редакціи пункта договора, касающагося гарантіи въ расходѣ пара, мы уже говорили выше.

Остается еще коснуться вопроса о выборѣ типа машинъ. Къ сожалѣнію, приходится признать, что выборъ локобилей для городской станціи такихъ размѣровъ неудаченъ. Дѣло въ томъ, что отпущенная энергія такой станціей черезъ нѣсколько лѣтъ обыкновенно настоль-

ко возрастаетъ, что приходится не только добавлять новые агрегаты, но и убирать прежніе для установки на ихъ мѣсто новыхъ—болѣе крупной мощности. Если станція оборудована поршневыми машинами или турбинами, питаемыми паромъ отъ самостоятельныхъ котловъ, то приходится мѣнять лишь машинное оборудованіе, котельную же только увеличивать. При оборудованіи станціи, такъ назыв., „локомобилями“ приходится удалять прежнее и вновь пріобрѣтать все оборудованіе, что обходится чуть ли не вдвое дороже.

Вообще локомобили, какъ и всякій отдѣльный типъ машинъ-двигателей, имѣютъ свою область примѣненія, въ которой они соперничаютъ съ другими машинами и часто заслуживаютъ предпочтенія, именно станціи малой и средней мощности съ агрегатами до 100—120 л. с. каждый. Встрѣчающіеся теперь значительно болѣе крупные локомобили являются своего рода модой, увлеченіемъ. Гарантируемые малые расходы пара и топлива далеко не оправдываютъ этого увлеченія, даже если дѣйствительный расходъ во время повседневной работы станціи окажется близкимъ къ гарантированному.

Что касается ошибокъ, допущенныхъ при устройствѣ данной электрической станціи, то онѣ, къ сожалѣнію, вовсе не исключенія: автору приходилось принимать участіе въ экспертизахъ и окончательныхъ пріемкахъ нѣсколькихъ городскихъ силовыхъ станцій, при проектированіи которыхъ, выборѣ и заказѣ машинъ и заключеніи договоровъ были допущены тѣ или иныя, подчасъ очень грубыя ошибки. Еслибы городскія управления обращались къ соотв. специалистамъ не только для руководства пріемкой готовой станціи, а заблаговременно при разработкѣ проекта и договора, то подобныя ошибки были бы устранены, города получали бы при тѣхъ же затратахъ станціи, лучше устроенныя и оборудованныя и болѣе экономичныя въ работѣ, а также могли бы сокращать затраты по постройкѣ и оборудованію и дальнѣйшему расширенію своихъ станцій.

Впрочемъ, основываясь даже на собственной практикѣ, авторъ можетъ отмѣтить, что своевременное обращеніе къ соотв. специалистамъ, повидимому, уже начинаетъ постепенно входить въ обычай городскихъ общественныхъ управленій. Будемъ надѣяться, что этотъ обычай будетъ распространяться и вширь и вглубь, т. е. будетъ расти, какъ число обращеній, такъ равно и разнообразіе затрагиваемыхъ вопросовъ. Тогда новѣйшія завоеванія техники будутъ быстрее и прямѣе итти на пользу нашимъ городамъ и поднимать ихъ общій культурный уровень.