

404079.
Известия
механического ин-та
1914г. в XV

Извѣстія Механическаго Института

Императорскаго Московскаго Техническаго Училища.

Mitteilungen des Mechanischen Instituts der Kaiserlich Technischen Hochschule—Moskau.

БИБЛИОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
28. МАРТ. 1914
МОСКОВСКАГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

Выпускъ XV.

Лабораторія паровыхъ котловъ.

Dampfkessellaboratorium.

К. В. Ниршъ. I. Сжиганіе южно-русскихъ антрацитовъ съ легкоплавкой золой сухимъ дутьемъ на холодной рѣшеткѣ „Прометей“.

С. Kirsch.

II. Опыты съ высокими напряжениями рѣшетокъ (до 560^{kg} антрацита на mt^2 1 часъ).

III. Сжиганіе Егоршинскаго (Уральскаго) антрацита.

Verbrennung von Südrussischen Anthraziten mit leichtschmelzbarer Asche auf „kaltem Rost“ (Prometheus-Hohlrost).

Versuche mit Rostbelastungen bis 560^{kg} Anthrazit pro 1 mt^2 1 St.

Versuche mit Anthraziten aus dem Ural.

Н. Г. Пацуковъ. Къ вопросу объ опредѣленіи степени легкоплавкости шлаковъ и золы.

N. Patzukof.

Zur Frage der Schmelzbarkeitbestimmung von Asche und Schlacke.

Карта порайоннаго распредѣленія антрацитовыхъ копей Донецкаго бассейна.



Выручка поступаетъ въ фондъ
РАСШИРЕНІЯ ЛАБОРАТОРІИ ПАРОВЫХЪ
Импер. Техн. училища.

МОСКВА. — 1914.

Типографія Русскаго Товарищества Печати и Издательск. Дѣла. Чистые пруды, Мыльниковъ пер.
Телефонъ 18-35.

- 3) Должанскій 1000°
 4) Власовскій 1000°
 5) Хрустальскій 1000°
 6) Боковскій 900°

МОСКОВСКОГО
 ТЕХНИЧЕСКОГО УЧИЛИЩА
 28 АПР 1914

По порядку поступления
 № 1849

Сжиганіе южно-русскихъ антрацитовъ съ легкоплавкой золой сухимъ дутьемъ на холодной рѣшеткѣ „Прометей“.

Опыты съ высокими напряжениями рѣшетокъ (до 560 кл. антрацита на 1м^2 —1 часъ).

Нижеприведенные опыты являются продолженіемъ изслѣдованій, произведенныхъ Лабораторіей Паровыхъ Котловъ И. Т. У. въ теченіе времени отъ марта до августа мѣс. 1913 г. и подробно описанныхъ въ XIII выпускѣ Извѣстій Мех. Инст. ¹⁾.

Эти изслѣдованія выяснили, что на процессъ сжиганія на рѣшеткѣ антрацита имѣетъ исключительно большое вліяніе качество минеральныхъ его примѣсей, т.-е. золы, а именно степень ея легкоплавкости. Последнее свойство золы мы пытались охарактеризовать температурой плавленія золы и шлака ($T_{\text{пл.}}$), опредѣленной для средней пробы антрацита въ печи Девиля. Сама по себѣ эта оцѣнка заключаетъ въ себѣ много условностей и не можетъ быть разсматриваема какъ абсолютная ²⁾, но, несмотря на это, ея относительная цѣнность весьма велика. Всѣ изслѣдованные въ мартѣ—августѣ 1913 г. антрациты можно было по опредѣленной такимъ образомъ температурѣ плавленія золы размѣстить въ рядъ, начинавшійся Боковскимъ антрацитомъ съ наиболѣе легкоплавкой золой ($T_{\text{пл.}}=880^\circ$) и кончавшійся антрацитомъ Грушевскаго II пласта ($T_{\text{пл.}}=1280^\circ$). Изслѣдованіе антрацитовъ на рѣшеткѣ обнаружило, что всѣ антрациты, примыкающіе въ ряду къ Грушевскому [Грушевскій верхн. рыхлый пласть (1180°), Чистяковскій (1230°), Должанскій (1160°), Прохоровскій, (1100°)] сжигались весьма удобно и легко на „холодныхъ“ (т.-е. не охлаждаемыхъ водою) рѣшеткахъ съ концентрированнымъ вводомъ воздуха при сухомъ (вентиляторномъ) дутьѣ, въ то время какъ антрациты, примыкающіе къ Боковскому (нами были изслѣдованы Власовскій— 970° и Хрустальскій— 980°) требовали обязательно введенія въ большее количествѣ въ слой топлива водяного пара, т.-е. работы паровымъ дутьемъ. Такъ какъ при этомъ работа котла при паровомъ дутьѣ обходится на 8—10% и болѣе дороже, чѣмъ при вентиляторномъ, то были поставлены описываемые далѣе опыты по сжиганію антрацитовъ съ легкоплавкой золой на рѣшеткѣ съ искусственнымъ охлажденіемъ ее водою. Будемъ ее называть „холодной“.

Вліяніе качества шлака на работу слоя и рѣшетки было подробно разобрано въ XIII выпускѣ. Въ главныхъ чертахъ оно сводится къ слѣдующему.

При низкой температурѣ остыванія ³⁾ полученнаго

въ среднихъ слояхъ топлива шлака, послѣдній успѣваетъ доходить до чугунной рѣшетки въ видѣ жидкой или во всякомъ случаѣ вполне пластичной массы, плотно осѣдающей на чугунной поверхности, заполняя всѣ ея неровности, затекая въ ея щели и въ результатѣ этого плотно приставаая къ ней. Съ другой стороны такая шлаковая пленка представляетъ изъ себя очень плотную тяжелую массу, почти непроницаемую для воздуха. Сопротивленіе слоя при такомъ антрацитѣ быстро растетъ, а удаленіе плотно приставаго къ рѣшеткѣ шлака почти совершенно невозможно. Наоборотъ, при легко остывающихъ шлакахъ (Грушевскіе и другіе антрациты) проходящий снизу вверхъ воздухъ успѣваетъ настолько охладить шлакъ, что онъ садится на рѣшетку въ видѣ остывшей, болѣе или менѣе пористой, легкой массы, лишь немного увеличивающей суммарное сопротивленіе слоя и весьма легко снимающейся съ рѣшетки.

Пропуская черезъ слой антрацита съ легкоплавкой золой (или вѣрнѣе съ трудноостывающимъ шлакомъ) сравнительно большое количество пара (на 1 клг. антрацита до 0,8 и даже болѣе клг. пара), удается настолько понизить температуру слоя (за счетъ временнаго связыванія нѣкоторой части тепла разложеніемъ H_2O въ присутствіи раскаленнаго углерода), что и здѣсь шлакъ успѣваетъ остывать, не пристаётъ къ чугунной рѣшеткѣ и дѣлается достаточно пористымъ. Но такое рѣшеніе вопроса (пока, къ сожалѣнію, почти общепринятое) совершенно нераціонально въ виду большого перерасхода на дутье и другія неудобства.

Введеніемъ интенсивнаго охлажденія водою рѣшетки (понятно при условіи дальнѣйшаго использованія тепла этой воды) можно было бы разсчитывать, по крайней мѣрѣ, избѣгнуть сильнаго приставанія шлака къ рѣшеткѣ, т.-е. легкаго его удаленія.

Устройство „холодной рѣшетки“ ¹⁾ фирмы Deutsche Prometheus Hohlrostwerke Hannover, которую мы примѣнили, измѣнивъ нѣсколько щели, для сжиганія антрацита, показано на фиг. 1, а ея установка къ нашему водотрубному котлу—на фиг. 2. Колосники состоятъ изъ цѣлнотянутыхъ сименсъ-мартеновской стали полыхъ, съ двумя каналами, брусевъ. Одинъ конецъ этихъ брусевъ заваривается наглухо, другимъ же они привариваются при помощи ацетиленъ къ желѣзной сварной коробкѣ, также разгороженной горизонтальной, вваренной перегородкой на 2 полости. Спереди коробка закрывается крышкой на болтахъ. Въ заднихъ концахъ имѣются ввертныя пробки

¹⁾ См. также Вѣстникъ О-ва Технологовъ №№ 22, 23, 24—1913 г. № 8—1913 г. В. П. О. и № 12—1913 г. Изв. Кіевск. О-ва надзора за котлами.

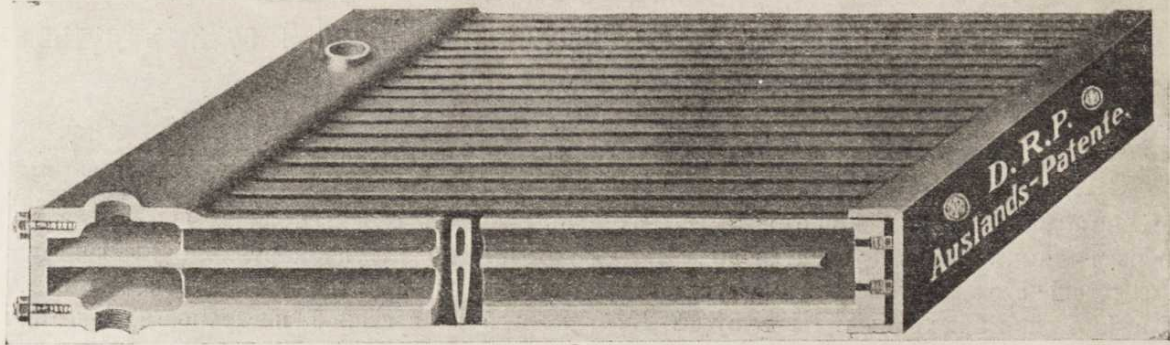
²⁾ Далѣе будетъ помѣщено предварительное сообщеніе по этому вопросу Лаборанта И. Т. У. Н. Г. Пацукова, подробно изучающаго по инициативѣ Л. П. К. этотъ крайне важный вопросъ.

³⁾ Какъ-будто именно важна температура остыванія полученнаго и подвергавшагося химическому воздѣйствію воздуха, окиси углерода и пр. шлака, а не температура плавленія первоначальной золы.

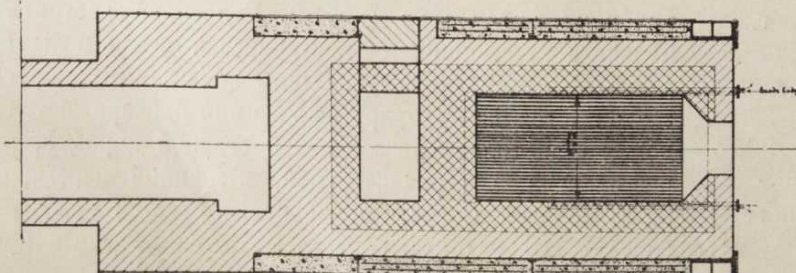
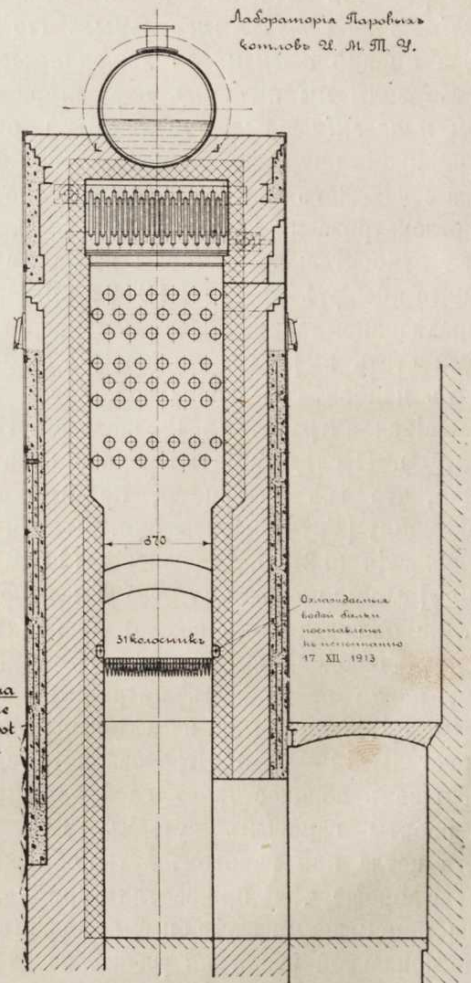
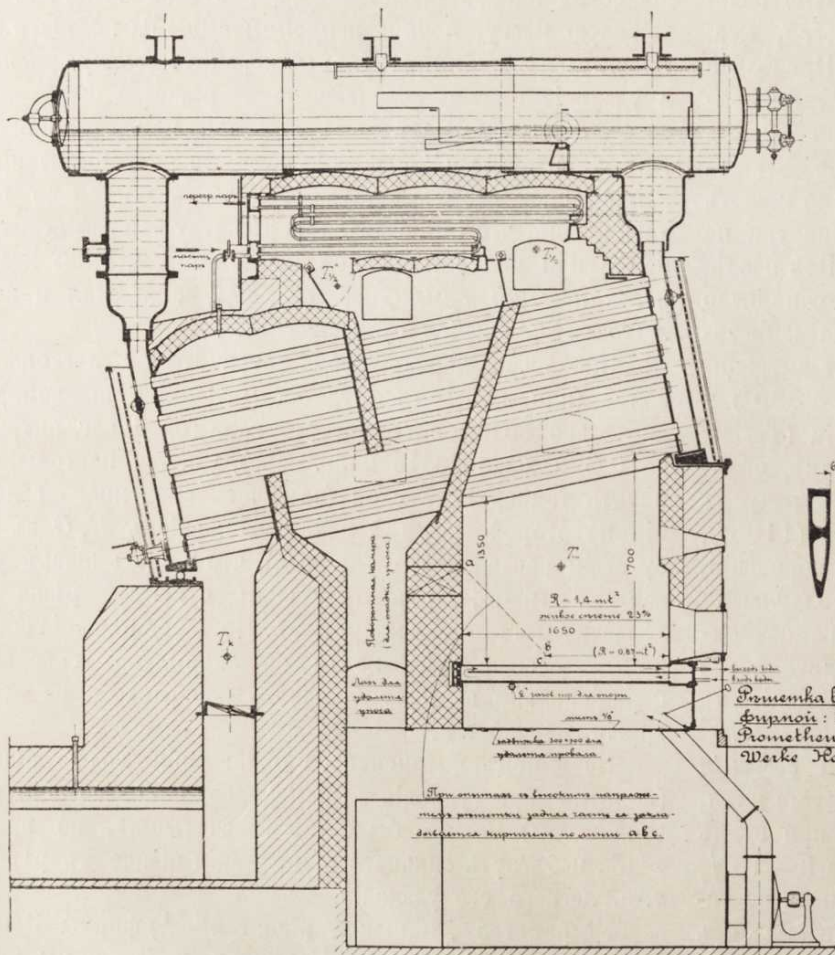
¹⁾ Предназначенной фирмой для кокса, угля и проч.

для осмотра внутренностей каналовъ, а также для болѣе удобной ихъ очистки. Охлаждающая вода проводится нижними каналами въ задніе концы колосниковъ, а по-

томъ верхнимъ горячимъ каналомъ она возвращается въ верхнюю полость коробки. Такимъ образомъ болѣе холодная вода попадаетъ въ болѣе, обыкновенно, го-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Устройство колосниковъ водоохлаждающаго

котла при $p_x = 12$ атм.

Поверхности нагрева котла $F_k = 60 \text{ м}^2$
 8 × 6 трубы, $l = 4000 \text{ мм}$ $\phi 95/89.5 \text{ мм}$.
 Поверхности нагрева перегреват. $F_{n2} = 24 \text{ м}^2$,
 24 трубки $l = 4000 \text{ мм}$ $\phi 38/32 \text{ мм}$.

рячее мѣсто колосниковъ, а накипь (въ видѣ грязи) въ случаѣ ея полученія осаждается главнымъ образомъ на нижней, не рабочей сторонѣ этого канала. Впрочемъ, замѣтное выдѣленіе накипи должно быть предупреждено нагрѣвомъ воды не далѣе 50—60°C¹⁾. Условія комбинирования рѣшетки съ котломъ, размѣры топочнаго пространства и проч. были приблизительно тѣ же, что и при опытахъ съ „горячей рѣшеткой“. Охлаждающая вода изъ рѣшетки поступала въ питательные баки, а оттуда расходовалась на питаніе котловъ.

Всѣ измѣренія производились при этихъ опытахъ по разобранному въ вып. XIII приѣмамъ, лишь вмѣсто непосредственнаго измѣренія температуры стѣнки колосниковъ, какъ это дѣлалось при горячихъ рѣшеткахъ, мѣрилось количество проходящей черезъ рѣшетку воды и повышение ея температуры. По этимъ даннымъ получалась очень хорошая характеристика степени нагрѣва и самихъ колосниковъ, такъ какъ при чистыхъ отъ накипи внутреннихъ проводящихъ тепло стѣнкахъ можно принять температуру воды равной приблизительно температурѣ стѣнки. Лишь при отсутствіи совершенно теплоизлучающаго шлака (т.-е. при передачѣ большихъ количествъ тепла) на рѣшеткѣ—тутъ можетъ быть разница. Кромѣ того, понятно, эти температуры будутъ давать среднюю температуру по всей рѣшеткѣ.

Поступленіе охлаждающей воды въ рѣшетку регулировалось при опытахъ вентилемъ передъ нею такимъ образомъ, чтобы температура воды при выходѣ колебалась въ предѣлахъ отъ 50—60°C. Температура входящей воды колебалась отъ 10 до 30°.

Т о п л и в о.

Соотвѣтственно назначенію опытовъ главное вниманіе было обращено на *Боковскій* и *Власовскій* и отчасти *Хрустальскій* антрациты, и лишь для сравненія потомъ были также изслѣдованы *Должанскій*, *Чистяковскій* и *Грушевскій* II пл.

Далѣе, такъ какъ опыты марта—августа выяснили, что особенныя трудности представляло сжиганіе антрацитовъ съ легкоплавкой золой *при маломъ его количествѣ*²⁾, то всѣ антрациты были взяты *плитными* (Боковск., Хруст., Долж., Чист.) или *сортированными* съ удаленіемъ мелочи (Власовскій). Лишь Грушевскій II пласта взяли кулачнымъ. Послѣ разбивки плитъ до кусковъ въ 3—5, топливо бралось вилами и благодаря этому въ топку мелочи мельче $\frac{1}{2}$ попадало не болѣе 5—10%.

Основные цифры химическаго и калориметрическаго изслѣдованія среднихъ пробъ этихъ антрацитовъ собраны въ таблицѣ 1-й.

¹⁾ Подобныя охлажденія водою рѣшетки предлагались уже 60—70 лѣтъ тому назадъ, но недостаточно надежное и простое конструктивное ихъ осуществленіе (вначалѣ изъ чугуна, литья, потомъ изъ желѣза, но съ цѣлымъ рядомъ разбирающихся и потому вѣчно неплотными, ржавѣющими соединеніями) не обезпечивали имъ достаточно широкаго распространенія. Да кромѣ того для сжиганія пламенныхъ углей, особенно съ большимъ избыткомъ воздуха, какъ это раньше практиковалось, такія рѣшетки были и лишни.

²⁾ Напримѣръ, сильно загрязненное золой сѣмячко Боковского и Хрустальскаго антрацита можно сжигать при сухомъ дутьѣ и на горячихъ рѣшеткахъ.

Разсмотрѣніе ея приводитъ насъ къ выводамъ, совпадающихъ съ тѣми, къ которымъ мы пришли и въ предыдущей работѣ:

1) *Элементарный составъ органической части* изслѣдованныхъ 6-ти сортовъ антрацитовъ очень постояненъ, несмотря на совершенно разный внѣшній видъ. Напримѣръ, антрациты Грушевскій и Власовскій имѣютъ рѣзковыраженный мелкозернистый изломъ и они механически очень прочны; еще прочнѣе оказался Должанскій антрацитъ этихъ опытовъ съ крупнозернистымъ изломомъ; Чистяковскій имѣетъ болѣе слоистое сложеніе и блестящую поверхность и болѣе похожъ на Боковскій и Хрустальскій, которые, наконецъ, отличались смолистыми видомъ излома, при чемъ у Хрустальскаго имѣются характерные разноцвѣтные отливы.

Интересно тутъ отмѣтить, что Хрустальскій антрацитъ послѣднихъ опытовъ былъ доставленъ тѣмъ же предпріятіемъ, какъ и лѣтомъ, а между тѣмъ элементарные составы довольно замѣтно¹⁾ разнятся. Антрацитъ опыта 19-го іюля отличался необычно высокимъ (для южно-русскихъ антрацитовъ) содержаніемъ водорода: $H=2,8\%$ въ органической части и соотвѣтственно высокой теплопроизводительностью органической части: $Q_{орг}=8400\text{Cal}$. Долгое время было принято считать эти величины характерными для Хрустальскаго района и это представляло (помимо чистоты) его достоинство. Однако Хрустальскій же антрацитъ изъ опыта 27—XI даетъ уже составъ весьма близкій къ обычнымъ антрацитамъ ($H=1,8\%$; $Q_{орг}=8220\text{Cal}$). Это какъ-будто подтверждаетъ то имѣющее много сторонниковъ мнѣніе, что *существующее въ настоящее время въ Донецкомъ районѣ распределеніе на районы мало характеризуетъ самую органическую массу антрацита*, по крайней мѣрѣ ея элементарный составъ. Нѣкоторую разницу даетъ также Чистяковскій антрацитъ 5. VI ($H=2,65$; $Q_{орг}=8330$) и 29. XI ($H=2,0$; $Q_{орг}=8290$), а также Власовскій 27. VI ($H=2,4\%$; $Q_{орг}=8220$) и ноября мѣс. ($H=1,50$; $Q_{орг}=8230$), хотя они также доставлены одними и тѣми же предпріятіями²⁾.

Въ общемъ, однако, разницы очень невелики. Степень горючести антрацитовъ находилась, какъ-будто, въ отмѣченной уже ранѣе зависимости отъ количества водорода: *исключительно трудно загорающимся* оказался Должанскій антрацитъ ($H=1,3\%$), потомъ идутъ Власовскій ($H=1,5\%$) и Грушевскій ($H=1,5\%$), легче загорались Хрустальскій ($H=1,8\%$), Боковскій ($H=2,0\%$) и Чистяковскій ($H=2,0\%$), хотя разница между ними не была особенно велика (кромѣ Должанскаго). Соотвѣтственно съ этимъ и *толщина слоя* въ топкѣ (подъ узкимъ водотрубнымъ котломъ) оказалась различной: для Хрустальскаго, Боковского, Чистяковскаго антрацитовъ около 65—70 м/м. при кускахъ 3" 5" и 10% мелочи, для

¹⁾ Въ предѣлахъ измѣненія элементарнаго состава антрацита вообще.

²⁾ Характерно при этомъ, что разницы въ полученныхъ изъ анализа количествахъ водорода (для Ч. и В.) замѣтны, въ то время какъ между $Q_{орг}$ разницы почти нѣтъ. Возможно, что это объясняется меньшей точностью опредѣленія элементарнаго анализа, чѣмъ теплопроизводительности.

№ и время производства опыта.	
АНТРАЦИТЪ.	
Воза выдѣленный.	Предварит. усадка въ котельной большой пробы.
Досушкой въ хим. л. мал. пр.	
Абсолютно сухая проба.	Орган. часть.
Высѣтъ.	С Н O+N
Выходъ лет. гор. в.	С А
Теплопроизвод. по бомбѣ Q' (высшая)	
Орган. часть.	С Н O+N.
В а л а с т ь.	С А W
Первонач. проба (послѣд. въ толкѣ) расоч. толщива.	Всего S+A+W=T.
Выходъ горюч. лет. вѣщ.	
Низш. теплопроизводительн. Q.	По бомбѣ $\frac{100 \cdot W}{100 - W} \cdot Q'$ ($W+N$).
Органическа. часть.	По форм. Менделѣева ($N=0,5$).
С Н	По форм. Менделѣева ($N=0,5$).
О^о + N^о.	Низшая Q^о $Q = 26,5 + 6 \cdot W$ $\frac{100}{100 - T}$
Т_{н.л.} начало размягченія шлага.	

19. XI ¹³ B ³	Битый изъ плиты и взятъ вилой.	Еоновскій. О-ва „Русскія ан-трациты“, бывшій Кольбертъ. Ст. Англичасть. 3—5", около 10°/о мелочи.	(93 ч.—43°С)	3,95 2,07	91,35	1,86	1,28	1,72	3,79	2,78	7957	85,85	1,75	1,20	1,65	3,6	5,95	11,2	2,7	7350	7360	96,7	2,00	1,30	8275	ок. 1000°
20. XI B ³			(69 ч.—44°С)	4,05 1,78	—	—	—	1,89	3,94	—	7936	—	—	—	1,80	3,8	5,8	11,4	—	7345	—	—	—	—	8270	
22. XI B ¹				4,3 1,18	—	—	—	1,86	4,15	—	7944	—	—	—	1,80	4,0	5,45	11,25	—	7375	—	—	—	—	8290	
14. XI B ¹	Власовскій.		(46 ч.—54°)	3,4 2,7	—	—	—	1,97	6,2	—	7664	—	—	—	1,95	5,8	6,0	13,75	—	7090	—	—	—	—	8205	ок. 1050-1100.
12. XI B ²	Е. Т. Парамонова С.-вѣл.		(65 ч.—56°)	3,85 2,23	—	—	—	2,67	5,2	—	7712	—	—	—	2,50	4,9	6,00	13,4	—	7140	—	—	—	—	8220	
13. XI B ²			(41 ч.—53°/о)	3,05 2,92	89,17	1,4	0,99	2,44	6,00	2,48	7680	83,95	1,3	0,95	2,3	5,65	5,85	13,8	2,4°/о	7120	7115	97,4	1,50	1,1	8230	
23. XI B ¹	Сортированный. орьм. 4", почти безъ мелочи.		(100 ч.—46°)	3,5 2,15	—	—	—	2,14	6,09	—	7694	—	—	—	2,1	5,7	5,6	13,4	—	7160	—	—	—	—	8240	ок. 1000
27. XI X ²	Хрустальскій. Рок. Хруст. Акц. О-во ст. Кризав-чева 3—5", около 10°/о мелочи.		(70 ч.—40°)	2,25 2,85	92,54	1,69	1,47	1,52	2,78	3,31	8001	87,8	1,6	1,4	1,45	2,7	5,05	9,2	3,3	7590—120 7470	7485	96,7	1,80	1,50	8220	
12. XII I ¹⁴	Должанскій. О-ва Валдино ст. Должанскіи 3—5", 10°/о мелочи.		(90 ч.—50°)	4,15 2,40	90,9	1,17	0,97	2,74	4,22	3,2	7732	85,0	1,1	0,95	2,55	3,95	6,45	12,95	3,1	7150	7165	97,6	1,3	1,1	8180	
29. XI ч ²	Чистановскій. Моск. Донепе. Т-во ст. Числяково 3—5"; 10°/о ме-лочн.		(23 ч.—43°)	2,45 2,70	91,05	1,91	1,37	1,3	4,37	4,05	7934	86,4	1,80	1,30	1,28	4,12	5,1	10,5	4,0	7420	7420	96,5	2,0	1,5	8290	ок. 1280°
28. XI Г ²	Прушевск. П. пд. Русск. О-во Парох. и Торг. Ст. Шахтин. до-ставка люди 1913 г. 3—5".		(47 ч.—41°)	2,8 3,24	91,45	1,43	1,06	1,37	4,69	3,23	7806	85,90	1,35	1,0	1,30	4,45	6,0	11,75	3,1	7225	7260	97,3	1,5	1,2	8190	
13. XII Г ¹	Орьшино-вѣй взять вилой.		(72 ч.—51°)	2,7 3,4	—	—	—	1,56	6,08	—	7692	—	—	—	1,45	5,7	6,0	13,15	—	7120	—	—	—	—	8200	
Клейкого антрацита было по 1000 нут.			W ₁	W ₂	C'	H'	N+O	S'	A'	Q ₁	C	H	O+N(5) O+N	S	A	W'	B		Q _{рас.} по общобв.	Q _{рас.} по форм. М.	C''	H''	O+N+O	Q _{p.}		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	

Наблюденные величины: Ноябрь—декабрь 1913 г. Холодная
рышетка Прометей^α. Средняя высота
топического пространства=1 525 м/т.

Ноябрь—декабрь 1913 г. Холодная рыб.

Средняя высота топочного пространства = 1525 м/т.

[illegible]

13	Всего сожжено за смену kg	2042	2749	2978	1833	2306	3018	3208	2150	3535	1950	2245	4802
14	Всего сожжено за смену (без чистки) на 1 м ² . . . kg	1460	1960	3420	1310	1650	2155	3700	1530	4060	1400	1600	5520
15	Число загрузокъ въ 1 часъ	12,4 загр.	14,2	13,1	12,7	14,1	14,6	16,0	12	18	12,0	13	22
	Взвѣс загрузки и kg	15 кг.	18,9	22,4	10,7	14,8	20	19,9	—	22	15,2	15,8	22,5
	Средняя продолжительность ея (за опытъ) . . . sec.	8,6 sec	12,6	12,2	10	11,2	12	13	13,5	12	13,4	12	12,4
16	Всего за смену { — сверху (вытребъ) шлака, золы вынуто изъ топки — снизу (прывалъ) } и угля . . . kg	49 29,5	57 38,0	107 21	59 25	72 30	96 33	121 26 кг. ср. оп. 33	36,5 24,0	118 32	51 24	80 22	170 24
17	Общее количество вытребъ и прывала въ kg	78,5	95	128	84	102	129	154	60,5	150	75	102	194
	въ ‰ сожж. топлива.	3,80‰	3,40‰	4,20‰	4,6	4,60‰	4,3	4,8	2,80‰	3,9	3,8	4,4	4,0
18	Количество угля въ вытребъ и прывалъ въ kg	2+15=17 =21,5	2,5+19= =21,5	3,5+10,5= =14	2,0+13= =15	4+15=19,3+17= =20,5	3,5+17= =20,5	1,5+12= =13,5	5+16= =21	3+12= =15	4+12= =16	6+12= =18	
	въ ‰ сожж. топлива.	0,80‰	0,8	0,5	0,8	0,75	0,65	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,4
19	Испарено воды до опыта и послѣ опыта kg	4110	3895	4645	3685	3975	5705	4370	4360	4865	3480	3160	4420
20	Испарено воды за опытъ kg	9445	13350	14445	8550	10175	13110	15590	10730	15475	10335	11760	23070
21	Испарено воды всего за смену kg	13555	17245	18790	12235	14150	18815	19960	15090	20340	13815	14920	27490
22	Средняя температура питательной воды . . . °C	44,5°C	37,5	32,0	50	42	36	39	42	43	37	39	30
	" " перегрѣва tnc	396	398	387	369	370	378	374	388	392	401	386	389
	Среднее давленіе пара at	12,1	12,2	12,2	12,0	12,1	12,0	12,2	12,1	12,2	12,3	12,2	12,5
23	Средняя температура топочн. пространства Tm	1240 1100-1330	1300	—	1160	1260	1320	—	1180	—	1260	1290	—
	" " передъ переувлажняемъ Tm/2	695	772	—	590	670	770	750	705	775	692	670	805
	" " за переувлажняемъ . . . Tm/2	466	502	—	395	445	520	500	470	540	430	450	535
	" " за котломъ Tk	353	402	430	275	360	423	435	340	430	325	320	450
24	CO ₂ и CO ₂ + O за котломъ	13,3 20,0	13,4 20,0	12,9 19,8	12,9 20,05	13,0 20,0	14,1 20,0	14,5 19,9	14,3 20,0	12,4 20,1	13,9 20,05	14,4 20,2	14,0 20,0
25	Среднее дав. подъ рѣшеткой Sg въ m вод. ст.	19,6	25,8	83,1	38,1	40,5	48,3	97	14,6	121	18,5	13,6	91,5
	Число проворовъ шлага	4 провр.	5	9	1	2	3	10	2	6	1	0	0
26	Пределы Sg	12,5—22,0	16,0—43	62—103	6—75	16—65	29—68	73—117	7—23	75—156	7—32,2	7—21	72—120
	Среднее разнрженіе въ топочн. простр. Sm m в. в. с.	1,9	2,0	2,2	3,0	3,0	3,0	2,5	2,0	3,2	1,9	2,0	1,7
27	Среднее сопротивл. газовъ котла и перег.-на ∆Sh	8,3	14,6	18,7	4,5	9,2	14,5	17,0	8,5	27,8	8,8	8,7	31,9
За періодъ опыта съ установившимся состояніемъ.													

№ и время проведения испытанія.		B ²	B ³	B ⁴	B ¹	B ²	B ³	B ⁴	X ²	Д ¹	У ²	Г ²	Г ¹
28	Средняя температура воздуха около котла (по 8 точ.) °C	29,5	30,2	33,0	26	27	28	33	29	30,3	30	31	32
29	Средняя температура воздуха при входе в топку (в вентилляторъ) °C	25	24	23	26	23	21	20	21	23	20	26	20
30	Максимальный нагревъ воды $\Delta \theta_{max}$ °C.	114	90	38	142	115	87	41,5	98	36	107	70	21
	Максимальн. часовое теплопоглощеніе cal.	148300	160000	72000									
31	Через сколько врем. отъ начала раст. час.	1,0 час.	0,9	0,5	0,8	0,7	0,8	0,3	1,0	—	0,7	0,9	0,5
32	Нагревъ воды черезъ 3 час. послѣ раст. °C	50,2	46,0	12,0	59,0	59,0	34,0	10,2	74,0	4,5	48,5	10,3	5,0
	Средній нагревъ воды за опитъ °C	30,0	25	8,0	31	21	18,5	7,6	44	1,5	23,3	5,6	1,5
	При предположеніи равномернаго пропуска всей питательной воды котла черезъ рѣшетку.	45	31	13	46,5	38	25,5	11,9	50	4,5	33,5	15	2,0
33	Расходъ энергіи на электромоторъ вентиллятора. . . kw	1,6	2,4	3,8	1,25	2,05	3,00	4,0	1,65	5,4	1,6	1,55	5,3

II. Анализъ результатовъ изслѣдованій.

34	Средній часовой расходъ питательной воды (пара) и загрузка топлива на 1 kg. пара. . . λ	1270 735	1610 743	1760 743	975 715	1340 723	1735 734	1890 729	1430 735	1960 735	1335 744	1435 736	2570 746
35	Средній часовой расходъ нормализованого ($\lambda = 637$) пара. $D_{н. \dots}$ kg	$\frac{1270}{637} = 197,0$ 1170	1880	2050	1105	1530	2000	2160	1660	2260	1560	1660	3020
36	Средній часовой расходъ топлива B kg	192	256	278	147	219	292	304	205	340	188	216	455
37	Среднее напрям. поверхн. напр. ($\lambda = 637$) $\frac{D_{н.}}{H_{н.}}$ $\frac{kg}{m^2}$	24,5	31,3	34,2	18,4	25,5	33,3	36,0	27,7	37,7	26,0	27,7	50,3
38	„ „ рѣшетки топки . . . $\frac{B}{K}$ $\frac{kg}{m^2}$	138	184	200	105	156	208	350	147,5	390	135	154	525
39	Испарит. толшина по норм. пару ($\lambda = 637$) $\frac{D_{н.}}{B}$ „ (считая теплопоглощеніе рѣшетки) $\frac{D_{н.}}{B}$	7,65 8,1	7,4 7,7	7,4 7,52	7,5 8,0	6,95 7,32	6,85 7,1	7,1 7,2	8,05 8,6	6,65 6,72	8,3 8,65	7,7 7,85	6,65 6,85

За всю смѣну, начиная съ разжиганія огня въ топкѣ и кончая закрытв. парораспред. вентилля.

За опытъ съ установившимся состояніемъ.

Б а л а н с ъ т е п л а.

Показатель $\lambda = 637$ за вычетом расхода пара на дутье и считая теплотопотери при расходе пара на дутье).

Грушевскаго и Власовскаго около 90—100 м/м. Значительно болѣе тонкій слой (требующійся для достаточнаго обуглероживанія кислорода воздуха) первыхъ антрацитовъ, однако, помимо болѣе горючести ихъ органической массы, объясняется еще тѣмъ, что эти антрациты *очень сильно растрескиваются въ огонь*, распадаясь на мелкіе куски съ большой поверхностью окисленія. *Растрескиваніе идетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше температура слоя, т.-е. чѣмъ выше, напримѣръ, напряженіе.* Должанскій, Власовскій и Грушевскій при обычныхъ напряженіяхъ (до 200 kg/m²) почти совершенно не растрескиваются.

Соотвѣтственно отчасти невысокому содержанію Н во всѣхъ антрацитахъ выходъ летучихъ горючихъ веществъ оказался также не высокимъ (2,4 до 4%); всѣ антрациты давали лишь очень короткое прозрачное пламя.

2) Соотвѣтственно малой разницѣ въ элементарномъ составѣ и *теплопроизводительность органической части* (пересчитанная по калориметрическому опредѣленію) весьма мало разнится для всѣхъ 6-ти антрацитовъ: низшая $Q_{org} = 8180$ до 8290, въ среднемъ около 8250 Cal.

3) *Количество баласта* въ изслѣдованныхъ антрацитахъ оказалось *очень невысокимъ*, соотвѣтственно условіямъ полученія топлива для опытовъ: изъ разбитой плиты отсѣивалась главная мелочь, т.-е. *золосодержаніе кулачнаго антрацита, загружаемаго въ топку могло быть даже ниже золосодержанія самой плиты.* Для плитныхъ антрацитовъ получились цифры, собранныя въ первыхъ 4 строкахъ таблицы:

АНТРАЦИТЪ.	S.	A.	W.	Всего баласта. Б. + С. + А. + W.	Теплопроизводительность (низшая).	
					Орган. части.	Рабоч. топл.
Боковскій	1,75	3,8	5,75	11, 3	8280	7360
Хрустальскій.	1,45	2,7	5,05	9, 2	8220	7470
Чистяковскій.	1,28	4,12	5,01	10, 5	8290	7420
Должанскій.	2,55	3,95	6,45	12,95	8180	7150
Власовскій.	2,20	5,50	5,85	13,55	8225	7130
Грушевскій орѣшн. взятый вилой	1, 4	5,1	6, 0	12, 5	8200	7170

Минимальное количество баласта далъ славящійся своей чистотой Хрустальскій антрацитъ (Б=9,2%). (Битый изъ плиты Хруст. антрацитъ 19.VII далъ Б=8,8%). Едва ли вообще можно рассчитывать на получение болѣе чистыхъ антрацитовъ¹⁾. Этотъ антрацитъ имѣетъ рабочую теплопроизводительность $Q = 7470 \text{ Cal}$, (а высшую 7580 Cal²⁾). Цифра могла бы быть еще нѣсколько выше: при болѣе высокомъ Н она могла бы дойти до 7850 Cal. Исключительно малозольные также Чистяковскій (А=4,12%)

¹⁾ На рынокъ, однако, такой матеріалъ попадаетъ только какъ исключеніе.

²⁾ Высшая теплопроизводительность воздушно сухой пробы этого антрацита (W=2%) была бы около 7800 Cal.

и Боковскій (А=3,8%) антрациты имѣютъ теплопроизводительности 7420 и 7360 Cal, а Должанскій (А=3,95%) лишь 7150 Cal; послѣдняя цифра объясняется малой теплопроизводительностью органической массы этого антрацита ($Q_{org} = 8180 \text{ Cal}$), благодаря низкому содержанію Н (1,3%), а также сравнительно высокой влажностью W = 6,45% (пронизывающей всю массу, несмотря на громадные глыбы)¹⁾ и болѣе высокимъ содержаніемъ сѣры (S=2,55%).

Плитный антрацитъ поступалъ для опытовъ непосредственно изъ вагоновъ въ крытый, но холодный складъ и такимъ образомъ дальнѣйшему увлажненію, а также и высушиванію, не подвергался.

Едва ли практически вообще можно рассчитывать на полученіе въ котельную антрацита суше 6—5%²⁾.

4) *По температурѣ, при которой начинается разлаганіе шлаковъ*³⁾ изслѣдованные антрациты можно расположить въ такой рядъ:

Боковскій (ок. 1000° C), Хрустальскій (около 1000°), Власовскій (1050—1100), Грушевскій (1280°).

Плавленіе шлаковъ начинается при температурѣ на 20—40° выше. Опредѣленія сдѣланы въ электрической печи безъ доступа воздуха (въ атмосферѣ нейтральнаго газа).

5) Весьма хорошую оцѣнку точности калориметрированія⁴⁾ даетъ сравненіе для одного и того же антрацита теплопроизводительностей органической части, пересчитанныхъ по опредѣленной въ калориметрѣ теплопроизводительности и по баласту. При этомъ надо имѣть въ виду, что содержаніе влаги опредѣляется вообще достаточно точно при предварительной усушкѣ большой пробы, содержаніе же золы при малозольномъ и однородномъ топливѣ также получается весьма точно.

Для Боковского антрацита, напримѣръ, мы имѣемъ для 3 пробъ $Q_{org} = 8275, 8270, 8290$, для 4 пробъ Власовскаго (одного и того же вагона) — $Q^p = 8230, 8205, 8220, 8240$.

Теплопроизводительности, подсчитанныя по элементарному составу на основаніи формулы Д. И. Менделѣева, почти совершенно совпадаютъ съ величинами, полученными по бомбѣ (см. таблицу I). Это можно было и ожидать для топливъ типа нашихъ антрацитовъ, съ очень невысокимъ содержаніемъ водорода, органическая часть которыхъ на 97% состоитъ изъ углерода.

Для оцѣнки условій сжиганія разсматриваемыхъ антрацитовъ въ топкѣ съ холодной рѣшеткой прежде всего необходимо изучить

¹⁾ Этотъ антрацитъ лежалъ на шахтѣ.

²⁾ За исключеніемъ, можетъ быть, лѣтнаго жаркаго и сухого времени.

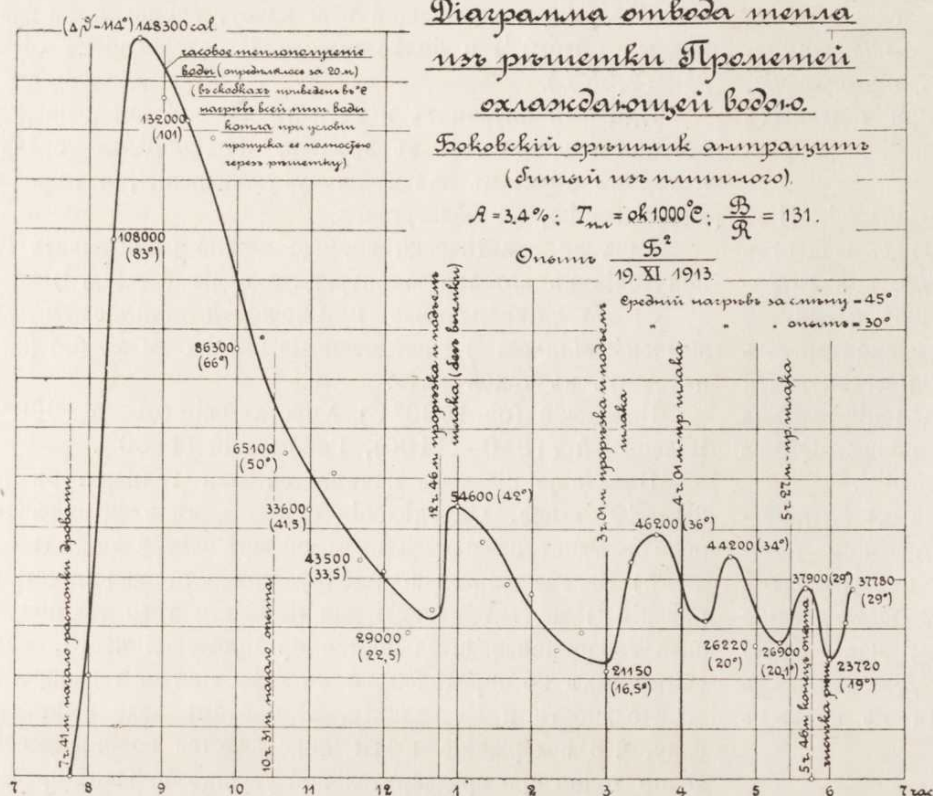
Весьма интересно съ этими цифрами сопоставить „Техническія условія на поставку антрацита на каз. жел. дор.“ съ требованіемъ влаги не болѣе 3%, высшей теплопроизводительности воздушно сухой пробы между 7600—7900 и пр. При этомъ надо еще имѣть въ виду, что антрациты съ высокой теплопроизводительностью органической массы (высокое Н) мало пригодны для сжиганія въ паровозной топкѣ, такъ какъ они сильно растрескиваются и по этому будутъ давать большую потерю отъ уноса.

³⁾ См. подстрочное замѣчаніе на первой страницѣ.

⁴⁾ Всѣ изслѣдованія пробъ антрацита выполнены въ Лабораторіи Органической Технологиі Н. Г. Пацуковымъ.

работу слоя топлива,

весьма полную характеристику которой мы находимъ въ *диаграммахъ отвода тепла* изъ рѣшетки водою (фиг. 3 и 4) и *диаграммахъ сопротивлений* (фиг. 5—13).



Фиг. 3.

Диаграмма охвата тепла из промышленности

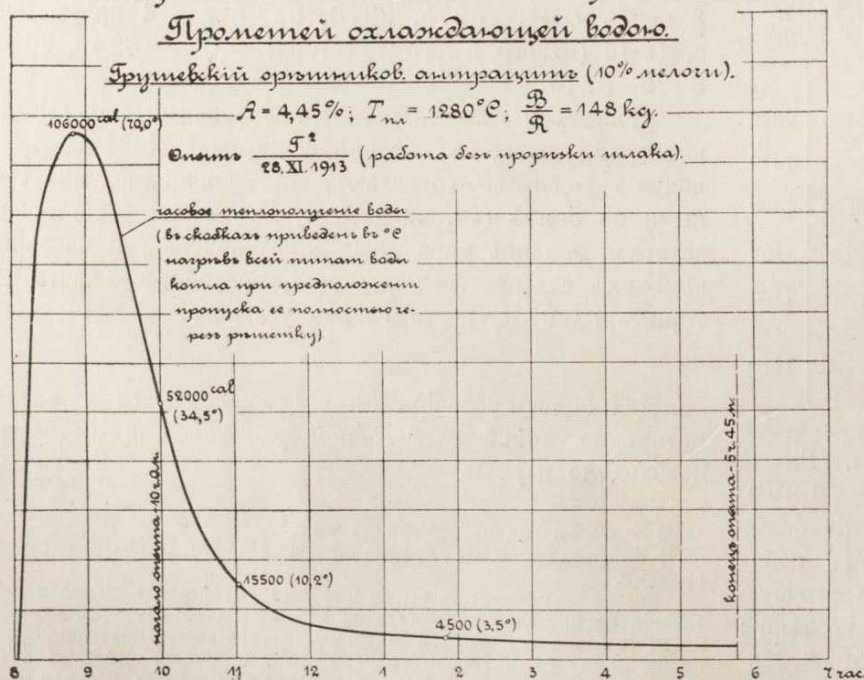
Прометей охлаждающей водою.

Брунфельский орнитиков. антрацит (10% мелочи).

$$A = 4.45\%; T_{m} = 1280^{\circ}\text{C}; \frac{B}{A} = 148 \text{ kg.}$$

Основа $\frac{5^2}{28 \text{ VI } 1913}$ (работа деси пропретски млада).

исовое мембранушение воды
(в скважинах приведены в $^{\circ}\text{C}$
нагретых всей минеральной
водой при предположении
протекания ее полностью ге-
рметически)



Фиг. 4.

Диаграммы отвода тепла составлялись для всех опытов, но здесь мы приводим лишь две наиболее типичные

(дальше имѣются еще діаграммы отвода тепла на фиг. 13). Діаграмма даетъ въ одномъ масштабѣ количество тепла, отведеннаго изъ рѣшетки, т.-е. изъ нижнихъ слоевъ топлива, водою, а въ другомъ—*то повышеніе температуры воды, которое получилось бы, если бы всю питатель-*

ную воду котла равномерно проводить через решетку¹). Мы видим, что диаграмма имѣетъ тотъ же характеръ, что и диаграммы температуры рѣшетки при горячей рѣсеткѣ (пунктирная линия на фиг. 6 а также фиг. 14—17 XIII вып. Изв. Мех. Инст.). Рѣсетка вначалѣ получаетъ очень много тепла, но по мѣрѣ образованія между рѣсеткой и накалившимся горящимъ слоемъ топлива *изолирующаго шлакового слоя* теплополученіе рѣзко падаетъ. При сжиганіи очень чистаго ($A = 3,4\%$) Бокковского антрацита, дающаго легкоплавкій и потому плотный, плохо изолирующій шлакъ (небольшой толщины), въ количествѣ 131 клг./мтр.²—1 часъ, нагрѣвъ всей воды котла рѣшеткой черезъ 50—60 мин. послѣ растопки доходитъ до $114^{\circ} C$, т.-е. такъ какъ парообразование въ рѣсеткѣ недопустимо, приходится черезъ рѣшетку пропускать значительно больше воды. Однако, послѣ 4—5 часовъ работы рѣсетка нагрѣваетъ воду только уже на $28,5^{\circ} C$ (фиг. 3). Какъ видно изъ стр. 30 цифровой таблицы III (полная таблица результатовъ), тотъ же антрацитъ при

напряженіи рѣшетки $\frac{B}{R} = 192$ клг. и 337 клг.

дает максимальные нагрѣвы въ 90° (черезъ 0,9 час.) и 38° (черезъ 0,5 час.), т.-е. съ увеличеніемъ количества проводимаго черезъ рѣшетку охлаждающаго воздуха и одновременнаго увеличенія избытка воздуха въ нижнихъ слояхъ, нагрѣвъ рѣшетки рѣзко падаетъ, а въ виду болѣе *быстраго* накопленія изолирующаго *шлака* максимумъ наступаетъ *быстрѣе*.

При антрацитѣ съ тугоплавкой золой, наприм., Грушевскомъ II пласта (фиг. 4), благодаря *болѣе пористому*, т.-е. болѣе теплоизолирующему шлаку, при $\frac{B}{R} = 148$ клг. и $A = 4,45$ (т.-е. тоже очень малозольномъ топливѣ) максимальный нагрѣвъ доходить лишь до 70° (черезъ 0,9 часа), а при напряженіи въ 561 клг. всего лишь до 21° (черезъ 0,5 часа).

Паденіе теплополученія при этомъ антрацитѣ идетъ быстрѣе и $\Delta\theta = 22,5^\circ$ дости-

1) На самомъ дѣлѣ *жили* количество воды въ рѣшетку и повы-
шеніе температуры не превышало 50°C. (Высшая температура дер-
жалась около 60° и не выше 70).

гается уже через 2,3 часа, а через 5 часов вода нагревается всего на 3—4 ° C (см. стр. 31).

При очень малом напряжении рѣшетки и легкоплавкой золѣ нагревъ можетъ быть еще выше. Такъ, при сжиганіи Власовскаго антрацита съ $A=5,8\%$ (т.-е. значительно болѣе многозольномъ, чѣмъ только что разсмотрѣнные типы) съ $\frac{B}{R}=96$ клг. нагревъ воды дошелъ бы до 142° (стр. 30, B^1), въ то время, какъ для того же антрацита при $\frac{B}{R}=146$ клг. — максимальный нагревъ былъ бы 115°, при 210 клг.—87°, при 364 клг.—41,5° (стр. 30, B^2 , B^3 , B^4). При большой засоренности антрацита максимумъ наступаетъ раньше и онъ самъ по себѣ значительно меньше.

Если произвести переломъ шлака (прорѣзку), при чемъ слой перемѣшивается и часть накалиннаго топлива попадаетъ непосредственно на рѣшетку, то нагревъ воды опять, хотя и не надолго (пока не выгоритъ топливо, попавшее на рѣшетку, и не покроется вся рѣшетка шлакомъ), поднимается. Это рѣзко видно на діаграммѣ фиг. 3. Здѣсь 4 раза прорѣзывался шлакъ. Поднимается также нагревъ послѣ удаленія съ рѣшетки всего топлива и всего шлака—за счетъ дѣйствія горячей обмуровки. При достаточно толстомъ защитномъ слое шлака можно свободно оставлять въ топкѣ накаленное топливо и безъ пропуска черезъ рѣшетку воздуха: вода нагреваться почти не будетъ.

Такимъ образомъ, на количество отданнаго слоемъ рѣшетки тепла вліяетъ: качество и количество золы, напряженіе рѣшетки и условія ея чистки ¹⁾.

Эти же факторы вліяютъ на средній за всю работу нагревъ воды рѣшеткой, т.-е. на степень участія рѣшетки въ полезномъ теплопоглощеніи установки. Такъ какъ періодъ собственно опыта не включаетъ первыхъ часовъ, соответствующихъ интенсивному нагреву, то, понятно, средній нагревъ за опытъ будетъ меньше средняго нагрева за всю смѣну работы топки. Всѣ относящіеся сюда цифры собраны въ стр. 32 полной таблицы результатовъ, а также сопоставлены въ слѣдующей сводкѣ:

качество и количество сжигавшейся золы, напряжение решетки и условия ее чистки ¹⁾).

Эти же факторы влияют на средний за всю работу нагревъ воды решеткой, т.е. на степень участія решетки въ полезномъ теплоспожребленіи установки. Такъ какъ періодъ собственно опыта не включаетъ первыхъ часовъ, соответствующихъ интенсивному нагреву, то, понятно, средний нагревъ за опытъ будетъ меньше средняго нагрева за всю смѣну работы топки. Всѣ относящіяся сюда цифры собраны въ стр. 32 полной таблицы результатовъ, а также сопоставлены въ слѣдующей сводкѣ:

		Боковскій		Власовскій				Груш. II пл.		
		Легкоплавкая зола.						тугоп. зола.		
Количество золы $A\%$		3,6	3,8	4,0	5,8	4,9	5,6	5,7	4,45	5,70
Напряжение решетки $\frac{B}{R}$		131	192	337	96	146	210	364	148	561
Средній нагревъ Δt воды $^{\circ}C$	за смѣну	45	31	13	46,5	38	25,5	11,9	15,0	2,0
	за опытъ	30	25	8	31	21	18,5	7,6	5,6	1,5
Изъ всего те- пла топлива поглощено (полезно), водо- грейными решетками $\%$	за смѣну	4,05	2,65	1,3	4,4	3,2	2,15	1,1	1,4	0,2
	за опытъ	2,8	2,3	1,1	3,3	2,0	1,9	0,7	0,7	0,15

¹⁾ О вліяніи избытка воздуха мы здѣсь не говоримъ, такъ какъ всѣ опыты проведены при приблизительно одинаковыхъ и невысокихъ избыткахъ воздуха.

Такимъ образомъ при нормальныхъ для антрацитовъ (кроме сѣмьчакъ) напряженияхъ рѣшетки (130—150 клг./мтр.²—1 часъ) за смѣну рѣшетка поглощаетъ при очень легкоплавкой золѣ до 4% тепла топлива, при тугоплавкой всего около 1,5%. При увеличеніи примѣси золы эти цифры падаютъ и наоборотъ. Увеличеніе напряженія рѣшетки уменьшаетъ ея полезное теплопоглощеніе и, напримѣръ, при высокихъ напряженияхъ и тугоплавкой золѣ (даже въ небольшомъ количествѣ) оно практически дѣлается равнымъ нулю.

Поглощеніе тепла изъ топки рѣшеткой понижаетъ температуру горѣнія слоя и этимъ понижаетъ теплопоглощеніе котельной поверхностью нагрева, т.-е. увеличиваетъ нѣсколько температуру, а, значитъ, и потерю отходящими газами. Поэтому добавочное полезное теплопоглощеніе холодной рѣшетки нельзя считать полностью за увеличеніе суммарнаго теплопоглощенія установки по сравненію съ работой котла съ горячей рѣшеткой.

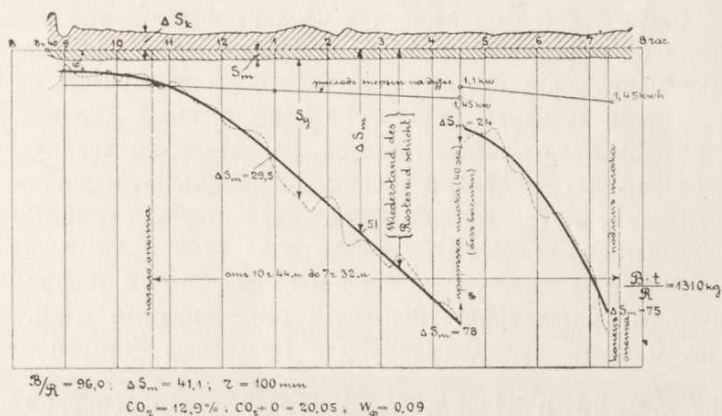
Однако, отводъ тепла изъ слоя въ теченіе первыхъ часовъ работы рѣшетки весьма значительный и для среднихъ напряженій при легкоплавкой золѣ и небольшомъ ея содержаніи доходитъ до 11—13% всего тепла топлива. Такъ какъ эта теплота отводится не изъ всего топлива, лежащаго на рѣшеткѣ, а главнымъ образомъ изъ нижнихъ его слоевъ, то въ теченіе **начальнаго періода работы** рѣшетки ея охлаждающее дѣйствіе на слой и на шлакъ должно быть также весьма значительно. Это мы увидимъ также изъ разсмотрѣнія діаграммъ сопротивленія слоя.

Фиг. 5 даетъ эту діаграмму для Власовскаго антрацита при $\frac{B}{R}=96$ и $A=5,8\%$. Благодаря очень сильному отводу тепла изъ слоя въ теченіе первыхъ 2—2½ часовъ сухой воздухъ, идущій снизу вверхъ, успѣваетъ настолько охладить шлакъ, что онъ садится уже на рѣшетку остывшей пленкой, сравнительно легко пропускающей воздухъ: сопротивленіе слоя не растетъ и шлакъ не пристаетъ къ колосникамъ. Но послѣ полученія изолирующаго шлаковаго слоя условія для топлива, лежащаго надъ этимъ шлакомъ, мѣняются. Отводъ тепла рѣзко падаетъ и новый шлакъ подходитъ уже болѣе или менѣе жидкимъ и садится на нижній, сравнительно пористый слой стараго шлака, залѣпляя его верхнюю поверхность. Чѣмъ толще дѣлается шлакъ, тѣмъ плотнѣе дѣлаются его верхніе слои. Этимъ объясняется дальнѣйшій рѣзкій подъемъ кривой сопротивленія. Постепенно въ топкѣ образуется сравнительно однородная по всему протяженію ¹⁾, по толщинѣ, а отчасти и по строенію, шлаковая пленка, которая по мѣрѣ своего утолщенія все болѣе и болѣе затрудняетъ проходъ воздуха. Черезъ 8,5 час. работы все сопротивленіе увеличилось уже съ 6 м./м. до 78 м./м. в.ст., а затрата на дутье съ 1,0 kw до 1,45 kw. Но такъ какъ весь шлаковый пластъ совершенно не пристаетъ къ рѣшеткѣ, то кочегаръ легкимъ ломомъ изъ 1" газовой трубы проходитъ между шлакомъ и рѣшеткой, по 4—5 мѣстамъ проламываетъ шлаковый пластъ и разбиваетъ его на части.

¹⁾ Благодаря весьма однороднымъ условіямъ охлажденія слоя проходящимъ воздухомъ и водой рѣшетки. При горячей рѣшеткѣ шлакообразование шло вообще значительно болѣе неравномерно.

Эта операция требует не больше 30—40 секунд и лишь незначительного физического усилия (при нормальных напряжениях рѣшеток стационарных котлов). После этого сопротивление рѣзко падает (до 24 м./м.); соответственно падает и затрата энергии на дутье. Но по мѣрѣ того какъ на старые шлаковые куски осаждается новый жидкій шлакъ, заплывающий старые куски въ одно цѣлое, сопротивление начинаетъ потомъ опять расти и черезъ 3—4 часа послѣ пролома оно доходитъ (въ данномъ случаѣ—см. фиг. 5) опять до бывшаго максимума. Но, очевидно, болѣе раннимъ проломомъ можно это предупредить. Напримѣръ, въ фиг. 7 дана диаграмма для случая сжиганія Боковского антрацита, при $\frac{B}{R} = 131 \text{ kg}$, при чемъ максимальное сопротивление слоя было 31 м./м.,

Диаграмма работы рѣшетки.



Власовскій сортъ антрацита (сортъ 4 безъ мелочи)

$A = 5.8\%$; $T_{\text{пл}} = 1050^\circ \text{C}$. Рѣшетка холодная (Пронетей).

Опытъ 14. XI 1913. Дутье — сухое (вент).

Фиг. 5.

такъ какъ шлакъ проламывался въ 10 часовъ—4 раза. Такъ какъ проломы при нормальныхъ напряженияхъ дѣлаются легко и быстро, то при антрацитахъ съ легкоплавкой золой слѣдуетъ работать съ сравнительно частымъ (черезъ 2—3 часа) проламываніемъ шлака. Въ опытѣ фиг. 5 это не дѣлалось только потому, что было желательно выяснитъ характеръ измѣненія сопротивления. Число проломовъ можно, такимъ образомъ, мѣнять среднее за всю смену (или опытъ) сопротивление слоя и поэтому цифры стр. 45 не всѣ сравнимы между собою, такъ какъ число прорѣзовъ (на одно и то же количество сожженного топлива, или вѣриѣ полученнаго шлака) разное.

Сравнивая, напримѣръ, опытъ съ Боковскимъ антрацитомъ B^3 при $\frac{B}{R} = 192 \text{ kg/mt}^2$ и Власовскимъ B^3 съ $\frac{B}{R} = 210$ мы видимъ, что среднее за опытъ сопротивление было въ первомъ случаѣ 27,8 м./м., во второмъ—51,3 м./м. Такая большая разница при приблизительно одинаковыхъ B/R , однако, не объясняется разнымъ количествомъ или качествомъ шлака, а лишь разнымъ числомъ

прорѣзовъ: при Боковскомъ антрацитѣ 1 прорѣзъ приходится на 392 клгр. сожженного на 1 мтр.² топлива, а при Власовскомъ—на 718 клгр., а такъ какъ первый антрацитъ имѣлъ 3,8%, а второй 5,6% золы, то на 1 прорѣзъ приходилось при Боковскомъ антрацитѣ 14,9 клгр. золы на 1 мтр.², при Власовскомъ—40,2 клгр. При разсмотрѣніи такимъ образомъ вопроса мы приходимъ къ обратному выводу, т.-е., что зола Боковского антрацита представляетъ большія затрудненія для рѣшетки, чѣмъ зола Власовскаго, что и соответствуетъ дѣйствительности.

Для сравненія напомнимъ здѣсь диаграмму сопротивления Боковского слоя при горячей рѣшѣткѣ—фиг. 6 (см. также фиг. 25, 26, 29 XIII вып.). Здѣсь съ самаго начала кривая сопротивления круто поднимается и послѣ сожженія всего 850 клгр. антрацита на 1 мтр.² сопротивление уже доходитъ до 145 м./м. в. ст. Въ то время какъ при холодной рѣшѣткѣ переломъ шлакового пласта не представляетъ никакихъ трудностей, отделить отъ горячей рѣшетки шлакъ или переломать его въ работѣ совершенно невозможно при легкоплавкой золѣ и даже при пустой рѣшѣткѣ приходится прибѣгать для этого къ помощи молотка и зубилъ.

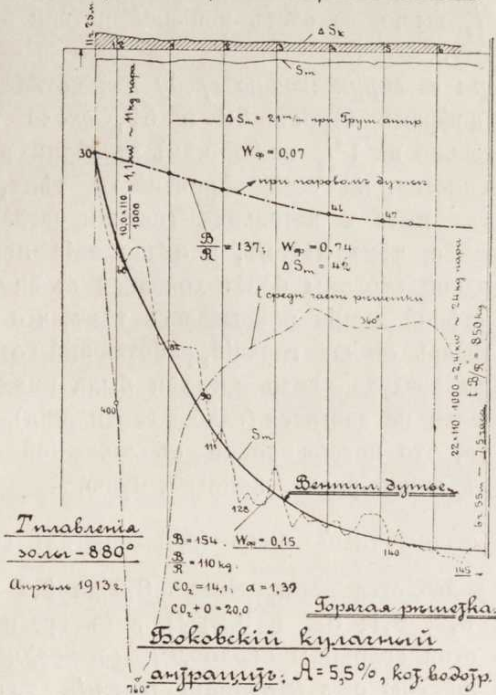
Весьма характерна разница между *внѣшнимъ видомъ* шлака. При холодной рѣшѣткѣ нижняя направленная къ ней поверхность шлака представляется составленной изъ отдѣльных шлаковыхъ капель, боками отчасти слившихся между собою, при чемъ нижнія части этихъ капель чаще всего остыли, сохраняя свою круглую форму, и лишь часть изъ нихъ какъ бы сплюснута при соприкосновеніи жидкой еще капли съ холодной рѣшѣткой. Эти сплюснутыя снизу капли какъ-будто служили опорой для всего шлакового пласта. Такая форма шлака сохранялась при всѣхъ легкоплавкихъ золахъ, даже при предѣльныхъ напряженияхъ. Направленная кверху сторона шлака представляетъ при Боковскомъ, Власовскомъ, Хрустальскомъ антрацитѣ почти совершенно слившуюся массу, не проникаемую для воздуха; этимъ, понятно, и объясняется ростъ сопротивления.

Шлакъ тѣхъ же антрацитовъ, снятый съ горячей рѣшетки (тоже при работѣ сухимъ дутьемъ) имѣетъ почти такую же верхнюю поверхность, но совершенно другую нижнюю: послѣдняя плотно облегаетъ всѣ неровности, углубленія и проч. рѣшетки, часто даже затекая въ ея воздушныя отверстія или щели. На поверхности шлака можно видѣть оттиски всѣхъ неровностей рѣшетки. Въ то время какъ при холодной рѣшѣткѣ даже приплюснутыя капли, т.-е. дошедшія до контакта съ рѣшѣткой, какъ-будто не пристають къ ней, по всей вѣроятности, по причинѣ большой разницы температуры, къ горячей рѣшѣткѣ легкоплавкій шлакъ пристаётъ всей своей поверхностью настолько прочно, что даже частичная очистка отъ шлака рѣшетки въ работѣ невозможна и даже очистка въ холодномъ состояніи крайне затруднительна и связана съ постепеннымъ разрушеніемъ рѣшетки.

Такимъ образомъ мы приходимъ къ выводу, что на холодной рѣшѣткѣ и антрациты съ легкоплавкой зо-

лой сжимаются при помощи сухого (вентиляторного) дутья весьма легко и выгодно, как в смысле затраты на дутье, так и удобства чистки и возможности работать 10 и более часов без выемки шлака.

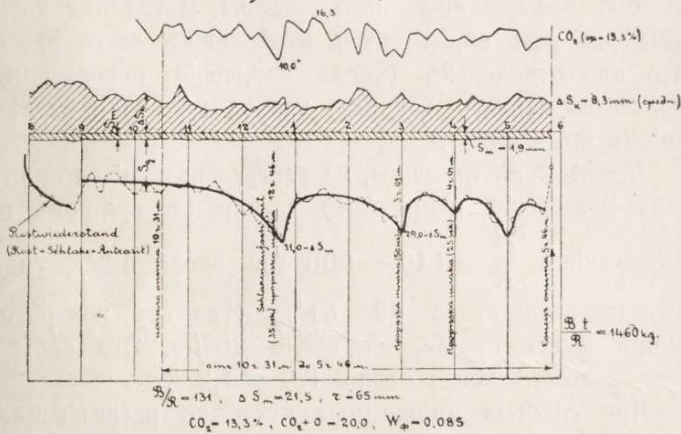
Диаграмма работы рѣшетки.



Фиг. 6

Фиг. 8 дает картину сопротивленія слоя въ случаѣ сжиганія на холодной рѣшѣ антрацита Грушевскаго II пласта съ туоплавкой золой.

Диаграмма работы рѣшетки.

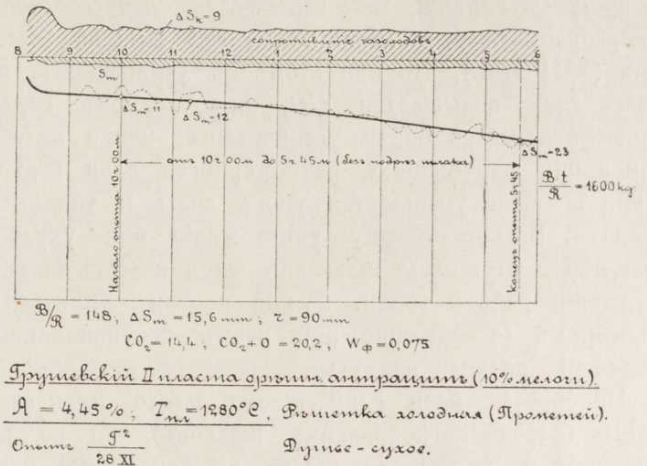


Фиг. 7.

И здѣсь сопротивленіе растеть, но лишь медленно и при среднемъ напряженіи $\frac{B}{R} = 148$ клг./мтр.² слой представлялъ лишь сопротивленіе въ 23 м/м. в. ст., при чемъ ни одного прорѣза не было сдѣлано. Антра-

цитъ имѣлъ 4,45% золы и работа шла съ $CO_2 = 14,4\%$ за котломъ. По всѣмъ даннымъ, можно было работать еще не менѣе 8—10 часовъ, не выходя изъ предѣловъ расхода энергіи на дутье около 1%. Сравнивая работу холодной рѣшетки при этомъ антрацитѣ съ работой горячей рѣшетки (тоже при сухомъ дутьѣ, вып. XIII), мы собственно разницы въ условіяхъ роста сопротивленія и степени трудности чистки не находимъ:

Диаграмма работы рѣшетки.

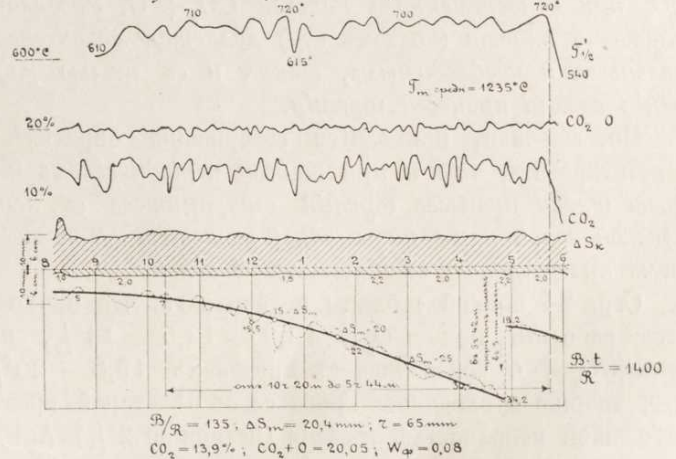


Фиг. 8.

холодная рѣшетка является лишней для антрацитовъ съ туоплавкой золой.

Этотъ выводъ былъ уже сдѣланъ и въ XIII вып. Изв. Мех. Инст. на основаніи опытовъ марта-августа мѣс. 1913 г.

Диаграмма работы рѣшетки.



Фиг. 9.

Антрацитъ съ нѣскольکو болѣе легкоплавкой золой—Чистяковскій—фиг. 9 даетъ нѣсколько болѣе крутую линію измѣненія сопротивленія, но и здѣсь можно было бы 10-ти часовую работу легко провести безъ прорѣзки. Она, однако, была сдѣлана, и разъ прорѣзка произ-

водится такъ легко, какъ при холодной рѣшеткѣ, ея и не слѣдуетъ избѣгать, а при разсматриваемомъ антрацитѣ было бы даже правильнѣе произвести ее уже раньше.

Лишь при очень тугоплавкихъ шлакахъ преждевременная прорѣзка можетъ ухудшить нѣсколько процессъ горѣнія. Это объясняется слѣдующимъ образомъ:

Какъ это было подробно разобрано при анализѣ сжиганія антрацита на горячей рѣшеткѣ, равномерный и пористый шлаковый слой имѣетъ громадное вліяніе на процессъ горѣнія, такъ какъ является превосходнымъ распределителемъ и подогревателемъ воздуха. Мы видимъ (XIII вып.), что при этомъ съ утолщеніемъ шлакового слоя повышается CO_2 при полномъ горѣніи, процессъ дѣлается болѣе устойчивымъ, менѣе колеблющимся при нарушеніяхъ равномерности слоя горючаго и пр., а также уменьшается уносъ золы и топлива въ газоды. Всякое поэтому уничтоженіе или ухудшеніе равномерности такого шлакового слоя влечетъ за собою ухудшеніе работы топки. Лучше поэтому мириться на нѣкоторомъ (совершенно при этомъ несущественномъ) увеличеніи расхода на дутѣ.

Наоборотъ, если слой шлака плохо пропускаетъ воздухъ (случай легкоплавкихъ шлаковъ), то по мѣрѣ утолщенія и уплотненія шлака его сплошные пласты начинаютъ затруднять горѣніе. Устанавливается протокъ воздуха по случайно болѣе пористымъ мѣстамъ шлака, болѣе холоднымъ мѣстамъ топки, вслѣдствіе чего начинается неравномерное использование воздуха, появляется неполное окисленіе топлива въ однихъ мѣстахъ при чрезмѣрномъ избыткѣ воздуха въ другихъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ, понятно, падаетъ и производительность топки. Анализъ газовъ обнаруживаетъ въ концѣ котла паденіе CO_2 при одновременномъ паденіи $CO_2 + O$. Разбиваніе шлаковаго пласта (подломъ его) является здѣсь желательнымъ и необходимымъ, также и съ цѣлью улучшенія самаго процесса горѣнія.

Но, все-таки, приходится совершенно опредѣленно констатировать, что и при такомъ периодическомъ подломѣ шлака процессъ горѣнія антрацитовъ съ легкоплавкой золой даже на холодной рѣшеткѣ идетъ хуже, чѣмъ антрацитовъ съ тугоплавкой золой.

Стр. 24 полной таблицы показываетъ, что приходилось работать при $CO_2 = 12,9 - 13,5 - 14\%$, при чемъ $CO_2 + O$ колебалось въ предѣлахъ $19,8 - 20\%$, т.-е. вообще приходилось мириться съ нѣкоторой, правда, небольшой неполностью горѣнія (потеря до 2%). Антрациты съ тугоплавкой золой давали возможность работать съ $CO_2 = 14 - 15\%$ при почти полномъ отсутствіи CO . Такимъ образомъ разницу въ потеряхъ можно оцѣнить приблизительно въ $2 - 3\%$ и кромѣ того добавляется работа по проламыванію шлаковъ, правда, при холодной рѣшеткѣ не представляющая никакихъ затрудненій.

Мы здѣсь не будемъ подробно анализировать цифры табл. II и III. Оцѣнку ихъ не трудно произвести по схемѣ, данной въ XIII вып. Изв. Мех. Инст. Укажемъ лишь, что и здѣсь, понятно, дѣйствительные коэффициенты полезныхъ дѣйствій котловъ (стр. 61) и полез-

ная испарительности топлива (стр. 60) являются только относительной оцѣнкой разныхъ испытанныхъ антрацитовъ и то лишь при сравненіи однихъ и тѣхъ же напряженій котловъ. При котлѣ болѣе крупнаго, т.-е. болѣе нормальнаго для водотрубнаго котла размѣра, коэффициенты полезнаго дѣйствія были бы приблизительно на $2 - 3\%$ выше, за счетъ меньшей потери въ окружающую среду.

Потеря въ окружающую среду для котла оказалась, судя по цифрамъ строкъ 58 и 59, около 7% , т.-е. приблизительно на 1% ниже, чѣмъ въ лѣтнихъ опытахъ. Это объясняется, по всей вѣроятности, тѣмъ, что при послѣднихъ опытахъ котельная вентилировалась значительно слабѣе, чѣмъ лѣтомъ, а охлажденіе испытываемаго котла съ одной стороны болѣе холодной въ зимнее время внѣшней стѣной зданія покрывалось тѣмъ, что съ другой стороны теперь стоялъ горячій, работающій котелъ. Хотя температура воздуха около котла и была ниже, но зато воздухъ почти не двигался (слабая вентиляция). Сказалось также и то, что потеря топки съ холодной рѣшеткой излученіемъ внизъ равна, понятно, нулю.

Весь остаточный членъ (при опытахъ съ $\frac{B}{R}$ до 200 kg) колеблется въ предѣлахъ 8,3 до 9,2 (8,3; 9,0; 8,7; 8,8; 9,2; 9,1; 8,7 и 9,2)¹⁾, а въ среднемъ равна 9,0. Изъ этой величины около 2% составляетъ механическую потерю отъ неполнаго горѣнія, т.-е. потерю отъ провала, выгреба и уноса. Черезъ щели (6 м/м) между колосниками топлива, а также и золы, проваливалось очень мало, такъ какъ этому мѣшала шлаковый слой: нѣкоторый провалъ получался въ началѣ работы и при проламываніи шлака. Судя по стр. 18 полной таблицы, потеря отъ провала и выгреба колеблется въ предѣлахъ $0,9 - 0,6\%$, а остальные (до 2%) 1,1 до $1,4\%$ относятся къ потерѣ отъ уноса въ ходы. Послѣдняя потеря нѣсколько разъ опредѣлялась измѣреніемъ всего найденнаго въ дымоходахъ (послѣ сжиганія опредѣленнаго количества даннаго топлива) мелочи (уноса) и изслѣдованіемъ его состава.

Прочные антрациты, не растрескивающіеся въ огнѣ (какъ Власовскій, напримѣръ), давали въ среднемъ при напряженіяхъ $\frac{B}{R} = 140 - 200$ клг. около $2,3\%$ уноса, заключающаго около $49 - 51\%$ угля (въ поворотной камерѣ котла; въ боровѣ около 20%). Это соответствуетъ потерѣ тепла около $1,0 - 1,2\%$.

При слабыхъ антрацитахъ, сильно распадающихся при нагревѣ въ огнѣ и при тѣхъ же нормальныхъ для стационарныхъ котловъ напряженіяхъ, въ ходахъ (и въ боровѣ за котломъ) оказалось до 3% уноса и соответственно потеря была нѣсколько больше (до $1,5 - 1,7\%$). При сжиганіи особенно сильно распадающагося Хру-

¹⁾ Очень хорошее совпаденіе остаточныхъ членовъ указываетъ на весьма высокую точность опытовъ, объясняющуюся большой длительностью опытовъ (по количеству сжиганнаго на 1 м^2 топлива), а также возможностью при антрацитѣ весьма точно установитъ количество топлива въ началѣ и концѣ опыта. См. также брошюру К. В. Киршъ. Сжиганіе антрацита.

стальского антрацита ($\frac{B}{R} = 145$) уноса оказалось 2,2%, но въ немъ было 85% горючаго.

Какъ видно изъ чертежа котла (фиг. 2), теперь значительно расширена поворотная камера при переходѣ газовъ изъ 2-го въ 3-й ходъ. Результатомъ этого является весьма интенсивное осаждение твердыхъ примѣсей газовъ въ этой камерѣ. При разныхъ чисткахъ котловъ получились слѣдующія цифры:

Оказалось уноса въ	I чистка.		II. чистка.		III чистка.		IV чистка.		V чистка.	
	кг.	%	кг.	%	кг.	%	кг.	%	кг.	%
поворотн. камерѣ.	176	60%	315	79,5%	370	80,0%	590	84%	133	83%
Въ боровѣ за котломъ и другихъ мѣстахъ.	117	40%	81	20,5%	92	20,0%	110	16%	27	17%

Такимъ образомъ въ поворотной камерѣ удается удерживать до 80 и болѣе % всего уноса. Это, понятно, въ сильной мѣрѣ облегчаетъ чистку котла.

Часть унесенной изъ топki мелочи прибавляется къ обращенной къ топкѣ части трубъ и образуетъ здѣсь довольно плотную корку толщиной иногда до 10—20 м/м. Достигнувъ опредѣленной толщины, эта корка частями сваливается, особенно при рѣзкомъ охлажденіи трубъ холоднымъ воздухомъ или механическомъ сотрясеніи¹⁾.

Рѣшетки высокаго напряженія.

Въ полной таблицѣ результатовъ изслѣдованій приведены опыты съ напряженіями рѣшетки до $\frac{B}{R} = 561$ клг./мтр.² — 1 часть. Проведены они съ Боковскимъ антрацитомъ ($B^4 - \frac{B}{R} = 337$ клг.), Власовскимъ ($B^4 - \frac{B}{R} = 364$ клг.), Должанскимъ ($D^4 - \frac{B}{R} = 431$ клг.) и Грушевскимъ 2-го пласта ($I^4 - \frac{B}{R} = 561$ клг.).

Фиг. 11 даетъ діаграмму сопротивленія слоя при сжиганіи Боковского антрацита, имѣющаго леикоплавкую золу. По мѣрѣ увеличенія напряженія рѣшетки падаетъ относительная (на 1 клг. топлива) прямая отдача

¹⁾ Образование этой корки по всей вѣроятности объясняется слѣдующимъ образомъ. На прибной къ поверхности нагрѣва зола даѣе осаждаются кусочки топлива, которые продолжаютъ горѣть и благодаря нагрѣву снизу изъ топki и изолированности отъ охлаждающаго дѣйствія поверхности нагрѣва (слоемъ хорошаго изолятора—зола) развивается настолько высокая мѣстная температура, что зола частью сплавляется,—получается весьма прочная шлакообразная корка. Удалять ее можно дѣйствіемъ черезъ топочную дверку или специальной метлой или струей пара. Корка сваливается при этомъ довольно легко. Такая чистка производится у насъ каждое утро передъ растопкой котла и она имѣетъ весьма существенное вліяніе на общее теплопоглощеніе котла, повышая прямую отдачу.

топки котлу¹⁾, а потому растетъ температура верхнихъ слоевъ топлива, а, значитъ, и условія для работы слоя изъ-за болѣе жидкаго и плотнаго шлака дѣлаются все болѣе и болѣе трудными. Такъ, во время опыта B^4 приходилось за 10 часовъ 9 разъ подламывать шлакъ, а послѣ 4 часовъ работы 23 клг. шлака было вынуто изъ топki. Въ нашей топкѣ съ весьма большимъ периметромъ топki, замкнутымъ клалкой (два бока и задъ около 2,9 погонныхъ метра на $R = 0,87$ м/т)² рѣзко начинаетъ сказываться прилипаніе шлака къ стѣнкѣ, а такъ какъ этихъ стѣнокъ въ нашей маленькой топкѣ относительно очень много, то и вліяніе это весьма велико. Плотнo приставая къ кладкѣ, шлакъ постепенно образуетъ кругомъ топki поясъ толстаго плотнаго шлака, не пропускающаго воздухъ, уменьшая этимъ рабочую часть рѣшетки. Сламываніе этого бокового шлаковаго пояса уже довольно затруднительно и требуетъ большого труда со стороны кочегара. Значительно труднѣе уже и подломъ шлака въ серединѣ топki, такъ какъ большая часть шлака теперь находится въ совершенно жидкомъ видѣ, облѣпляетъ инструменты и не поддается ихъ воздѣйствію. Напряженіе $\frac{B}{R} = 337$ клг./мтр.² нужно при-

знать для нашей топki (съ большимъ относительнымъ „периметромъ“ изъ кладки, и сравнительно небольшой прямой отдачей, т.-е. очень высокой температурой топki и слоя) и при Боковскомъ антрацитѣ—предѣльнымъ. Однако, и здѣсь шлакъ къ рѣшеткѣ не прилипалъ и послѣ окончанія работы остывшій шлакъ снялся съ рѣшетки безъ всякаго труда и не оставляя никакихъ слѣдовъ на рѣшеткѣ (въ видѣ разѣдинъ, закругленныхъ кромокъ и пр.). Сламывать надо было лишь поясъ шлака, приставшій къ боковой и торцовой кладкѣ.

Процессъ горѣнія шелъ также хуже, чѣмъ при малыхъ напряженіяхъ (въ среднемъ за 10 часовъ $CO_2 = 12,9$, $CO_2 + O = 19,8$) въ виду болѣе частаго нарушенія работы топki подламываніями кочегара, а также вообще меньшей равномерности структуры шлаковаго слоя (болѣе плотная по периферіи и т. д.). Расходъ на вентиляторное дутье составлялъ 0,13 клг. норм. пара на 1 клг. топлива (при 10 клг. норм. пара на 1 кв) или при данной поверхности нагрѣва и котлѣ ($T_k = 430^\circ$ при напряженіи поверхности нагрѣва $\frac{D}{Hk} = 37,3$ клг./мт.²) около 1,7% отъ всего пара котла. Среднее сопротивленіе слоя топлива, шлака и самой рѣшетки составляло 85,3 м/м. в. ст. при 9 прорѣзахъ, при чемъ изъ этого сопротивленія 2,2 м/м. преодолевалось разрѣженіемъ, созданнымъ тягой въ топочномъ пространствѣ.

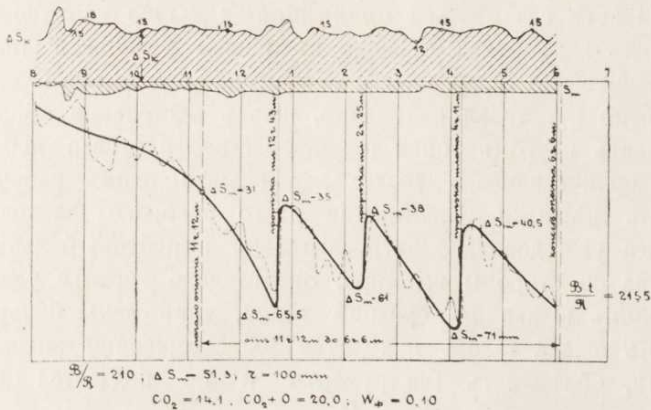
Боковского антрацита удалось сжечь безъ чистки (если не считать промежуточной выемки 23 клг. шлака) 3420 клг. на 1 мтр.² (см. стр. 14) при 9 прорѣзахъ, т.-е. на одинъ прорѣзъ приходится 380 клг. сожженного антрацита.

Антрацитъ сильно растрескивался почти моментально

¹⁾ Хотя абсолютная отдача (въ 1 часть) вообще увеличивается. См. также XIII вып. Изв. Мех. Инст.

послѣ заброса въ топку, превращался въ пескообразную мелочь. Это также объясняется, понятно, повышеніемъ температуры слоя съ напряженіемъ. Антрациты растрескиваются при забросѣ въ топку тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше температура въ топкѣ, а при прочихъ равныхъ условіяхъ, чѣмъ выше напряженіе рѣшетки.

Диаграмма работы рѣшетки.



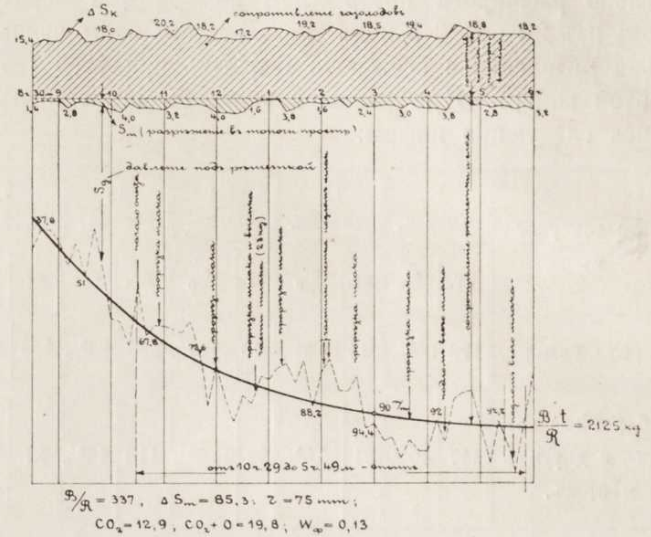
Власовскій сорт антрацита (сорт № 4)
 $A = 5.65, T_{пл} = 1050^\circ C$ Рѣшетка холодная, дутье сухое.
 Оптимально 13 XI 1913

Фиг. 10.

При сжиганіи Власовскаго антрацита можно было дойти до $\frac{B}{R} = 364$ клг., несмотря на большее содер-

жаніе золы въ немъ (5,7% противъ 4,0% при Боковскомъ). Тутъ сказывается меньшая легкоплавкость, а также меньшее растрескиваніе этого антрацита при забросѣ въ топку: онъ обладаетъ и въ холодномъ видѣ очень большой ме-

Диаграмма работы рѣшетки.

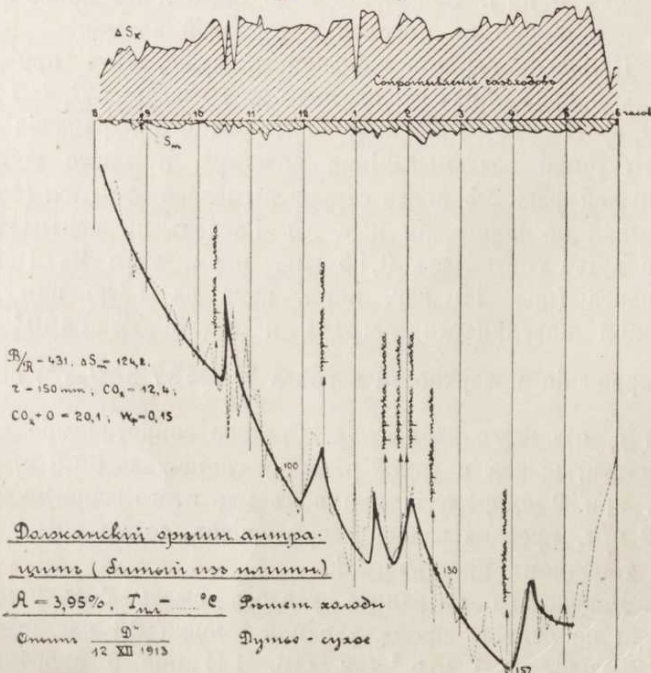


Боковскій сорт антрацита (битый изъ минерального) $A = 4.0\%, T_{пл} = 1000^\circ C$ Рѣшетка - холодная (Прометей).
 Оптимально 22 XII 1913 Дутье сухое.

Фиг. 12.

ность увеличивается; Власовскій антрацитъ тоже растрескивается при $\frac{B}{R} = 364$ клг. (при напряженіяхъ до $\frac{B}{R} = 200$

Диаграмма работы рѣшетки.

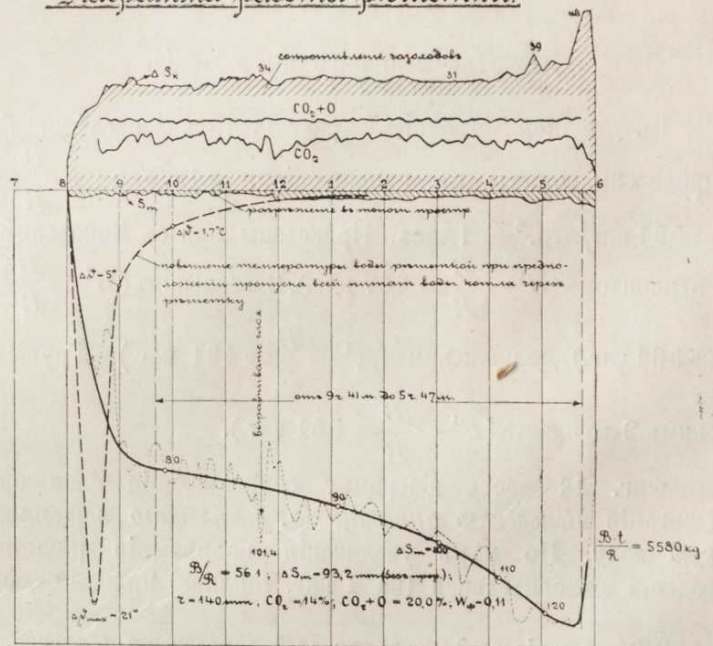


Должанскій сорт антрацита (битый изъ минерального) $A = 3.95\%, T_{пл} = 1050^\circ C$ Рѣшетка холодная, дутье сухое.
 Оптимально 12 XII 1913

Фиг. 11.

жаніе золы въ немъ (5,7% противъ 4,0% при Боковскомъ). Тутъ сказывается меньшая легкоплавкость, а также меньшее растрескиваніе этого антрацита при забросѣ въ топку: онъ обладаетъ и въ холодномъ видѣ очень большой ме-

Диаграмма работы рѣшетки.



Грунзевскій II класса сорт антрацита (10% мелочи) $A = 5.7\%, T_{пл} = 1280^\circ C$ Рѣшетка холодная (Прометей).
 Оптимально 13 XII 1913 Дутье сухое.

Фиг. 13.

растрескиваніе совершенно незаметно), но на болѣе крупные куски, чѣмъ Боковскій и не такъ скоро.

На 1 мтр.² удалось сжечь без чистки при 10 прорѣзахъ 3700 клг., т.-е. на одинъ прорѣзъ приходилось 370 клг., но зато въ этомъ антрацитѣ больше золы въ отношеніи $\frac{5,7}{4,0}$, т.-е. на 40%. Соотвѣтственно съ этимъ

и съ большимъ напряженіемъ $\frac{B}{R}$ и сопротивленіе слоя больше и равно $99,5 \text{ м/м.} = \Delta S_m$. Горѣніе шло уже значительно лучше: $CO_2 = 14,5\%$, $CO_2 + O = 19,9$

И здѣсь приходилось главнымъ образомъ бороться съ прилипаніемъ шлака къ боковой кладкѣ. Для пробы къ концу серіи опытовъ были заложены въ боковую кладку полныя балочки высотой около 100 м/м. (выполнены изъ 3" сплюснутыхъ газовыхъ трубъ. См. черт. фиг. 2) съ внутреннимъ охлажденіемъ водой. Опытъ произведенный при этихъ балкахъ съ тѣмъ же Власовскимъ антрацитомъ, далъ возможность еще далѣе поднять напряженіе, но вмѣстѣ съ тѣмъ выяснилось, что эти балки надо дѣлать значительно болѣе высокими, такъ какъ по мѣрѣ работы шлаковый слой поднимается все выше и выше¹⁾ и въ концѣ-концовъ начинается опять прилипаніе къ лежащей надъ балками кладкѣ.

Опытъ D⁴ произведенъ съ Должанскимъ антрацитомъ, относящимся уже къ разряду антрацитовъ съ сравнительно тугоплавкой золой и поэтому напряженіе

можно было довести до $\frac{B}{R} = 431 \text{ клг.}$ съ затратой на вентиляторное дутье 2% всего полученнаго пара (при 10 клг. на 1 kw.). При этомъ можно было бы идти еще дальше, но моторъ у вентилятора оказался уже нагруженнымъ до предѣла. Такимъ образомъ, напряженіе 431 клг. не является предѣльнымъ для точки при этомъ антрацитѣ (какъ это было при Б. и В.). Всего безъ чистки и безъ промежуточной выемки шлака, но съ 6 прорѣзами его было сожжено на 1 мтр.² 4060 клг., т.-е. по 677 клг. на 1 прорѣзку при 3,95% золы. Сопротивленіе слоя было 124,2 м/м. Работа точки могла бы безъ чистки продолжаться еще далѣе. Боковой шлакъ (опытъ безъ холодныхъ балокъ) и здѣсь представлялъ затрудненія.

Должанскій антрацитъ оказался механически болѣе прочнымъ изъ всѣхъ бывшихъ у насъ въ Лабораторіи, а въ огнѣ, несмотря на очень высокое напряже-

ніе рѣшетки ($\frac{B}{R} = 431 \text{ клг.}$) и высокую температуру ($CO_2 = 13,9$; $CO_2 + O = 20,05$) растрескивался сравнительно медленно и главнымъ образомъ до кусковъ 10—15 м/м. Кромѣ того, онъ обладалъ исключительно слабой горючестью. Для растопки имъ котла, напимѣръ, тре-

бовалось значительно больше времени, чѣмъ для растопки даже Власовскимъ антрацитомъ, тоже малогорючимъ (сравн. Б,⁴ В,⁴ и D⁴ по стр. 6). Въ Должанскомъ антрацитѣ оказалось всего $H = 1,3\%$.

По окончаніи опыта съ этимъ антрацитомъ, т.-е. послѣ сожженія на 1 мтр.² вышеуказанныхъ 4060 клг. антрацита (9,1 часа), на 1 мтр.² рѣшетки находилось уже около 160 клг. шлака, значительно болѣе пористаго, чѣмъ шлакъ Б. или В. Соотвѣтственно его большой пористости и меньшему вѣсу онъ занималъ уже по высотѣ въ среднемъ около 200 м/м. Сопротивленіе слоя (фиг. 12) постепенно росло и дошло при окончаніи опыта до 160 м/м. в. ст.

Наконецъ, фиг. 13 даетъ работу слоя при сжиганіи Грушевскаго II-го пласта антрацита, отличающагося тугоплавкостью своей золы.

Опытъ производился орѣшковымъ антрацитомъ съ $A = 5,7\%$, т.-е. значительно болѣе загрязненнымъ, чѣмъ большинство предыдущихъ. За 10 часовъ работы сожжено всего на 1 мтр.² 5580 клг. антрацита (отложено на 1 мтр.² около 310 клг. шлака толщиной болѣе 300 м/м.)¹⁾, а среднее напряженіе за опытъ оказалось $\frac{B}{R} = 561 \text{ клг./мтр.}^2 = 1 \text{ часъ}$, при чемъ среднее напряженіе за вторую половину опыта, когда нагрузка вентиляторнаго мотора была доведена до предѣла, была даже около 600 клг./мтр.². При этомъ не было произведено ни одного подламыванія шлака: кочегаръ только загружалъ топливо.

Средняя затрата на полученіе вентиляторнаго дутья была 1,6% отъ всего полученнаго пара ($W_{\phi} = 0,11$) при среднемъ сопротивленіи слоя рѣшетки $\Delta S_m = 91,5 + 1,7 = 93,2 \text{ м/м.}$ Сопротивленіе слоя, какъ и при опытахъ съ горячей рѣшеткой (XIII вып.), въ началѣ быстро растетъ и далѣе уже мало мѣняется (до $\frac{B}{R} t. = 3000 \text{ клг.}$). Ростъ сопротивленія идетъ медленно, чѣмъ при другихъ антрацитахъ, несмотря на отсутствіе проламыванія шлака. Работа могла бы продолжаться и далѣе (безъ чистки).

Процессъ горѣнія шелъ очень ровно съ $CO_2 = 14\%$ при $CO_2 + O = 20\%$ за котломъ. CO_2 въ топкѣ было по всей вѣроятности еще значительно выше, такъ какъ въ котлѣ были неплотности, а въ послѣднихъ газоходахъ имѣлось уже разрѣженіе болѣе 30 м/м. ($Sk = 33,6 \text{ м/м.}$) соотвѣтственно напряженію поверхности нагрѣва котла при этомъ опытѣ въ 55,4 клг./мтр.²—1 часъ ($Q = 637 \text{ Cal}$).

Грушевскій антрацитъ ($H = 1,5\%$) въ смыслѣ растрескиванія въ огнѣ относится къ прочнымъ антраци-

тамъ, но при напряженіи $\frac{B}{R} = 561 \text{ клг.}$ онъ давалъ уже очень много мелочи: растрескиваніе шло быстро.

По мѣрѣ увеличенія напряженія рѣшетки, т.-е. уве-

¹⁾ Съ другой стороны при такихъ высокихъ балкахъ (около 200 м/м.) является то неудобство, что потребуется очень много воды для ихъ охлажденія, такъ какъ верхняя часть очень долго не будетъ закрыта (изолирована) шлакомъ. Это, правда, отчасти компенсируется тѣмъ, что сама рѣшетка при этихъ высокихъ напряженіяхъ требуетъ очень мало воды. Такія холодныя балки даютъ очень хорошую защиту боковой кладки отъ разрушенія горящимъ топливомъ и при чисткѣ тяжелыми кочегарными инструментами. Наши примитивныя балки проработали въ топкѣ около 300 часовъ и сейчасъ еще совершенно цѣлы.

¹⁾ Въ концѣ опыта уровень топлива находился уже на половинѣ высоты дверки и загрузка сдѣлалась уже крайне затруднительной.

личения объема проходящего через слой воздуха, а потому и увеличения скорости ¹⁾ прохода воздуха и газов через слой, последние захватывают все больше и больше мелочи из слоя, унося его в газоходы. Как мы видели, в этой мелочи заключается до 50—80% горючего (в случае антрацита — кусков антрацита почти нормального состава). Таким образом, *потеря от уноса должна увеличиваться с напряжением и с уменьшением прочности антрацита в огнь*. Это сказывается на величине остаточного числа (стр. 58+59), заключавшего в себя потерю от механической неполноты горения. Как уже было указано, при наших опытах потеря в окружающую среду может быть принята около 7%, потеря от провала и выгребов до 1%, таким образом весь избыток остаточного числа над этой величиной можно считать потерей от уноса. Она оказалась при антрацитах рассматриваемой серии опытов **с малой примесью мелочи** — при напряжениях,

обычных для стационарных котлов ($\frac{B}{R} = 130—150—200$ клг./мтр.²), равной около 0,3 до 1,2% ²⁾. Но по мере увеличения напряжения уничтожается влияние малой примеси мелочи в основном топливе, так как оно, попадая в топку котла, само превращается больше или меньше скоро в мелочь, легко увлекаемую из слоя все больше и больше увеличивающейся скоростью выхода газа. При сжигании Грушевского антрацита с напряжением $\frac{B}{R} = 561$ клг./мтр.² — 1 часть весь остаточный член дошел до 13,2%, т.е. потеря от уноса до 13,2—(7+1)=5,2%. При опыте с Должанским антрацитом она меньше (11,9—8,0=3,9%) соответственно меньшему напряжению решетки ($\frac{B}{R} = 431$) и исключительной прочности этого антрацита. При прочном также Власовском антраците и $\frac{B}{R} = 364$ клг. потеря от уноса составляет около 10,0—8=2%. При *достаточно просторном топочном пространстве* сказывается также как будто то, что при легко горючих антрацитах большая часть горючего успевает выгорать, чем при малогорючих. Это несколько компенсирует больше сильное растрескивание легкогорючих антрацитов (высокое *H*).

При сосредоточении главной массы уноса в определенном и легко доступном месте котла, унос может быть использован как топливо, но понятно, на решетках малого напряжения в смеси с другими топливами

лучше всего спекающимся). Таким образом эта потеря не является окончательной, а может быть по существу доведена также до 1-2%, как и при решетках нормального напряжения.

Участие „холодной“ решетки в полезном теплотогощении установки падает, как мы уже говорили с увеличением напряжения. В % всего тепла топлива оно составляло за всю серию при

Боковском антраците	$\left(\frac{B}{R} = 337 \text{ клг./мтр.}^2\right)$	— 1,3%
Власовском „	$\left(\frac{B}{R} = 364 \text{ „} \right)$	— 1,1%
Должанском „	$\left(\frac{B}{R} = 431 \text{ „} \right)$	— 0,2%
Грушевском „	$\left(\frac{B}{R} = 561 \text{ „} \right)$	— 0,2%

т.е. и для очень малозольного Боковского антрацита с легкоплавкой золой это участие лишь немного больше 1%, а для антрацитов с более тугоплавкой золой можно считать *теплотогощение решетки = 0*. Последнее объясняется, понятно, очень быстрым образованием на решетке хорошо изолирующего пористого шлакового слоя. На фиг. 13 дана кривая теплотогощения решетки. Из нее мы видим, что при $\frac{B}{R} = 561$ клг.

Грушевского антрацита и пропуск через решетку всей питательной воды котла, последняя будет нагреваться только в течение нескольких минут максимум на 21°, дальше нагрев быстро падает и составляет лишь 1—2°. С другой стороны, из исследований горячих решеток (XII вып.) выяснялось, что последняя при тугоплавкой золе вполне справляется с сжиганием антрацита на сухом дутье и особенно легко при высоких напряжениях. Если мы не доходили там до напряжений 561 клг/мтр.² — 1 часть, то только потому, что этого не допускал перегреватель¹⁾ и вентиляторная установка, мотор которой был слишком слаб.

Таким образом, можно сказать, что для антрацита с тугоплавкой золой (особенно при высоких напряжениях) применение „холодной“ решетки является излишним.

Уже в отчете по исследованию южно-русских антрацитов на горячей решетке было отмечено, что по многим причинам работать без особой надобности при очень высоких напряжениях решеток (400-600 клг/мтр.²) не следует. Но есть ряд случаев практики, где приходится с этим мириться и сюда относятся прежде всего паровозы и морские, иногда также и речные суда.

Как раз южно-русский антрацит как топливо весьма прочное, выдерживающее хорошо перевозки,

¹⁾ Очень часто приходится читать и слышать про влияние величины давления под решеткой и величины разрежения в топочном пространстве, или разницы давлений по обе стороны решетки на количество уноса. На самом деле, понятно, унос зависит от скорости прохода (и выхода) газов по слою, а между этой скоростью и разницей давлений по обе стороны решетки нет определенной зависимости, раз сопротивление слоя есть величина переменная, зависящая не только от скорости воздуха, а также и от строения слоя.

²⁾ В эти цифры входит, понятно еще влияние степени точности наших опытов, которая может быть оценена в $\pm 0,5\%$ до $\pm 1\%$.

¹⁾ Была взята несколько большая решетка ($R = 1$ мтр.²) и потому уже при $\frac{B}{R} = 363$ клг. температура газов перед перегревателем доходила до 860°C., что является уже опасным для целиности перегревательной заслонки, балок и проч.

Кроме того, при опыте 13.XII 1913 г. прямая отдача из точки была еще достаточно высока, так как благодаря косой (не вертикальной) стенке, закладываемой задней частью решетки, угол излучения был больше, чем в опыте 15.IV. 1913 г., где закладка была выполнена вертикальной стенкой, доходившей почти до трубы.

перегрузки и длительное хранение, имѣющее весьма высокую тепловую плотность (теплосодержаніе единицы объема) и обезпечивающее абсолютную бездымность горѣнія (въ смыслѣ отсутствія примѣсей въ газахъ сажи и паровъ смоль), является, казалось бы, *исключительно подходящимъ топливомъ для указанныхъ потребителей*. Несмотря на это, какъ разъ эти потребители меньше всего пока пользуются антрацитомъ. Можно достаточно увѣренно утверждать, что это объясняется прежде всего малой изслѣдованостію раціональныхъ способовъ сжиганія антрацита при высокихъ напряженияхъ рѣшетокъ.

Наши опыты съ высокими напряжениями являются, понятно, лишь предварительными, но даже они даютъ уже полную увѣренность въ возможности весьма легко справиться съ задачей отопленія паровозовъ антрацитомъ. Между прочимъ опыты указываютъ на то, что къ антрацитамъ для высоконапряженныхъ топокъ слѣдуетъ поставить нѣсколько добавочныхъ требованій ¹⁾.

1) необходимо *дать предпочтеніе прочнымъ*, слабо растрескивающимся въ огнѣ антрацитамъ, т.-е. антрацитамъ съ малымъ содержаніемъ водорода: хотя уменьшеніе, напримѣръ, на 1% водорода (съ замѣной его углеродомъ) и уменьшаетъ теплопроизводительность приблизительно на 2%, но зато легкорастрескивающийся антрацитъ можетъ дать при высокихъ напряженияхъ рѣшетки добавочную потерю отъ уноса на 3—4%, а этотъ уносъ кромѣ прямой потери въ паровозномъ котлѣ вреденъ еще загрязненіемъ поверхностей нагрѣва и иногда можетъ забивать совершенно трубы;

2) безусловно необходимо обращать самое серьезное вниманіе на *свойство шлаковъ* и прежде всего брать для этихъ установокъ антрациты *съ возможно тугоплавкой золой*. Количество золы играетъ значительно меньшую роль.

Тутъ же можно отмѣтить, что по всѣмъ даннымъ *условія работы слоя* и процесса горѣнія *въ паровозной топкѣ будутъ благоприятныѣ*, чѣмъ подъ изслѣдованнымъ водотрубнымъ котломъ:

1) *Температура верхнихъ слоевъ* топлива *будетъ ниже* за счетъ значительно большей прямой отдачи тепла (б): благодаря этому можно будетъ работать съ болѣе толстымъ слоемъ топлива (болѣе близкимъ къ топкѣ въ жаровой трубѣ), а это вообще обезпечиваетъ болшую равномерность и устойчивость процесса горѣнія, меньшую зависимость отъ кочегара и т. д. Для болѣе быстрого заканчиванія процесса горѣнія (сжиганія СО) быть можетъ можно было бы примѣнить вдуваніе въ топочное пространство струи свѣжаго воздуха (по типу Маркотти, Стаби и пр.). Болѣе низкая температура слоя обезпечиваетъ *нѣсколько меньшее растрескиваніе* антрацита и болѣе благоприятныя условія для полученія менѣе жидкаго шлака;

2) благодаря замыканію топки со всѣхъ сторонъ металлическими поверхностями нагрѣва котла *не придется уже считаться съ прилипаніемъ* шлака къ кладкѣ, представлявшимъ такія большія затрудненія въ нашемъ случаѣ.

¹⁾ Соблюденіе которыхъ для мало напряженныхъ рѣшетокъ не играетъ такой рѣшающей роли, хотя является и тутъ крайне желательнымъ.

При напряженияхъ рѣшетки въ 500—600 кгр/метр.² — 1 часть, *сопротивленіе топки* (рѣшетки и слоя) будетъ колебаться въ предѣлахъ 80—150 м/м. в. ст. въ зависимости главнымъ образомъ отъ качества золы въ смыслѣ легкоплавкости. Это сопротивленіе можно, понятно, *преодолювать за счетъ того разрѣженія*, которое создается въ дымовой коробкѣ конусомъ, доводя здѣсь разрѣженіе до 150—200 м/м. в. ст. Однако, помимо возможнаго перерасхода пара на машину при такой работѣ (за счетъ увеличенія противодавленія) и большаго расхода пара на сифонъ при неработающей машинѣ, такая работа, мнѣ кажется, невыгодной, чтобы не сказать недопустимой, въ виду слѣдующихъ соображеній:

Пусть сопротивленіе топки будетъ 100 м/м., сопротивленіе котла—50 м/м., т.-е. въ топочномъ пространствѣ нужно создать разрѣженіе въ 100 м/м., а въ дымовой коробкѣ—150. *Что будетъ съ топкой и котломъ при открытіи дверки для загрузки топлива?*

Внѣшній воздухъ поступаетъ въ топочное пространство теперь уже не черезъ слой, а непосредственно черезъ дверку, т.-е. окисленіе топлива, а, значитъ, и *выдѣленіе тепла и газовъ изъ него почти прекращается*. Благодаря малому сравнительно сопротивленію дверки проходу воздуха въ топочное пространство, разрѣженіе въ немъ приближается къ нулю, а *располагаемый напоръ для проведенія продуктовъ черезъ собственно котелъ* (дымогарныя трубы) будетъ уже не 150—100 = 50 м/м., а приблизительно 150—0 = 150 м/м., а, значитъ, черезъ котелъ будетъ просасываться приблизительно въ $\frac{150}{50} = 1,73$ *раза больше продукта*, состоящаго при этомъ

уже не изъ *нагрѣтаго газа*, а почти изъ *одного сравнительно холоднаго воздуха* (такъ какъ работа топки прекратилась, въ виду отсутствія просасыванія черезъ слой воздуха). Такимъ образомъ *во время загрузокъ котелъ подвергается совершенно исключительно сильному охлажденію громадной массой воздуха*, что не только отражается на прочности котла, но страшно сильно отзывается на средней мощности и экономичности топки и котла. При отопленіи пламеннымъ топливомъ всѣ эти явленія, понятно, также имѣютъ мѣсто, но въ значительно болѣе слабой степени: сопротивленіе слоя этихъ топливъ меньше, поэтому и разрѣженіе въ топочномъ пространствѣ требуется меньшее, да кромѣ того и послѣ значительнаго уменьшенія, или даже полного прекращенія прохода воздуха черезъ слой пламеннаго топлива продолжается выдѣленіе летучихъ веществъ изъ него, сгорающихъ въ топочномъ пространствѣ; такимъ образомъ, количество продукта, поступающаго въ дымогарныя трубки при открытой дверкѣ здѣсь меньше и онъ значительно уже подогрѣтъ получающимися въ топкѣ газами ¹⁾.

¹⁾ Эти простыя соображенія объясняютъ отчасти и то, почему такъ различны результаты, получаемые разными дорогами при *опытахъ съ кусковымъ торфомъ*. Здѣсь, благодаря малой тепловой плотности топлива и необходимости забрасывать въ топку громадные объемы топлива (въ 4—6 разъ большіе, чѣмъ при углѣ), т.-е. необходимости держать дверку очень долго открытой, все зависитъ отъ ловкости и старанія загрузчика (топка „въ прихлопку“ или въ открытую и пр.). При сжиганіи такихъ малоцѣнныхъ матеріаловъ особенно важно уничтожить или уменьшить возможность поступленія воздуха черезъ дверку въ топочное пространство.

При той схемѣ, которая примѣнялась въ нашихъ опытахъ и которая примѣняется для стационарныхъ и судовыхъ установокъ съ преодоленіемъ почти всего сопротивленія топки дѣйствіемъ нагнетальнаго вентилятора картина совершенно мѣняется.

Во избѣжаніе выбиванія пламени черезъ дверку и пр. желательно работать съ разрѣженіемъ въ 2—3 м/м. въ топочномъ пространствѣ. Такимъ образомъ въ разобранномъ выше примѣрѣ вентиляторъ будетъ подавать въ зольникъ воздухъ съ давленіемъ $100 - 3 = 97$ м/м., которое идетъ на преодоленіе главнаго сопротивленія слоя, 3 м/м. преодолевается тѣмъ разрѣженіемъ въ 3 м/м., которое нужно создать конусомъ въ топочномъ пространствѣ, а въ дымовой коробкѣ нужно имѣть разрѣженіе въ 53 м/м.

Если мы теперь откроемъ дверку, то почти никакого измѣненія въ работѣ не произойдетъ: объемъ продуктовъ, проходящихъ черезъ котелъ измѣнится максимумъ

въ отношеніи $\sqrt{\frac{50-3}{50}}$, т.-е. остается почти безъ из-

мѣненія, причемъ почти весь продуктъ будетъ состоять изъ рабочихъ газовъ, такъ какъ и теперь черезъ слой будетъ проходить воздухъ въ объемѣ, который

меньше первоначальнаго лишь въ отношеніи $\sqrt{\frac{100-3}{100}}$ ¹⁾,

т.-е. на совершенно ничтожную величину. Можно поэтому сказать (и это всякій наблюдавшій за такими топками знаетъ), что можно *работать хотя бы все время съ совершенно открытой дверкой* ²⁾: почти никакого ухудшенія работы топки и котла, ни въ смыслѣ экономичности и мощности, ни въ смыслѣ вреда для котла не послѣдуетъ. Если сдѣлать (повышеніемъ еще на 3 м/м. дутья) давленіе въ топочномъ пространствѣ равнымъ нулю, то уже совершенно никакой разницы не будетъ, если не считать увеличенія потери въ окружающую среду черезъ открытую дверку.

Въ случаѣ паровоза казалось бы наиболѣе простымъ и рациональнымъ установка на тендерѣ паротурбовентилятора съ тѣмъ, чтобы чистый отъ масла отработавшій паръ турбины былъ непосредственно пущенъ въ тендеръ для подогрева воды ³⁾. Такая установка освобождаетъ паровозъ совершенно отъ зависимости отъ сифона, уменьшаетъ расходъ на дутье, далѣе получается возможность въ значительно болѣе широкихъ предѣлахъ регулировать мощность топки паровоза, чѣмъ при конусѣ, а процессъ горѣнія улучшается ⁴⁾. Работа конуса при этомъ значительно уменьшается и появляется естественное желаніе использовать хотя бы часть пара изъ машины для подогрева питательной воды до 95—100°, какъ это теперь уже и выполняется. Понятно, при этомъ отпадаетъ инжекторъ, какъ питательный приборъ, какъ онъ

отпалъ уже давно въ мало-мальски рационально оборудованныхъ стационарныхъ котельныхъ установкахъ.

При подогревѣ тендерной воды только паромъ вентиляторной турбины, хорошіе инжектора и лѣтомъ будутъ еще работать исправно.

Послѣ сожженія на 1 мтр.² рѣшетки „Прометей“ около 76000 клг. антрацита, по преимуществу съ легкоплавкой золой, рѣшетка была вынута изъ топки. *Никакихъ слѣдовъ износа на ея колосникахъ нельзя установить*, острые верхніе углы колосниковъ (полученные прокаткой) сохранились безъ всякихъ измѣненій; трудно повѣрить, что рѣшетка была въ огнѣ. *Пока никакой накипи внутри колосниковъ нельзя установить*.

Для дальнѣйшаго уменьшенія нагрѣва рѣшетки слѣдовало бы выполнять колосники наверху до 30 м/м. шириной при щеляхъ около 5—7 м/м. Это кромѣ того придавало бы еще большую боковую устойчивость колосникамъ и понизило бы стоимость рѣшетки. Распределительную коробку можно было бы осуществить съ наклонной верхней плитой, замѣняющей загрузочную плиту, иначе весьма быстро изнашивающуюся ¹⁾. Необходимо обезпечить при такихъ рѣшеткахъ *непрерывность водяного охлажденія* ²⁾, для чего нужно изъ *каждаго самостоятельнаго* (въ смыслѣ водоснабженія) *элемента* отводить воду со свободнымъ, *видимымъ персоналу* *сливомъ*. При нагрѣвѣ воды выше 60—70° появляется уже испареніе, которое является достаточно надежнымъ и виднымъ сигналомъ для увеличенія воды въ данный элементъ. Сливы можно помѣстить настолько высоко, чтобы напора отъ соответствующихъ воронокъ было бы достаточно для проводки нагрѣтой воды въ питательные баки ³⁾.

Основные выводы изъ нашихъ изслѣдованій съ сжиганіемъ антрацитовъ на холодной рѣшеткѣ можно формулировать слѣдующимъ образомъ:

- 1) „Холодная“ рѣшетка даетъ полную возможность сжигать и антрациты съ легкоплавкой золой сухимъ (вентиляторнымъ) дутьемъ при исключительно легкой и удобной чисткѣ и весьма длинныхъ промежуткахъ между отдѣльными выемками шлака. Требуется только періодическая подрѣзка шлака, производящаяся съ затратой лишь небольшого труда и времени. Чѣмъ легкоплавче шлакъ, тѣмъ чаще производится подрѣзы (минимальные періоды 2—3 часа).
- 2) Процессъ горѣнія антрацитовъ съ легкоплавкой золой идетъ нѣсколько хуже, чѣмъ при тугоплавкой золѣ, даже на холодной рѣшеткѣ и общая разница въ

¹⁾ Нужно только обезпечить отводъ воды изъ высшей точки, во избѣжаніе образованія парового мѣшка.

²⁾ Особенно послѣ растопки, послѣ чистки, прорѣза шлака и т. д., когда изолирующаго дѣйствія шлака нѣтъ или оно ослаблено.

³⁾ Понятно, что отсутствіемъ охлажденія, особенно при одновременномъ отсутствіи и шлака на рѣшеткѣ, можно испортить рѣшетку, а при нѣкоторыхъ условіяхъ, правда совершенно исключительно, даже взорвать ее. Однако, это не должно смущать. Въ работу двигателя внутренняго сгорания безъ охлажденія рубашки мы не допускаемъ, мы обезпечиваемъ непрерывную смазку цилиндра паровой машины, даже питательнаго насоса той же котельной. *Пора къ обслуживанію и наиболее существенной части котельной — топкѣ — ставить также болѣе высокія требованія.*

¹⁾ Всѣ подсчеты — приблизительны.

²⁾ На этомъ основано, какъ извѣстно, дѣйствіе топокъ съ „уравновѣшенной тягой“. (Макъ-Лина).

³⁾ Подобная установка ставится сейчасъ въ Л. П. К.

⁴⁾ См. также сравненіе вентиляторнаго дутья въ XIII выпускѣ Изв. Мех. Инст.

коэффициентахъ использования тепла антрацитовъ съ тугоплавкимъ и легкоплавкимъ шлакомъ доходить до 2—3%.

- 3) Холодная рѣшетка поглощаетъ нѣкоторое добавочное количество тепла на полезный нагревъ воды изъ топки въ количествѣ 1—4%, повышая этимъ общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія установки (на нѣсколько меньшую величину). Степень участія рѣшетки въ теплопоглощеніи зависитъ отъ количества и качества золы, отъ напряженія рѣшетки и числа и частоты прорѣзовъ шлака.
- 4) Холодная рѣшетка является лишней при сжиганіи антрацитовъ съ тугоплавкой золой, но въ виду невозможности обезпечить себя навсегда антрацитомъ одного и того же типа, необходимо обращать самое серьезное вниманіе на рѣшетки съ внутреннимъ водянымъ охлажденіемъ, какъ сравнительно универсальнымъ.
- 5) Имѣя въ виду сжиганіе антрацитовъ на такихъ болѣе универсальныхъ рѣшеткахъ, уже не нужно при сравненіи практической цѣнности разныхъ антрацитовъ дѣлать

разницы въ расходѣ энергіи на дутье, но необходимо учитывать то, что тепло антрацитовъ съ тугоплавкой золой удастся использовать съ нѣсколько болѣе высокимъ коэффициентомъ полезнаго дѣйствія (на 2—3%), благодаря лучшему процессу горѣнія (см. п. 2). Разница въ затратахъ труда персонала при примѣненіи „холодной“ рѣшетки ничтожна ¹⁾.

К. Курш.

Москва, 26 января 1914 г.

¹⁾ Рѣшетки съ внутреннимъ водянымъ охлажденіемъ можно будетъ также использовать при сжиганіи нѣкоторыхъ сортовъ *торфа*, обладающаго еще значительно болѣе *легкоплавкой золой*, чѣмъ антрациты Б и В. Между тѣмъ торфъ можно сжигать въ правильно спроектированныхъ шахтныхъ топкахъ съ избыткомъ воздуха въ 10—30%. При такой работѣ представляетъ большія затрудненія жидкій шлакъ, заплывающій всѣ колосники и плотно пристающій къ нимъ. Выполнивъ наклонныя и горизонтальныя колосниковыя рѣшетки, въ видѣ холодныхъ, можно будетъ значительно упростить работу такихъ топковъ.

Въ апрѣлѣ мѣсяцѣ въ Лабор. Паров. Котловъ предстоятъ опыты съ шахтной торфяной топкой и тогда, навѣрно, удастся проверить и работу холодной рѣшетки при торфахъ съ легкоплавкой золой.

Определение температуры плавления золы и шлака антрацитовъ.

По предложению К. В. Кирша въ Императорскомъ Московскомъ Техническомъ Училищѣ былъ произведенъ рядъ опытовъ для изученія температуры и условий плавления золы и шлаковъ южно-русскихъ антрацитовъ. По аналогіи съ испытаніемъ глины на огнеупорность первоначально опыты съ плавленіемъ золы и шлаковъ были проведены въ печи Девиля по сравненію съ конусами Зегера. Полученные результаты опубликованы въ XIII выпускѣ Извѣстій Механ. Института И. Т. У.¹⁾

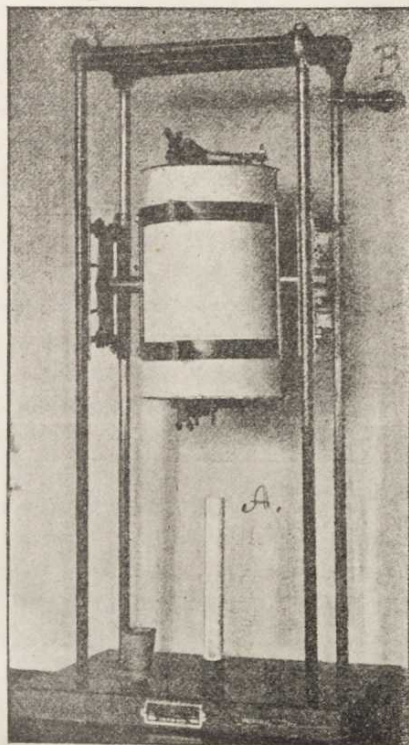
Сравнительная таблица плавкости золы.

Зола Боковского антрацита	около	880°
„ Хрустальскаго „	„	980°
„ Власовскаго „	„	1000°
„ Прохоровскаго „	„	1100°
„ Должанскаго „	„	1160°
„ Грушевскаго „ верхн. пластъ	„	1180°
„ Чистяковскаго „	„	1230°
„ Грушевскаго „ II пластъ	„	1280°

Чтобы избѣжать недоразумѣній въ толкованіи полученныхъ результатовъ необходимо имѣть въ виду, что температуры, помѣщенные въ таблицѣ имѣютъ условное значеніе²⁾—онѣ представляютъ собой температуру плавленія, т.-е. полного размягченія конусовъ Зегера, соотвѣтствующихъ по степени размягченія въ условіяхъ печи Девиля испытуемымъ образцамъ золы или шлака.

Работа въ печи Девиля сопряжена съ цѣлымъ рядомъ неудобствъ.

Въ послѣднее время мною въ технической лабораторіи орган. вещ. И. М. Т. У. были произведены опыты съ плавленіемъ золы и шлаковъ въ вертикальной, подвижной электрической печи Гереуса, изображенной на фиг. 14.



Фиг. 14.

ской печи Гереуса, изображенной на фиг. 14.

¹⁾ См. также Вѣстникъ Общ. Технологовъ №№ 22—24 за 1913 г., Бюллетени Политехническаго Общ. № 8 за 1913 г.

²⁾ Но относительно они весьма хорошо оцѣниваютъ качество шлаковъ, т.-е. затрудненія въ веденіи точки отъ загрязненія ея рѣшетки шлаками. Прим. К. В. Кирша.

Эта печь укрѣплена на станкѣ и подвѣшена на двухъ проволочныхъ тросахъ. Съ помощью рукоятки В печь можно легко поднимать, опускать и закрѣплять въ любомъ положеніи. Подобное устройство позволяетъ устанавливать тигель или любой приборъ надъ или подъ печью и затѣмъ съ помощью рукоятки можно печь, даже предварительно нагрѣтую, поднять или опустить. Для наблюденій за процессомъ во время нагрѣванія печь можетъ быть въ любой моментъ поднята или опущена.

Чтобы устранить циркуляцію воздуха, печь съ одного конца закрываютъ слюдяной пластинкой, при чемъ все происходящее въ печи доступно наблюденію. Для установки тиглей служитъ фарфоровая трубка, прикрѣпляемая къ основанію станка. Печь вращается вокругъ горизонтальной оси и можетъ быть установлена въ горизонтальномъ наклонномъ положеніи.

Опыты съ золой.

Зола получалась сжиганіемъ антрацита въ муфельной газовой печи до постоянного вѣса, и небольшое количество ея около 0,3—0,5 гр. помѣщалось въ платиновую чашечку, которая устанавливалась на концѣ А фарфоровой трубки, прикрѣпленной къ основанію печи; затѣмъ печь, уже предварительно нагрѣтая до желаемой температуры, опускается внизъ съ такимъ расчетомъ, чтобы чашечка находилась въ серединѣ печи. Черезъ определенный промежутокъ времени печь поднимается вверхъ, помощью рукоятки В, и наблюдаютъ состояніе содержимаго чашечки. При приближеніи къ температурѣ, при которой зола плавится наступаетъ спеканіе порошка золы, при новомъ повышеніи температуры, зола становится жидкоплавкой и при охлажденіи затвердѣваетъ въ аморфную массу.

Измѣреніе температуры до опыта, и во время опыта, производится при помощи термо-электрическаго пирометра, при чемъ термо-элементъ укрѣпляется на фарфоровой трубкѣ, служащей подставкой для чашечки такимъ способомъ, чтобы спай приходился въ мѣстѣ, гдѣ помѣщается чашечка.

Плавкость золы въ электрической печи.

Зола Боковского антрацита	1310°—1330°
„ Власовскаго „	1315°—1325°
„ Грушевскаго „	1320°—1340°

Продолжительность нагрѣванія 10 минутъ, считая съ того момента, когда температура установится.

Для наблюденія надъ степенью размягченія золы были сформованы изъ смоченнаго водой порошка золы небольшія пирамидки, послѣ высушиванія онѣ нагрѣвались въ электрической печи въ тѣхъ же условіяхъ какъ и порошокъ золы.

Размягчение и плавкость золы въ электрической печи.

	Боковский.	Власовскій.	Грушевскій.
Начало размягченія.	1240°	1260°	1280°
Плавленіе.	1310°	1320°	1320°

За начало размягченія я принималъ закругленіе острыхъ граней, но съ сохраненіемъ общихъ очертаній пирамиды; при температурахъ промежуточныхъ между началомъ размягченія и плавленіемъ получаютъ формы, приближающіяся къ конусу; плавленіе соответствуетъ полному размягченію и деформированію пирамидки.

Опыты со шлаками.

Проба шлака измельчалась въ порошокъ, изъ котораго были приготовлены пирамидки; нагрѣваніе пирамидокъ производилось въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и въ предыдущемъ опытѣ. Для шлаковъ Боковского, Власовскаго и Грушевскаго антрацитовъ наблюдалось одно и то же: до температуры 1280° въ формѣ пирамидокъ нѣтъ никакихъ измѣненій, при температурѣ 1320—1340 всѣ шлаки плавятся, при чемъ для Боковского и Власовскаго шлаковъ замѣчено еще слѣдующее; уже при нагрѣваніи до температуры 1200° масса пирамидокъ становится неоднородной; **внутри пирамидки частицы шлака сплвились**, тогда какъ на поверхности образовалась спекшаяся корка, благодаря которой сохраняется форма пирамидки и ея острые грани.

Чтобы выяснитъ себѣ хотя бы приблизительно при какой температурѣ начинаетъ затвердѣвать наиболѣе легкоплавкій шлакъ Боковского антрацита, я расплавилъ большое количество этого шлака около 200 гр. въ шамотномъ тиглѣ въ печи Девиля и затѣмъ въ условіяхъ медленнаго охлажденія, я наблюдалъ, что до температуры 1050° содержимое тигля остается жидкимъ, въ чемъ можно убѣдиться, помѣшивая сплавленную массу кварцевой трубкой. Ниже 1050° наступаетъ затвердѣваніе шлака. Образование корки на поверхности пирамидки приготовленной изъ шлака, при нагрѣваніи до температуры выше 1000° указываетъ на то, что *происходитъ химическое измѣненіе въ составныхъ частяхъ шлака*. При высокой температурѣ за счетъ кислорода воздуха наступаетъ окисленіе шлака, при чемъ закись желѣза, входящая въ составъ силикатовъ шлака окисляется до окиси желѣза и образуется болѣе тугоплавкая масса. Вышеуказанныя соображенія подтверждаются наблюденіемъ надъ *плавленіемъ шлаковъ въ условіяхъ, исключающихъ возможность окисленія*.

Для этой цѣли чашечка, въ которой находится испытуемая пирамидка помѣщается въ другую платиновую чашечку нѣсколько большихъ размѣровъ, на дно этой чашечки предварительно насыпается слой графитоваго порошка (я пользовался графитовымъ порошкомъ, полученнымъ измельченіемъ графитоваго тигля); сверху платиновая чашечка закрывается платиновымъ тиглемъ, отверстіе котораго обращено внизъ и діаметръ котораго

нѣсколько больше діаметра маленькой чашечки и меньше діаметра большой чашечки; такимъ образомъ получается запоръ изъ графитоваго порошка, препятствующій во время нагрѣванія въ электрической печи доступу наружнаго воздуха въ пространство, окружающее испытуемую пирамидку. Наблюденіе надъ плавленіемъ шлаковъ въ этихъ условіяхъ дали слѣдующіе результаты:

	Боковский.	Власовскій.	Грушевскій.
Начало размягченія.	1000°	1080°	1280°
Плавленіе.	1020°	1180—1200°	1320°

Какъ видно изъ сопоставленія полученныхъ мною результатовъ, температура плавленія золы не можетъ служить показателемъ степени плавкости шлаковъ, получающихся при сжиганіи угля; это происходитъ вслѣдствіе различія въ химическомъ составѣ золы и шлаковъ, которое главнымъ образомъ зависитъ отъ присутствія окисей металловъ, легко отдающихъ кислородъ съ переходомъ въ низшія степени окисленія, напр., Mn_2O_4 и Fe_2O_3 ; образующіяся MnO и FeO способствуютъ легкоплавкости шлаковъ. Кромѣ различія въ химическомъ составѣ золы и шлаковъ, условія, при которыхъ наступаетъ плавленіе золы и шлаковъ, также неодинаковы. Зола представляетъ собой смѣсь отдѣльныхъ химическихъ соединений, которыя при высокой температурѣ вступаютъ между собой въ химическое взаимодействіе, при чемъ температура образованія новыхъ соединений можетъ значительно отличаться отъ температуры ихъ плавленія. Шлаки представляютъ собой продуктъ химическаго взаимодействія составныхъ частей золы въ условіяхъ топки; химическіе процессы въ нихъ въ главной мѣрѣ уже закончены, и поэтому *температура плавленія шлаковъ не зависитъ отъ температуры образованія*.

При сравненіи результатовъ наблюденія надъ *плавленіемъ золы* въ электрической печи и въ печи Девиля обнаруживается полное несоответствіе. По всей вѣроятности въ печи Девиля испытуемая проба перегрѣвается выше температуры плавленія, что даетъ возможность реакціи образованія протекать съ достаточной быстротой; кромѣ перегрѣванія въ печи Девиля имѣются условія благоприятныя для возстановленія; благодаря этимъ двумъ обстоятельствамъ въ составѣ золы наступаетъ измѣненіе и *получается продуктъ по своимъ свойствамъ, приближающийся къ шлакамъ* и обладающій поэтому большей легкоплавкостью по сравненію съ золой ¹⁾. Подтвержденіемъ моего предположенія, что въ печи Девиля химическій составъ золы измѣняется, служитъ слѣдующее: зола, полученная изъ муфеля не даетъ реакціи на присутствіе солей закиси желѣза, послѣ же нагрѣванія въ печи Девиля присутствіе закиси желѣза можетъ быть легко обнаружено.

Н. Г. Пауковъ.

3-го февраля 1914 г.

¹⁾ Этимъ и объясняется по всей вѣроятности то, что *относительная характеристика минеральныхъ примѣсей разныхъ антрацитовъ по ¹⁰ плавленія золы, опредѣленной въ печи Девиля и по ¹⁰ плавленія шлака, опредѣленной въ эл. печи безъ доступа воздуха, совпадаетъ*. К. Киришъ.

Сжиганіе Егоршинскаго (Уральскаго) антрацита.

Январь 1914 г.

Опыты были произведены съ водотрубнымъ котломъ ($Hk = 60 \text{ mt}^2$, $Hne = 23 \text{ mt}^2$) на „горячей“ рѣшеткѣ, составленной изъ элементовъ Вильтона-Павловскаго (съ гладкой поверхностью, но съ равномерно распределенными въ шахматномъ порядкѣ круглыми отверстиями $\varphi = \frac{1}{2}''$). Установка была подробно описана въ XIII вып. Изв. Мех. Инст. и дана также на фиг. 15. Дутье — только сухое (вентиляторное). Топочное пространство имѣетъ среднюю высоту — 1500 м/м. Для непосредственнаго измѣренія температуры рѣшетки въ рабочую (верхнюю) доску предпоследняго элемента ввертывается желѣзо-константановый термоэлементъ.

Топливо ¹⁾.

Характернымъ внѣшнимъ признакомъ этого антрацита является его мѣстами какъ бы волокнистое строеніе, мѣстами же крупно-зернистое. Въ изломѣ чаще всего поверхности матовыя, но бываютъ и съ рѣзкимъ блескомъ, цвѣтъ — съ переходомъ на темносѣрые стальные оттѣнки. Антрацитъ неоднороденъ по механической прочности: главная масса — слаба и часто легко перетирается пальцами, но попадаются также куски весьма прочные, напоминающіе Чистяковскій антрацитъ.

Въ табл. I собраны всѣ результаты изслѣдованій 3 среднихъ пробъ, отобранныхъ во время испытаній ²⁾, и кромѣ того тамъ же для сравненія приведены результаты изслѣдованія, произведеннаго надъ пробой Егоршинскаго антрацита въ февралѣ 1912 года въ Цюрихскомъ Политехникумѣ профессоромъ Шлепферъ ³⁾.

Элементарный составъ органической части этого антрацита характеризуется *высокимъ содержаніемъ водорода* ($H = 3,3\%$, вмѣсто 1,5 до 2,5 въ Донецкихъ антрацитахъ), которое является и весьма постояннымъ (сравн. анализъ 1912 и 1914 гг.); соотвѣтственно съ этимъ и

выходъ горючихъ летучихъ веществъ высокъ (9—10% въ орган. части, вмѣсто 3—5% въ Донецкихъ). Но зато и содержаніе $O + N$ выше (до 4,3% вмѣсто 1%) и соотвѣтственно количество углерода ниже ($C = 92—93\%$ вмѣсто 97%).

Результатомъ послѣдняго обстоятельства является то, что несмотря на болѣе высокое содержаніе *H* *теплопроизводительность органической части* лишь та же, что и для Донецкихъ антрацитовъ ($Q^{opr} = 8200—8250^{cal}$).

Какъ-будто и здѣсь подтверждается, что повышение *H* уменьшаетъ механическую прочность антрацита, но въ огнѣ онъ при бывшихъ при опытахъ напряженіяхъ

рѣшетки (до $\frac{B}{R} = 166$ клг.) не особенно растрескивается (меньше, чѣмъ, напримѣръ, Хрустальскій, Чистяковскій).

Этимъ меньшимъ распаденіемъ въ огнѣ объясняется отчасти и то, что антрацитъ несмотря на весьма высокое *H* и соотвѣтственно болѣе высокую горючесть требуетъ болѣе толстаго слоя (около 90 м/м.), чѣмъ, напримѣръ, Хрустальскій.

Соотвѣтственно сравнительно большому выходу летучихъ получается уже и хорошо видимое пламя, которое хотя и достаточно еще прозрачно, но поднимается отъ рѣшетки на 2—2½ мтр., доходя до 4—6-го ряда трубъ.

Серы въ антрацитѣ *очень мало* (меньше 0,5%, вмѣсто 1,5—3%, въ Донецкихъ) и ея содержаніе также какъ-будто весьма постоянно.

Антрацитъ очень легко отдаетъ свою внѣшнюю *влагу*: послѣ сушки при 40—60° С. въ теченіе 20—25 часовъ въ топливѣ оставалось меньше 1% гигроскопической влаги.

Присланный для испытаній вагонъ антрацита оказался весьма *многозольнымъ* (14,2 до 19,4%), при чемъ въ отсыянной мелочи было обнаружено даже меньше золы, чѣмъ въ болѣе крупныхъ кускахъ ⁴⁾. Количество минеральныхъ примѣсей замѣтно увеличивается присутствіемъ большихъ кусковъ углистыхъ сланцевъ, которые при теперешней примитивной разработкѣ рудника не отбрасываются ⁵⁾. Такъ какъ эти куски въ мелочь не попадаютъ, то и золы въ ней оказывается меньше.

Балластъ въ нашихъ пробахъ Егоршинскаго антрацита, такимъ образомъ, доходилъ до 21,9—24,55% $= S + A + W = B$, соотвѣтственно чему и *теплопроизводительность рабочаго топлива* равняется всего 6170—

¹⁾ Въ Л. П. К. былъ доставленъ 1 вагонъ (1000 пудовъ) рядового антрацита съ Егоршинскаго рудника наслѣдниковъ П. П. Демидова князя Санъ-Донато. Такъ какъ Егорш. антрацитъ механически слабъ и былъ привезенъ съ рудника на лошадахъ до ст. Богдановичъ (ок. 70 верст.), подвергся цѣлому ряду перегрузокъ, то въ Лабораторію онъ попалъ уже сильно измелченнымъ. Весь антрацитъ былъ пропущенъ черезъ грохотъ $\frac{3}{4}''$, поставленный подъ угломъ въ 45°, при чемъ было получено около 300 пуд. антрацита изъ кусковъ 2" до $\frac{1}{2}''$ и съ примѣсью около 30% мелочи (мельче $\frac{1}{2}''$). Эти 300 пуд. и пошли на испытаніе 28 и 29 января. Испытаніе 30 января было произведено на отсыянной мелочи съ кусками не крупнѣе $\frac{1}{2}''$ и главной массой мельче $\frac{1}{4}''$. По виду послѣдній матеріалъ напоминаетъ то, что въ Донецкомъ районѣ принято называть сѣмязкомъ.

²⁾ Изслѣдованія произведены Н. Г. Падуковымъ.

³⁾ Результаты этого изслѣдованія любезно сообщены мнѣ инженеромъ Геквичемъ съ Пермской жел. дор., по инициативѣ которой производилось изслѣдованіе въ Цюрихѣ.

⁴⁾ Мелочь этого антрацита получается изъ разрушенныхъ крупныхъ кусковъ, пласты же сравнительно толсты, поэтому золы и не должно быть въ мелочи больше.

⁵⁾ Нужно думать, что при правильной организаціи разработки зольность значительно понизится.

Топливо:

Таблица I.

№ и время опыта.	Егоршинский антрацит ст. Богдановичъ (Уральск.).	Вода, выдѣлен-ная.		Абсолютно сухая проба.						Первоначальная проба (поступ. въ топку) рабочего топлива.										Орган. часть.				
		Прева-ри-тель-ная проба.	Л. хим. в. в. Л.	Орган. часть.		Влагасть.		Выходъ де-таль. горюч. веш.	Температура по вых. веш.	Органич. ч.		Влагасть.			Выходъ де-таль. горюч. веш.	Низш. тепло-произв. Q.		С ⁰	H ⁰	O+H ⁰	Низш. те-мпер. (°С).			
				C'	H'	O+N ₂	S'			A'	C.	H.	O+N ₂ (N=1,50%).	S		A	W					Всего E=S+A+W	По форм. Мелч. (N=1,5).	
E ¹ 28 I	2''—1/2'' мельч. мельч. 1/4'' около 30%.	4,6%	0,7	75,2	2,78	3,48	0,46	18,08	7,34	6860	71,2	2,65	3,3	0,45	17,1	5,3	22,85	7,0	6320	6350	92,3	3,4	4,3	8210
E ² 29 I	мельч. мельч. 1/4'' около 30%.	4,15 (43ч.—65%)	0,6	—	—	—	0,39	20,47	—	6667	—	—	—	0,35	19,4	4,8	24,55	—	6170	—	—	—	—	8200
E ³ 30 I/1913	Мелоч., меньше 1/4'' (отсыльное отъ крупнаго).	5,1 (21ч.—60%)	2,2	—	—	—	0,52	15,3	—	7113	—	—	—	0,50	14,2	7,2	21,9	—	6420	—	—	—	—	8250
Февр. 1912 г.	Проба, доставлен-ная въ лабора-торию проф. Шлеп-феръ-Цюрихъ.										При 50%	11,2		0,4				8,4			93,3	3,3	3,4 (N=1,5)	8250

6420^{cal}. Весьма близкія къ этимъ цифрамъ величины по-лучаются также путемъ подсчета по формулѣ Менделѣва.

Шлаки Егоршинскаго антрацита оказались совершенно исключительно тугоплавкими. Размягченіе ихъ начи-нается при температурѣ выше 1400° С. (Грушевскій I пласта 1280°, Боковскій около 1000°) и это необхо-димо признать его крупнымъ достоинствомъ.

Работа слоя характеризуется диаграммами сопроти-вления рѣшетки (фиг. 16 и 17), на которыхъ нанесены также кривыя нагрѣва рѣшетки.

Егоршинскій антрацитъ содержитъ уже до 10% го-рючихъ летучихъ веществъ, соотвѣтственно чему значи-тельно большая часть процесса тепловыдѣленія пере-носится изъ слоя въ топочное пространство, а черезъ слой проходитъ воздухъ, нужный для сжиганія этихъ летучихъ веществъ. Поэтому температура слоя должна быть ниже, чѣмъ даже при прочихъ равныхъ услови-яхъ при Донецкихъ антрацитахъ ¹⁾. Такъ какъ кромѣ того антрацитъ этотъ даетъ исключительно тугоплав-кую золу, то оказывается, что и при сухомъ дутьѣ на го-рячей рѣшеткѣ (но съ концентрированнымъ вводомъ возду-ха) шлакъ получается еще значительно болѣе пористымъ, чѣмъ даже при Грушевскомъ II пласта антрацитѣ а часть золы совершенно не плавится. Ноздреватая шлаковая масса не представляетъ никакого почти добавочнаго сопротивленія проходу воздуха, пока она не разру-шена, но такъ какъ она сравнительно слаба, то ее легко при перемѣшиваніи кочергой, при выемкѣ и пр. переломать и тогда на рѣшеткѣ получается плотный слой изъ мелкихъ кусковъ шлака, который уже представляетъ значительно большее сопротивленіе. Эти явленія легко прослѣдить на фиг. 15 и 16. До чистки сопротивленіе слоя почти не мѣнялось, во время чистки главная часть ноздреватой шлаковой массы была вынута, но сопроти-вленіе отъ этого не уменьшилось, а наоборотъ, рѣзко увеличилось, такъ какъ на рѣшеткѣ остался слой измель-чившагося при чисткѣ шлака; только по мѣрѣ постепен-наго свариванія части этой мелочи въ болѣе крупные шлаковые куски сопротивленіе опять начинаетъ падать.

Необходимость выемки шлака (чистки) ²⁾ вызвано здѣсь, понятно, не увеличеніемъ сопротивленія, а лишь слѣдую-щимъ обстоятельствомъ. Благодаря большой ноздреватости шлака, его слой занимаетъ очень большой объемъ, и осо-бенно при томъ большомъ золосодержаніи, которое имѣ-лось въ изслѣдованныхъ антрацитахъ. Поэтому уже послѣ сожженія на 1 mt.² 1100—1200 клгр. антрацита, т.-е. отложенія на немъ около 200 клгр. шлака уровень то-плива поднимался настолько высоко (выше середины дверки), что дальнѣйшая загрузка топлива дѣлалась невозможной ³⁾.

При еще болѣе глубокой топкѣ можно было бы ра-ботать свободно безъ промежуточной чистки.

Механическая слабость шлака, вызванная его туго-

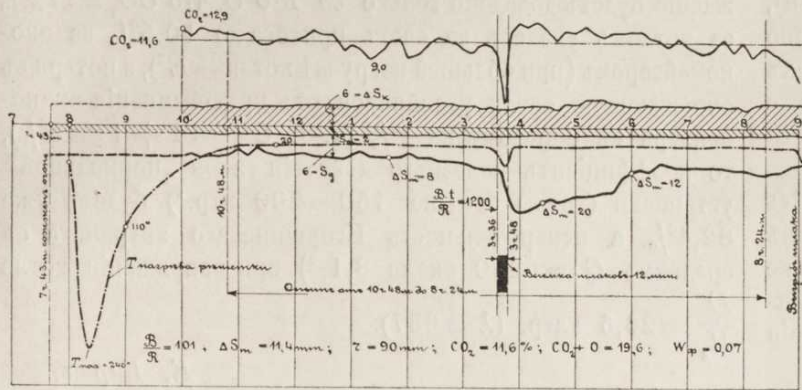
¹⁾ См. подробнѣе К. В. Киршъ—Сжиганіе антрацита и использо-ваніе его тепла въ котельной.

²⁾ Выемку оказалось необходимымъ произвести послѣ сожженія на 1 метр.² 1100—1200 клгр. антрацита, т.-е. отложенія на 1 метр. около 200 клгр. минеральныхъ примѣсей.

³⁾ Хотя уровень рѣшетки былъ установленъ на 250 м/м. ниже нижней рамы дверки, т.-е. сумарный слой доходилъ до 450 м/м.

плавкостью, такимъ образомъ, является отчасти даже недостаткомъ, съ которымъ, однако, можно бороться уменьшивъ нѣсколько прямую отдачу (понятно, въ предѣлахъ, не вызывающихъ еще ухудшенія общаго теплопоглощенія установки), и работая съ возможно малымъ избыткомъ воздуха, для чего необходимо развить топоч-

Диаграмма работы рѣшетки.



Богоритский (Уралеский) антрацитъ: 2'-1/2' + 30% мелочи

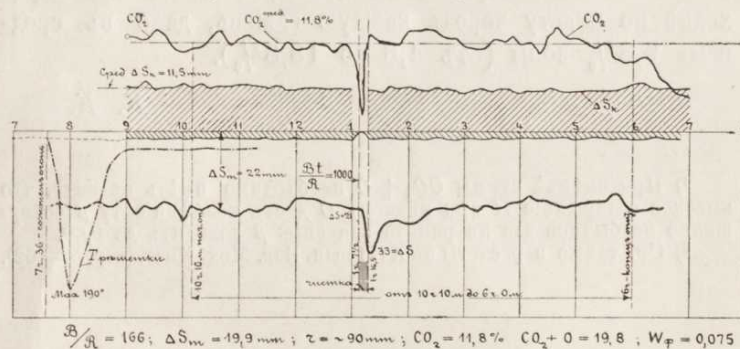
$A = 17.1\%$; $T_{\text{п. шлака}} > 1400^\circ\text{C}$. Рѣшетка горячая,

Опыт $\frac{E^1}{28 \text{ I. 1914}}$ Дутье - сухое.

Фиг. 16.

ное пространство. Нѣкоторое уменьшеніе прямой отдачи будетъ этому также способствовать. Здѣсь будетъ также умѣстно работать съ введеніемъ части воздуха непосредственно въ топочное пространство, минуя слой, а воздухъ можно будетъ вводить въ слой менѣе концентрировано,

Диаграмма работы рѣшетки.



Богоритский антрацитъ (2'-1/2' + 30% мелочи).

$A = 19.4\%$; $T_{\text{п. шлака}} > 1400^\circ\text{C}$. Рѣшетка горячая,

Опыт $\frac{E^2}{19 \text{ I. 1914}}$ Дутье - сухое.

Фиг. 17.

чѣмъ при Донецкихъ антрацитахъ (т.-е. разстоянія между воздушными отверстиями или щелями можетъ быть меньше). Совершенно недопустимо, понятно, пользование паровымъ дутьемъ.

Особенно сильно затрудняетъ чистку та часть минеральныхъ примѣсей, которая совершенно не плавится, а сохраняетъ форму сыпучаго пепла-песка. Нѣтъ никакой

возможности вытащить эту накалившую мелочь изъ топки отдѣльно отъ горячаго: приходится вытаскивать все, что лежитъ на рѣшѣткѣ. Вмѣстѣ съ тѣмъ покрывающій рѣшетку толстый слой золы рѣзко увеличиваетъ сопротивление. Это сказалось при испытаніи E^3 : сжигалась антрацитовая мелочь, шлака получалось очень мало и сопротивление въ среднемъ за опыты дошло до 63 м/м.

(вмѣсто 20 м/м. при большемъ $\frac{B}{R}$ но образованіи шлаковъ).

Кромѣ того, необходимо при сжиганіи такихъ многозольныхъ топливъ дѣлать часть рѣшетки опрокидной, чтобы можно было легко спускать въ достаточномъ просторномъ зольникѣ отбросы.

Быстрое образованіе пористаго, т.-е. хорошо теплоизолирующаго шлаковаго слоя предупреждаетъ сколько-нибудь замѣтный нагревъ рѣшетки, и даже

при маломъ напряженіи $\frac{B}{R} = 101$ клгр. максимальная температура рѣшетки оказалась всего 240° (стр. 30 полной таблицы результатовъ), а уже черезъ 3 часа работы рѣшетка совершенно остываетъ (30°).

Уносъ мелочи въ ходы въ опытахъ E^1 и E^2 , когда сжигались болѣе крупные куски, даже меньше чѣмъ при слабыхъ Донецкихъ антрацитахъ. Весь уносъ за 4 дня работы составлялъ около 1.4% всего сожженнаго за эти дни топлива, при чемъ горячаго въ этомъ уносѣ оказалось лишь около 50% (вмѣсто $70-80\%$ при Донецкихъ). Последнее обстоятельство объясняется болѣею горючестью топлива: вынесенныя изъ слоя частицы успѣваютъ выгорать въ топочномъ пространствѣ и въ первомъ ходѣ.

Но изъ-за включенной въ эти испытанія промежуточной чистки и вышеразобранной затруднительности отдѣленія горячаго отъ золы, потеря отъ „выреба и провала“ здѣсь больше, благодаря чему суммарная потеря отъ механической неполноты горѣнія также равна около 2% . Весь остаточный членъ колеблется около 9% ¹⁾ (стр. 55 + 56 полной таблицы), т.-е. потерю въ окружающую среду котломъ можно принять около 7% , какъ и въ опытахъ ноября-декабря мѣс. 1913 г.

При сжиганіи мелочи съ напряженіемъ рѣшетки $\frac{B}{R} = 143 \text{ kg/m}^2$ — 1 часъ уносъ значительно больше, а при промежуточной чисткѣ изъ топки вмѣстѣ съ золой и кусками шлака удаляется уже довольно много горячаго. Объясняется это, какъ уже было указано, невозможностью отдѣлять мелкій антрацитъ отъ мелкихъ кусковъ разбитаго шлака и сыпучей золы. Благодаря всему этому остаточный членъ при испытаніи E^3 оказался 12.1% , т.-е. сюда входитъ уже потеря отъ механической неполноты горѣнія около 5.1% ($12.1 - 7$).

Такіе мелкіе сорта антрацита необходимо сжигать при меньшихъ напряженіяхъ рѣшетки — около $110-120$

1) Точность опыта $\pm 1.2\%$.

к.г./мтр.² (это относится и къ мелочи Донецкихъ антрацитовъ), а для Егоршинской мелочи кромѣ того желательно *создать условія для болѣе сильнаго сплавления золы въ шлаки*, т.-е. необходимо искусственно повысить температуру слоя. Какъ уже было указано, для этого можно вводить воздухъ менѣе концентрированно въ слой, вводить часть воздуха непосредственно въ топочное пространство (при вертикальномъ отводѣ газовъ отъ рѣшетки—въ видѣ вдуваемой въ топочное пространство струи), перекрыть небольшую часть рѣшетки сводами (совершенно недопустимыми при Донецкихъ антрацитахъ, даже мелкихъ и многозольныхъ), которые будутъ способствовать также уменьшенію избытка воздуха и уменьшенію выноса въ хода горючаго.

Расходъ энергіи на вентиляторное дутье и здѣсь невеликъ: даже если считать расходъ на 1 *kwh* равнымъ 10 *kg* пара ($\lambda = 637^{cal}$), то расходъ энергіи на дутье не болѣе 1% и лишь при сжиганіи мелочи и слабымъ плавленіи золы, т.-е. вышеуказанномъ сильнымъ засореніи слоя сыпучей золой расходъ доходитъ до 1,7%.

Въ виду *большаго выхода летучихъ веществъ* и сравнительно стѣсненнаго топочнаго пространства оказалось правильнымъ вести работу топки *съ большимъ избыткомъ воздуха*, чѣмъ при южно-русскихъ антрацитахъ; въ концѣ котла $\alpha_k = 1,6$ ($CO_2 = \sim 12\%$). При этомъ удалось вести горѣніе при болѣе напряженіяхъ почти безъ химической неполноты горѣнія¹⁾.

При *оцѣнкѣ общаго использованія тепла* котломъ необходимо имѣть въ виду, что опыты велись съ небольшимъ котломъ при выключенномъ экономайзерѣ. Поверхности нагрѣва передъ началомъ опыта не обдувались.

Такимъ образомъ, коэффициенты полезнаго дѣйствія котла 73,9% и 70,7% и испарительности (при $\lambda = 637$) топлива 7,3 и 6,85 при напряженіяхъ поверхности нагрѣва

$\frac{D}{H} = 17,2$ и $26,5$ к.г./мтр.²—1 часъ относятся къ нормальному рабочему состоянію котла.

При болѣе крупныхъ, попарно установленныхъ (и

также правильно обмурованныхъ) котлахъ можно было бы считать потерю въ окружающую среду на 3% меньше, т.-е. коэффициенты полезнаго дѣйствія были бы 76,9 и 73,7%, а испарительности топлива около 7,6 и 7,15.

Наконецъ, въ *нормальной котельной установкѣ* газы не будутъ выпускаться непосредственно изъ котла, а *при соединеніи экономайзера* температура газовъ будетъ понижена до 180—120° C. Если допустить, что это охлажденіе будетъ доведено только до 180° C, что $CO_2 = 12\%$ за котломъ упадетъ за счетъ присоса до 10,5% за экономайзеромъ (при болѣе напрузкѣ котла— E^2), а потеря въ окружающую среду увеличится отъ присоединенія экономайзера съ боровомъ на 1% (т.-е. $Q_v = 4 + 1 = 5\%$), то коэффициентъ полезнаго дѣйствія такой „нормальной“ установки (котлы больше 150—200 мтр.²) будетъ уже 82,4%, а испарительность Егоршинскаго антрацита съ среднимъ $Q = 6250$ около 8,1²⁾ при напряженіи котла $\frac{D}{H_k} = 26,5$ к.г. ($\lambda = 637$).

К. Кириш.

Москва, 8 февраля 1914 г.

Примѣчаніе. Пласть, изъ котораго взять изслѣдованный нами вагонъ, лежитъ на глубинѣ около 20 саж. и имѣетъ толщину отъ 2 до 4 аршинъ. Въ пластѣ имѣются 2 постоянныхъ прослойка углистаго сланца, мощностью въ 8—10 вершковъ и 2—6 вершковъ. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ попадаются даже три прослойка. Отъ тщательности отбора этого сланца, весьма похожаго по внѣшнему виду на самый антрацитъ, зависитъ его зольность. Полученныя нами цифры, повидимому, относятся къ мало сортированному антрациту.

По сообщенію Управленія Егоршинскими копями изслѣдованіе 15 генеральныхъ пробъ, взятыхъ при проходкѣ по пласту черезъ каждую сажень, дало въ среднемъ 9,8% золы (отъ 4,8 до 18,8%).

К. К.

¹⁾ При оцѣнкѣ суммы $CO_2 + O$ необходимо имѣть въ виду, что высокое содержаніе H при низкомъ C даетъ коэффициенту β совершенно необычное для антрацита значеніе: β доходитъ до 0,09.

²⁾ См. также пересчеты въ XIII вып. Изв. Мех. Инст. (стр. 57—62).

Табл. II.

Полная таблица результатов излѣдованій Егоршинскаго (Ураль) антрацита подѣ водотрубнымъ котломъ $H_k = 60 \text{ mt}^2$, $H_{ne} = 23 \text{ mt}^2$; январь 1914 г. Горячая рѣшетка съ сухимъ (вентиляторнымъ), дутьемъ $R = 1,4 \text{ mt}^2$.
Средняя высота топочнаго пространства = 1500 м/м.

I. Наблюденныя величины:

1	Топливо.	Названіе и виѣшняя характеристика.		Егоршинскій (Ураль) антрацитъ.		
		Низшая теплопроизводительность	Q	2" — 1/2" + 30% мелочи.		мелочь < 1/4".
				6320	6170	6420
		Содержаніе:	сѣры S зола A воды W балласта B = S + A + W	0,45 17,1 5,3 22,85	0,35 19,4 4,8 24,55	0,5 14,8 7,2 21,9
2	№ и время производства испытанія			28.1 У.Е ¹	29.1 У.Е ²	30.1 У.Е ³
3	Продолжительность опыта при установившемся состояніи час. " всей рабочей смѣны			9,6 13,85	7,83 11,1	7,00 —
4	Топка раст. плена до начала опыта за час.			3,1	2,6	1,25
5	Давленіе пара при началѣ растопки и продолжительность растопки до P _k = 12 ат. . ат. час.			5,3 0,55	5,5 0,4	10,8 0,1
6	Расходованіе пара прекращено по окончаніи опыта черезъ час.			1,15	0,67	—
7	Давленіе пара въ котлѣ при прекращеніи расходованія и на другое утро (черезъ 12 час.) (при приблизит. одинак. уровнѣ воды) ат.			3,3 5,5	10,3 —	— —
8	Загружено въ топку топлива до начала опыта. Послѣ опыта новаго топлива въ топку уже не загружалось.	Дровъ (kg. соотв. кол. угля.)		30	30	30
		Спекающагося угля kg.		30	30	30
		Антрацита kg.		650	700	300
		Всего kg.		710	760	360
9	Обратно вынута изъ топки чистаго топлива (на другое утро) kg.			27	30	—
10	Всего сожжено до и послѣ опыта kg.			683	730	360
11	Сожжено за время опыта kg.			1360	1820	1400
12	Всего сожжено за смѣну kg.			2043	2550	—
13	Всего сожжено за смѣну съ одной выемной шлана на 1 m ² kg.			1460	1820	—
14	Длительность промежуточной выемки шлака (чистка) мин.			12 м.	11 м.	16 м.
15	Число загрузокъ въ 1 часъ			13,1	9,8	12,3
	Вѣсъ загрузки kg.			11,8	23,6	18,2
	Средняя продолжительность ея (за опытъ) sec.			9,5	11,5	12,4
16	Всего за смѣну вынута изъ топки сверху (выгребъ) снизу (проваль) } шлака, золы и угля kg.			345 20	466 35	292 20
17	Общее количество выгреба и провала въ kg. въ % сожженнаго топлива			365 17,9%	501 19,7	312 17,7
18	Испарено воды до опыта и послѣ опыта kg.			3380	3575	—

19	Испарено воды за опытъ kg.	8645	10425	8090	
20	Испарено воды за смѣну kg.	12025	14000	—	
21	За періодъ опыта съ установившимся состояніемъ.	Средняя температура питательной воды t_1 °C.	38	32	34
		„ „ перегрѣва $t_{не}$ °C.	368	408	407
		Среднее давленіе пара at.	12,2	12,4	12,2
		Средняя температура топочнаго пространства T_m .	1100	1180	—
		„ „ передъ перегрѣвателемъ $T' 1/2$.	625	775	740
		„ „ за перегрѣвателемъ $T'' 1/2$.	425	495	498
		„ „ за котломъ T_k .	290	365	340
		CO_2 и $CO_2 + O$ за котломъ	11,6 19,6	11,8 19,8	11,6 19,6
		Среднее давленіе подъ рѣшеткой S_g въ м/м в. ст.	9,4	18,0	61
		25	Среднее разрѣженіе въ топочномъ пространствѣ S_m м/м в. ст.	2,0	1,9
26	Среднее сопротивленіе ходовъ котла и перегрѣвателя ΔS_k м/м в. ст.	6,0	11,5	9,2	
27	Расходъ энергій на электромоторъ вентилятора kw.	1,0	1,75	2,3	
28	Средняя температура воздуха около котла (по 8 точкамъ) °C.	31,5	32	28,5	
29	Средняя температура воздуха при входѣ въ топку (въ вентил.) °C.	18	20	22	
30	Максимальная температура нагрѣва рѣшетки черезъ час. отъ зажиганія огня °C. час.	240 черезъ 0,7 ч.	190 0,45 ч.	90 0,5 ч.	
31	Температура задняго элемента упала до... °C черезъ 3 часа послѣ начала растопки . . .	30	20	—	

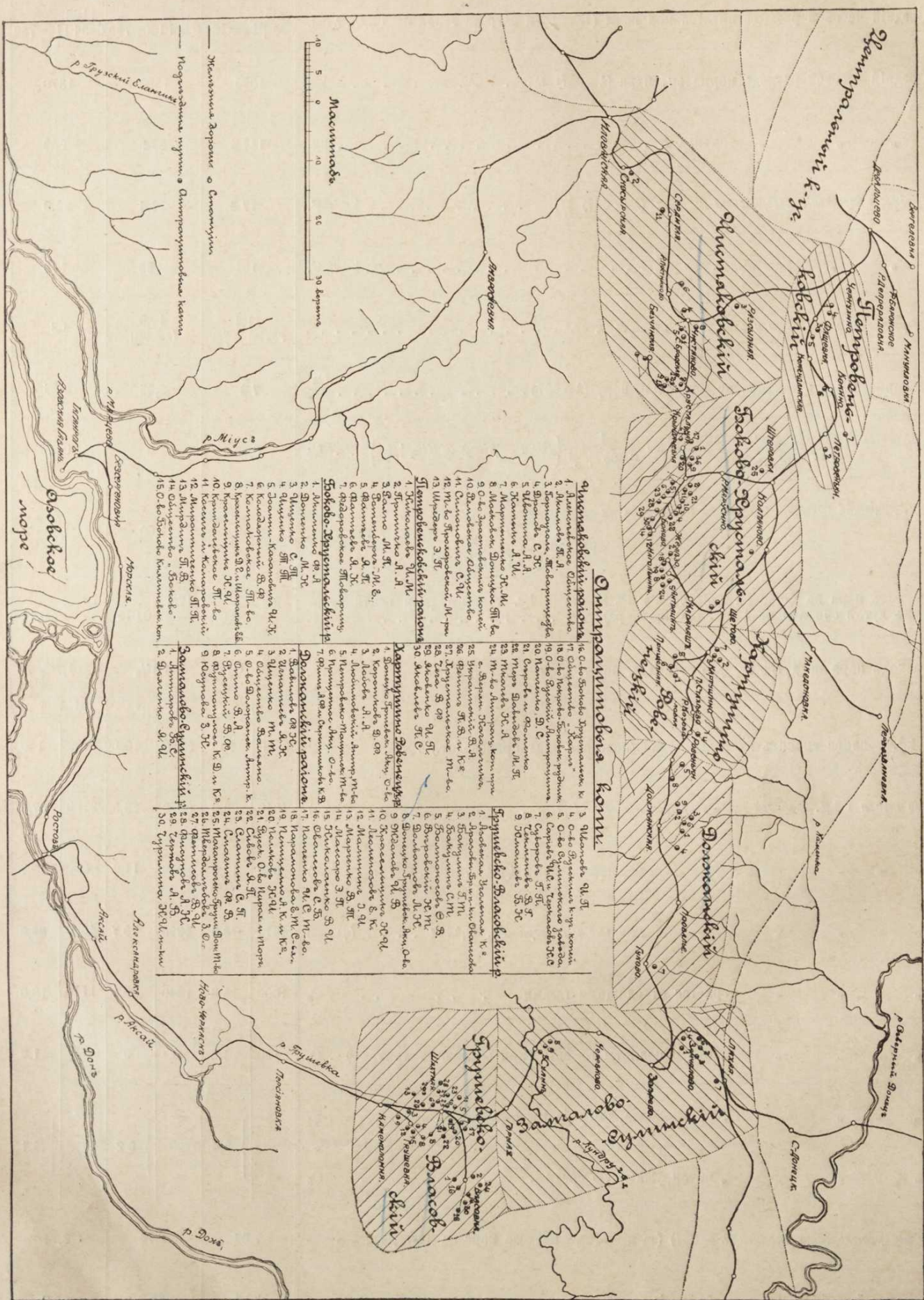
II. Анализъ результатовъ изслѣдованій.

32	За всю смѣну, начиная съ разжиганія огня въ топкѣ и кончая закрыт. парораспред. вентиля.	Средній часовой расходъ питательной воды (пара) и затрата тепла на 1 kg. пара λ col. kg.	870 727	1260 755	— —
33		Средній часовой расходъ нормального пара ($\lambda = 637$) D_n kg.	995	1500	—
34		Средній часовой расходъ топлива B kg.	148	230	—
35		Среднее напряженіе поверхности нагрѣва ($\lambda = 637$) $\frac{D_n}{H_k}$ kg/mt ² .	16,6	25	—
36		„ „ рѣшетки топки $\frac{B}{R}$ kg/mt ² .	106	164	—
37		Испарительность топлива по нормальному пару ($\lambda = 637$) $\frac{D_n}{B}$	6,75	6,50	—

38	За опыты съ установленнымъ состояніемъ.	Средній часовой расходъ питательной воды ($W=D$) и затрата тепла на 1 kg. . λ cal.	905 629+98=727	1340 635+120=755	1160 633+119=752			
39		Средній часовой расходъ нормальн. пара ($\lambda=637$) D_n kg.	1035	1590	1370			
40		” ” ” топлива B kg.	141,5	232	200			
41		Среднее напряженіе поверхности нагрева ($\lambda=637$) $\frac{D_n}{H_k}$ kg./mt ² .	17,2	26,5	22,8			
42		” ” рѣшетки топки $\frac{B}{R}$ kg./mt ² .	101	166	143			
43		Сопротивленіе рѣшетки и слоя ΔS_m въ м/м в. ст.	11,4 $r=90$ м/м	19,9 ($r=90$)	63			
44		Испарительность топлива по нормальн. пару ($\lambda=637$) $\frac{D_n}{B}$	7,3	6,85	6,85			
45		Содержаніе въ отходящ. газахъ $CO = \frac{1}{0,605 + \beta} \{ (20,9 - \beta CO_2) - (CO_2 + 0) \}$. . %	0,35	0	0,35			
46		Коэффициентъ избытка воздуха за котломъ $\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{0 - CO}{100 - CO_2 - CO - 0}}$	1,59	1,60	1,59			
47		Расходъ пара на дутье въ kg./1 часъ и въ kg./на 1 kg. топлива (при вентиляторномъ дутьѣ считано на 1 kw.—10 kg. пара)	10 0,07	17,5 0,075	23 0,11			
48	Расходъ пара на дутье въ % отъ получ. норм. пара	0,97%	1,1%	1,7%				
49	Балансъ тепла.	1 kg. топлива вноситъ въ топку тепла (полезная теплопроизводит.) Q	cal. 6320	% 100	cal. 6170	% 100	cal. 6420	% 100
50		Изъ тепла 1 kg. топлива утилизируется котломъ Q_1^k (η_k)	4040	63,9	3670	59,5	3700	57,3
51		” ”						

Стопанское распределение

Сто двадцатью девятымъ Государственнымъ и Императорскимъ Ездикомъ.



ВЫШЛИ ИЗЪ ПЕЧАТИ СЛѢДУЮЩЕ ВЫПУСКИ

Извѣстій Механическаго Института.

- Вып. I. **К. В. Киршъ.** Общія указанія относительно постановки занятій въ П. Л. Процессъ растопки холоднаго котла. Тепловое состояніе и теплосодержаніе котла. Сравнительныя изслѣдованія котловъ при установившемся тепловомъ состояніи. (Распроданъ. См. Бюл. П. О. 1904 г. № 5).
- Вып. II. **В. И. Гриневецкій.** Графическій расчетъ парового котла. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. III. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе паровой установки Фриновской шерст. фабрики. Работа локомобильнаго котла П. Л. при новой нефтяной топкѣ. (Распроданъ. См. Бюл. П. О. 1906 г. № 6).
- Вып. IV. **И. А. Калининъ.** Изслѣдованіе причинъ разрыва парового котла. Испытаніе желѣзо-бетонныхъ брусьевъ. Испытаніе на разрывъ образцовъ съ выточкой или загибомъ. Вліяніе скручиванія литого желѣза на его механическія свойства. Испытаніе литейнаго и ковкаго чугуна. Упругость приводныхъ ремней. Экстензометръ для ремней. Дефлектометръ. На какую глубину слѣдуетъ ввертывать желѣзную шпильку въ чугунъ. Цѣна 1 руб.
- Вып. V. **Студ. А. И. Ставровскій.** Испытаніе форсунокъ. (Распроданъ. См. Бюл. П. О. 1907 г. № 5).
- Вып. VI. **К. В. Киршъ.** Опыты съ корнвалійскимъ и водотрубнымъ котломъ Л. П. К. при нефтяномъ отопленіи. Изслѣдованіе котельной центральной станціи московскаго трамвая. Распроданъ.
К. В. Киршъ и И. И. Куколевскій. Изслѣдованіе паровоэлектрической установки центральной станціи И. М. Т. У. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. VII. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе установки изъ корнвалійскаго котла, перегрѣвателя и жел. экономайзера при могомъ дѣйствіи при нефтяномъ отопленіи и напряженияхъ до 51 kg/cm^2 —1 часъ. Комбинированный котель Л. П. К. и опыты съ нимъ. Къ вопросу о теплопередачѣ въ паровыхъ котлахъ. Распроданъ. Цѣна 1 руб.
- Вып. VIII. **И. А. Калининъ.** Экспериментальное изслѣдованіе раструбныхъ соединеній вырыванію. Химическіе составы и механическія свойства чугуновъ московскихъ литейныхъ заводовъ. Крѣпость заклепочныхъ въ чугунныхъ деталяхъ. Вліяніе на результаты испытанія формы поперечнаго сѣченія чугунныхъ брусковъ, изъ которыхъ вытачиваются нормальные образцы для разрыва.
Студ. Б. М. Лампси. Испытаніе смазочныхъ маселъ. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. IX. **И. А. Калининъ.** Экспериментальное изслѣдованіе раструбныхъ соединеній (сопротивленіе вырыванію). Цѣна 50 коп.
- Вып. X. **И. А. Калининъ и В. Ф. Раздорскій.** Матеріалы къ ученію о механическихъ свойствахъ растеній. Цѣна 1 руб. 50 коп.
- Вып. XI. **И. В. Арбатскій.** Вліяніе лучеислучанія на показаніе пирометровъ (Einfluss der Strahlung auf Pyrometeranzeigen. Опогрѣбностяхъ при измѣреніи температуръ при помощи термоэлемента и гальванометра (Ueber Fehler bei thermoelektrischen Temperaturmessungen). Цѣна 50 коп.
- Вып. XII. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе корнвалійскаго, комбинированнаго и водотрубнаго котловъ Л. П. К. въ комбинаціи съ ребристымъ экономайзеромъ при напряженияхъ до 55 kg/cm^2 въ часъ. Versuche am Einflamrohr—Continierten und Wasserrohrkessel des D. K. L. in Verbindung mit einem Rippenrohrconomiser. Kesselbelastungen bis 55 kg/cm^2 pro Stunde). Водотрубный котель Л. П. К. съ вертикальными ходами и перегрѣвателемъ. (Versuche am Wasserrohrkessel des D. K. L. bei vertikalen Zügen und mit Ueberhitzer). Изслѣдованіе ребристаго экономайзера сист. „Р. Каблицъ“. (Versuche am Rippenrohrconomiser Syst. „R. Kablitz“). Цѣна 1 руб. 50 коп.
- Вып. XIII. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе южно-русскихъ антрацитовъ. (C. Kirsch. Versuche mit südrussischen Anthraziten). Цѣна 2 руб.
- Вып. XIV. **В. И. Ясинскій.** Къ вопросу о діафрагменномъ измѣреніи расхода пара. (W. I. Jasinsky Zur Frage der Diaphragmenmessung von Dampferbrauch). Цѣна 1 руб. 50 коп.
- Вып. XV. Цѣна 1 руб. 50 коп.

Кромѣ того, брошюра **И. В. Арбатскій.** — Руководство къ обращенію съ приборомъ Ореа.

Цѣна 50 коп.