

Д-ръ I. ЗЕЙФАРТЬ.

# КОНТРОЛЬ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

—) И (—

## ИЗВЕСТКОВО-ОБЖИГАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

на основаніи газометрическихъ, калориметрическихъ и т. п. изслѣдованій.

### РУКОВОДСТВО

для инженеровъ, техниковъ, химиковъ и для техническихъ учебныхъ заведеній.

Съ 33-мя рисунками въ текстѣ.

Подъ редакціей проф. А. П. Лидова  
со II нѣмец. изданія пер. инж.-техн. М. И. Кузнецовъ.

Цѣна 1 р. 60 к.

Изданіе К. А. Казначеева.

МОСКВА.

Тип. К. А. Казначеева. Долгоруковская ул., д. № 71.

1904.

# ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИКЪ

И ВѢСТНИКЪ ПРОМЫШЛЕННОСТИ,

ежемесячный журналъ новостей, открытій, изобрѣтеній и усовершенствованій по *всѣмъ* отраслямъ техники и промышленности.

(15-й годъ изданія).

Фабриканты, заводчики и техники найдутъ въ журналѣ много полезныхъ и необходимыхъ для нихъ свѣдѣній практическаго характера.

—> Имѣя въ виду многообразныя нужды русской промышленности и торговли, а также различные вопросы и явленія современной жизни въ этой обширной области труда, редакция отводитъ на страницахъ журнала надлежащее вниманіе и мѣсто статьямъ соответствующаго характера.

==== Задавшись цѣлью служить интересамъ фабрично-заводской техники и промышленности, редакция постоянно даетъ въ журналѣ въ видѣ разнообразнѣйшихъ статей и замѣтокъ обильный и полезный матеріалъ по *всѣмъ* отдѣламъ его обширной программы.

==== Въ программу журнала входятъ: машиностроеніе и механическое дѣло, механическая и химическая технология, желѣзнодорожное дѣло, архитектура, инженерное и строительное искусства, электротехника, техническое образованіе, обзоръ дѣятельности торгово-промышленныхъ учреждений и техническихъ обществъ, біографіи выдающихся дѣятелей техники и промышленности, критика и бібліографія; смѣсь: замѣтки о новостяхъ техники и промышленности, разныя мелкія извѣстія и т. д.; торговая и статистическая свѣдѣнія, данныя о спросѣ и предложеніи, правительственныя распоряженія.—Приложенія: сочиненія по разнымъ отраслямъ техники, чертежи и пр.

✠ Журналъ одобренъ Министерствомъ Народнаго Просвѣщенія. ✠

16 руб. въ годъ съ пересылкой и доставкой,  
за 1/2 года 9 руб.

Адресъ редакціи: Москва, Долгоруковская ул., д. № 71.

Редакторъ-Издатель Учен. Инж.-Мех. К. А. Казначеевъ.

Д-ръ I. ЗЕЙФФАРТЪ.

# КОНТРОЛЬ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

-) и (-

## ИЗВЕСТКОВО-ОБЖИГАТЕЛЬНЫХЪ ПЕЧЕЙ

*на основаніи газометрическихъ, калориметрическихъ и т. п. изслѣдованій.*

### РУКОВОДСТВО

для инженеровъ, техниковъ, химиковъ и для техническихъ учебныхъ заведеній.

Съ 33-мя рисунками въ текстѣ.

*Подъ редакціей проф. А. П. Лидова.  
со II тѣмц. изданія пер. инж.-техн. М. И. Кузнецовъ.*

Цѣна 1 р. 60 к.

*Изданіе К. А. Казначеева.*

МОСКВА.

Тип. Б. А. Казначеева, Долгоруковская ул., д. № 71.

1904.

Дозволено цензурою. Москва, сентябрь 1904 г.

## Предисловіе къ первому изданію.

Безъ сомнѣнія никто не можетъ лучше оцѣнить пригодность метода, какъ тотъ, кто постоянно примѣняетъ его. Само собой понятно, что при употребленіи приборовъ пріобрѣтается навыкъ, который въ значительной степени увеличиваетъ достижимую точность. Поэтому я очень радъ, что д-ръ I. Зейффартъ выбралъ изъ моихъ газо-аналитическихъ методовъ тѣ, которые имѣютъ значеніе для сахарной промышленности и вообще для техниковъ.

Описаніе во всѣхъ пунктахъ чрезвычайно аккуратно и дополнено рядомъ практическихъ предложеній и изслѣдованій, такъ что я убѣжденъ, что появленіе этого труда будетъ очень желательно для каждаго техника, имѣющаго дѣло съ топками.

**Д-ръ Вальтеръ Гемпель.**

Дрезденъ.

---

## Предисловіе ко второму изданію.

Первое изданіе этой книги противъ ожиданія разошлось въ теченіе года. Если я почти четыре года не приступалъ ко второму изданію, то во-первыхъ потому, что предполагалъ, что потребность въ подобной книгѣ была на долго удовлетво-

рена первымъ изданіемъ, во-вторыхъ потому, что хотѣлъ дополнить книгу нѣкоторыми новостями, только что появившимися въ трактуемой области и нуждавшимся въ практической провѣркѣ.

Наконецъ, второе изданіе задержалось и вслѣдствіе причинъ, носящихъ личный характеръ, напр. вслѣдствіе недостатка времени и нездоровья.

Значительному расширенію, а надѣюсь, также и улучшенію этого сочиненія въ этомъ второмъ изданіи много содѣйствовалъ мой ассистентъ д-ръ Штраусъ, за что и приношу ему мою сердечную благодарность. Имъ описаны химическія и калориметрическія изслѣдованія въ новой X главѣ о контролѣ известковыхъ печей.

Новая глава: „Дымовая труба и ея дѣйствіе въ связи съ топкой“ является слѣдствіемъ критики перваго изданія и можетъ быть очень полезна для многихъ; она заимствована главнымъ образомъ изъ сочиненія проф. Ж. Ланге: „Der Schornsteinbau“.

Я хочу еще выразить пожеланіе, чтобы второе изданіе моего труда было хорошо принято, какъ со стороны людей уже знакомыхъ съ книгой, такъ и со стороны новыхъ читателей, и считаю себя въ правѣ обѣщать, что оно оправдаетъ справедливыя ожиданія.

**Д-ръ I. Зейффартъ.**

Вейссеръ Гиршъ около Дрездена,  
въ ноябрѣ 1903 г.

---

## В в е д е н і е.

Послѣ появленія приборовъ Гемпеля автора этого сочиненія неоднократно просили въ нѣкоторыхъ собраніяхъ техниковъ и химиковъ сахарной промышленности указать по каталогу механика Лейнера въ Дрезденѣ приборы, примѣнимые въ лабораторіи сахарнаго завода, а иногда также просили сообщать и объ отдѣльныхъ примѣненіяхъ ихъ.

Поэтому первоначальная цѣль при составленіи настоящей книги заключалась въ выполненіи этихъ желаній, и авторъ имѣлъ въ виду въ сущности только описаніе приборовъ наиболѣе употребительныхъ на сахарныхъ заводахъ и способовъ пользованія ими, обращая вниманіе на детали, съ которыми въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ быть трудно справиться и которыя иногда описываются не вполне правильно.

Но когда возьмешья серьезно за какой-нибудь вопросъ, то по большей части поле зрѣнія мало-по-малу расширяется и кажется, что слѣдуетъ обратить вниманіе еще и на то и на другое. Такъ, пер-

вое издание этой книги состояло изъ описанія приборовъ Гемпеля и ихъ употребленія и должно было служить для научнаго уясненія и практическаго контроля работы котельныхъ топокъ и известковыхъ печей.

Книга неожиданно нашла себѣ хорошій приемъ и благосклонная въ остальномъ критика указала, какъ на недостатокъ, только на поверхностное объясненіе значенія измѣренія силы тяги и притомъ обратила вниманіе на важность правильныхъ размѣровъ дымоходовъ и трубы. Все это повело къ дальнѣйшему расширенію содержанія книги, какъ уже упомянуто въ предисловіи.

Согласно первоначальному плану, предлагаемая книга содержитъ прежде всего точное описаніе всѣхъ подробностей анализа топочныхъ и сатураціоннаго газовъ по методу Гемпеля, особенно въ примѣненіи къ свеклосахарному производству; такъ что даже и мало опытный въ этомъ дѣлѣ можетъ увѣренно и точно работать, руководствуясь этой книгой. Имѣя въ виду послѣднее обстоятельство, описаніе манипуляцій во многихъ мѣстахъ должно быть изложено еще подробнѣе, чѣмъ въ руководствѣ Гемпеля, предназначенномъ для опытныхъ химиковъ. Поэтому я прошу любезнаго снисхожденія за полноту изложенія, которая нѣкоторымъ можетъ показаться излишнею.

Несмотря на то, что эта книга теперь значительно расширена и пополнена описаніемъ многихъ

приборовъ, имѣющихъ примѣненіе при контролѣ топокъ и известковыхъ печей, въ ней описаны не всѣ конструированные и примѣняемые для этой цѣли приборы, такъ, напримѣръ, не описанъ очень употребительный приборъ Орса; причина этого заключается въ томъ, что по опытамъ автора методъ Гемпеля имѣетъ преимущество передъ всѣми известными методами технического газового анализа, отличаясь при простотѣ употребляемыхъ аппаратовъ наибольшей точностью.

Приборъ Гемпеля состоитъ главнымъ образомъ изъ бюретки для измѣренія газа и изъ нѣсколькихъ очень простыхъ бюретокъ для поглощенія, изъ которыхъ въ соединеніи съ газовой бюреткой находится всегда только одна, служащая для поглощенія той составной части газа, которую хотятъ опредѣлить. Въ этомъ заключается существенное преимущество этого прибора передъ другими аппаратами для изслѣдованія газовъ, въ которыхъ различные поглотительные сосуды соединены между собою, причемъ неизбежно примѣненіе большаго числа стеклянныхъ крановъ или каучуковъ съ зажимами, благодаря чему съ одной стороны до нѣкоторой степени уменьшается точность, съ другой стороны цѣнный приборъ легко подвергается опасности быть разбитымъ.

Аппаратъ Адось для непрерывнаго изслѣдованія газа, несмотря на свою сложность и дороговизну, по мнѣнію автора всетаки долженъ быть описанъ,

такъ какъ непрерывность анализа газа и автоматическая запись содержанія углекислоты являются очень важными преимуществами его.

Способъ анализа газовъ посредствомъ прибора д-ра Гемпеля кратко и ясно описанъ въ его извѣстномъ руководствѣ «Gasanalytische Methoden» и притомъ для всѣхъ встрѣчающихся въ технику газовъ съ указаніемъ предѣловъ погрѣшностей и съ многочисленными примѣрами анализовъ. Для наблюдающаго за работой паровыхъ котловъ или для химика сахарнаго завода, желающаго познакомиться съ необходимыми для контроля способами изслѣдованія топочнаго или сатураціоннаго газа, сочиненіе Гемпеля было бы однако слишкомъ обширно, кромѣ того эта книга, конечно, не останавливается на нѣкоторыхъ особенностяхъ, имѣющихъ мѣсто при контролѣ топокъ паровыхъ котловъ или известковыхъ печей. Для химиковъ и техниковъ предлагаемая книга не будетъ лишнею на ряду съ сочиненіемъ Гемпеля, такъ какъ она содержитъ кромѣ методовъ калориметрическаго опредѣленія теплотворной способности, также подробное описаніе химическаго контроля известковыхъ печей и подробно разсматриваетъ зависимость размѣровъ дымовой трубы и топки.

Всѣ описываемые здѣсь методы изслѣдованія и аппараты были испытаны мною лично, такъ что я имѣлъ возможность убѣдиться въ ихъ достоинствахъ и недостаткахъ, почему приводимое мною описаніе заслуживаетъ нѣкотораго довѣрія.

---

## I.

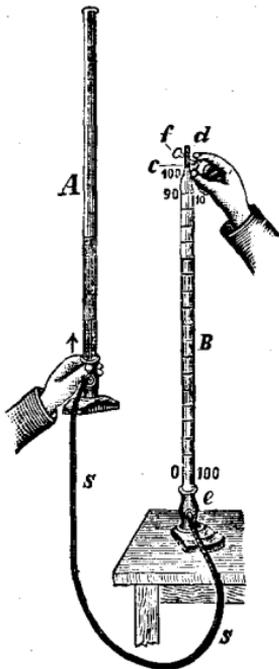
### Взятіе пробы и отміриваніе газовой смѣси.

Если изслѣдуемый газъ находится подъ давленіемъ, какъ это имѣеть мѣсто въ трубахъ, проводящихъ сатураціонный газъ въ сахарныхъ заводахъ, то *взятіе пробы* просто; тогда газъ можно перевести прямо въ приборъ для изслѣдованія, всего удобнѣе конечно, если въ лабораторію проведено отвѣтвленіе газовой трубы. Въ случаѣ, если такого приспособленія нѣтъ и приходится брать газъ внѣ лабораторіи, въ заводѣ, то набираютъ газъ непосредственно въ газовую бюретку, но не употребляютъ для наполненія и переноса въ лабораторію каучуковаго мѣшка, такъ какъ вулканизированный каучукъ подобно жидкостямъ съ различной силой поглощаетъ отдѣльныя составныя части газовой смѣси и опять выдѣляетъ ихъ при уменьшеніи давленія. Поэтому слѣдуетъ также по возможности избѣгать длинныхъ каучуковыхъ трубокъ для проведенія газа.

Если испытываемая газовая смѣсь находится подъ давленіемъ меньшимъ атмосфернаго, какъ напр. топочные газы въ дымоходахъ или еще болѣе сатураціонный газъ въ сосущей трубѣ между известковой печью и газовымъ насосомъ, то для наби-

равня пробы газа необходимо употреблять аспираторъ; VIII, IX и XI главы описываютъ подробно этотъ случай взятія пробы.

Для набирания и отмѣриванія газа по методу Гемпеля служитъ простая газовая бюретка, изображенная на фиг. 1. Она состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ вертикальныхъ трубокъ длиною въ 120 сант.: одна



Фиг. 1.

простая трубка *A*, другая трубка *B* въ 100 куб. сант. емкостью съ дѣленіями въ  $\frac{1}{10}$  куб. сант., нумерованными вверхъ и внизъ; каждая трубка укрѣплена въ тяжелой желѣзной подставкѣ; изъ каждой подставки сбоку выступаетъ вытянутая на концѣ трубка. Обѣ эти трубки соединены между собою длиннымъ каучукомъ *S*. Измѣрительная трубка *B* или собственно бюретка вытянута кверху въ узенькую толстостѣнную трубку *c* въ 1 миллим. діаметромъ, которая плотно закрывается лучшимъ толстымъ каучукомъ *d* въ  $2\frac{1}{2}$  миллим. діаметромъ и зажимомъ Моора *f* непосредственно у конца трубки *c*.

Нижнее дѣленіе 0 или 100 лежитъ приблизительно на 2 сантим. выше желѣзной подставки, тогда какъ верхнее дѣленіе 0 или 100 лежитъ въ

капиллярѣ и считается заполненнымъ, когда жидкость при поднятіи почти достигла каучука  $d$ .

Маленькое уклоненіе, происходящее вслѣдствіе не совершенно плотнаго прилеганія зажима  $f$  къ верхнему концу трубки  $c$ , соотвѣтствуетъ лишь очень незначительной разности объемовъ, которая не составляетъ даже  $\frac{1}{10}$  кубическаго сантиметра; но всетаки слѣдуетъ стараться, чтобы зажимъ возможно плотнѣе прилегалъ къ концу трубки.

Въ трубку  $A$ , которая называется *уравнительной* или *напорной трубкой*, предварительно наливають дистиллированную воду, до тѣхъ поръ пока обѣ трубки не наполнятся водою до половины; тогда поднятіемъ и опусканіемъ трубокъ при открытомъ зажимѣ выгоняють изъ каучуковой трубки весь воздухъ, затѣмъ при открытомъ еще зажимѣ держать напорную трубку  $A$  на такой высотѣ, что бюретка  $B$  совершенно наполняется водою, тогда закрываютъ зажимъ  $f$  и уровень воды въ напорной трубкѣ долженъ стоять приблизительно на 2 — 3 сантим. выше желѣзной подставки, въ которой укрѣплена напорная трубка.

*Наполненіе бюретки газомъ производятъ*, заставляя его втекать подъ давленіемъ въ наполненную водою трубку; при анализѣ сатураціоннаго газа, всего лучше пользоваться давленіемъ насоса для углекислоты, при употребленіи аспиратора для набіранія топочныхъ газовъ изъ борова или изъ дымоходовъ нужное давленіе получаютъ, ставя выше сосущую стклянку аспиратора (см. главу VIII).

Каучукъ, приводящій газъ къ измѣрительной трубкѣ *B*, снабжается на концѣ толстостѣнной капиллярной трубкой, конецъ которой долженъ имѣть приблизительно такой же діаметръ, какъ и конецъ *c* измѣрительной трубки *B*, чтобы при введеніи его въ каучукъ *d* онъ не растягивалъ его напрасно и при частомъ употребленіи каучукъ не пропускалъ бы воздуха.

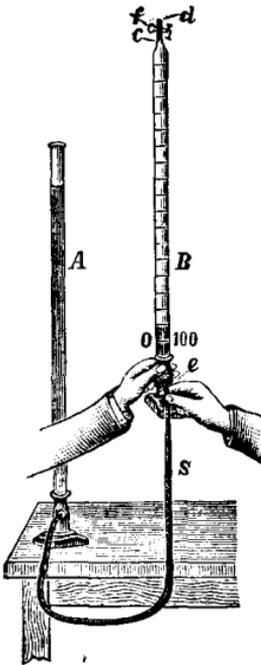
Прежде чѣмъ приступить къ набиранию газа, измѣрительную трубку *B* наполняютъ водою до появленія капли поверхъ каучука *d*, что достигается просто поднятіемъ напорной трубки *A*, затѣмъ закрываютъ зажимъ *f* и ставятъ уравнительную трубку *A* на такой высотѣ, чтобы уровень воды въ ней былъ во всякомъ случаѣ выше отверстия *d*; этого проще всего можно достигъ, ставя трубку *B* на полъ, тогда какъ *A* остается на рабочемъ столѣ. Между тѣмъ передъ соединеніемъ стекляннаго наконечника съ каучукомъ *d* открываютъ кранъ на трубѣ, проводящей сатураціонный газъ, и даютъ газовой смѣси свободно вытекать, — само собой разумѣется, что труба должна оставаться открытой нѣкоторое время для вытѣсненія стараго газа — чтобы потомъ во время соединенія съ каучукомъ *d* не попалъ атмосферный воздухъ. Уравнительная трубка при наполненіи по той же причинѣ ставится выше, чтобы она не могла дѣйствовать сосущимъ образомъ пока нѣтъ притока газа; когда послѣдняя наполнится приблизительно до половины газомъ, уравнительная трубка ставится на одной

высотѣ съ ней, чтобы избѣжать слишкомъ сильнаго давленія газа.

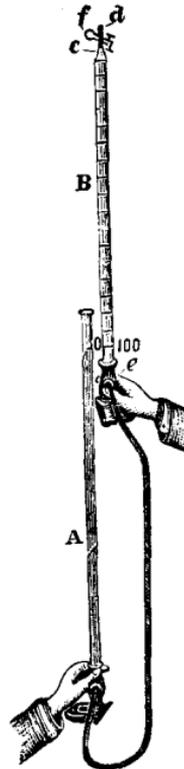
Газъ пропускаютъ до тѣхъ поръ, пока уровень воды не опустится ниже дѣленія 100, почти до желѣзной подставки трубки, и тогда закрываютъ зажимъ *f*. Для болѣе удобнаго управленія притокомъ газа можно позади стекляннаго капилляра на приводящемъ газъ каучукѣ поставить еще второй зажимъ, снабженный регулирующимъ винтомъ.

*Точное отмириваніе объема въ 100 куб. сант. газа при существующемъ атмосферномъ давленіи* производится такъ: поднимаютъ напорную трубку *A*, взявъ ее въ лѣвую руку, чтобы сжать газъ и поднять уровень воды въ *B* немного выше точки „100“, далѣе большимъ и указательнымъ пальцами правой руки плотно зажимаютъ соединительный каучукъ *S* у нижней трубочки *e* (см. фиг. 2), ставятъ уравнительную трубку на столъ и затѣмъ, поднявъ лѣвой рукой измѣрительную трубку, слегка открываютъ соединительный каучукъ, ослабляя закрывающіе его пальцы, чтобы заставить менискъ жидкости постепенно совершенно точно опуститься до точки „100“. Когда это достигнуто, то опять плотно зажимаютъ соединительный каучукъ, ставятъ измѣрительную трубку въ этомъ состояніи на столъ и открываютъ лѣвой рукой зажимъ *d* бюретки на 1—2 секунды, причемъ изъ нея вытекаетъ столько газа, что оставшійся—имѣетъ объемъ 100 куб. с. подъ давленіемъ, соответствующимъ внѣшнему атмосферному давленію.

Теперь бюретка содержитъ ровно 100 куб. сант. газа, въ чемъ можно убѣдиться отсчетомъ при одинаковомъ уровнѣ жидкости въ обѣихъ трубкахъ (см. фиг. 3).



Фиг. 2.



Фиг. 3.

При этомъ нужно замѣтить, что для достиженія возможно большей точности передъ отсчетомъ слѣдуетъ во-1, обождать пока вполне стечетъ вода, оставшаяся на стѣнкахъ трубки, на что при

100 куб. сант. объема газа требуется больше 1 минуты; во-2, что всегда слѣдуетъ держать бюретку за *железную подставку, а не за стеклянную трубку*, чтобы избѣжать нагрѣванія отъ руки, и въ-3, что бюретки большей частью градуируются по *верхнему мениску*.

Кромѣ того при первоначальномъ употребленіи прибора слѣдуетъ дистиллированную воду измѣрительной трубки нѣкоторое время встряхивать съ сатураціоннымъ газомъ, чтобы насытить ее газомъ и главнымъ образомъ углекислотой при существующей комнатной температурѣ и только тогда уже въ первый разъ отмѣривать объемъ въ 100 куб. сант. свѣжаго газа. При дальнѣйшихъ ежедневныхъ изслѣдованіяхъ содержаніе углекислоты въ водѣ остается приблизительно одно и то же, такъ что дальнѣйшее поглощеніе углекислоты не можетъ быть причиною замѣтныхъ ошибокъ.

Если за неимѣніемъ въ лабораторіи трубы, проводящей сатураціонный газъ, приходится наполнять измѣрительную трубку на мѣстѣ въ заводѣ, то передъ установкою на точку „100“ слѣдуетъ дать бюреткѣ постоять нѣкоторое время, чтобы она приняла температуру лабораторіи. Не слѣдуетъ также подвергать приборъ дѣйствию холоднаго сквозного вѣтра или лучистой теплоты; такъ что нужно во время анализа по возможности избѣгать близости двери или большой горѣлки, открытаго окна и т. п.

Очень простая и только по описанію кажущаяся

немного сложной операція наполненія и отмѣриванія газа послѣ вѣкотораго упражненія легко производится въ 2 минуты.

## II.

### О поглотителяхъ и поглотительныхъ пипеткахъ.

Поглотители, а отчасти также и приготовленіе ихъ будутъ описаны при разсмотрѣніи газовъ и пипетокъ, для которыхъ они предназначены.

Всѣ поглотители обладаютъ общимъ свойствомъ, заключающимся въ томъ, что ихъ поглотительная способность постепенно по мѣрѣ употребленія уменьшается и наконецъ совершенно теряется. Пригодность поглотителя для газоваго анализа обусловливается не только тѣмъ, что газъ еще поглощается, но это поглощеніе должно происходить также достаточно быстро и газъ долженъ вполнѣ поглотиться въ теченіе нѣсколькихъ минутъ. Достоинство поглотителя зависитъ не отъ того, какой объемъ газа онъ можетъ поглотить приблизительно до насыщенія, но зависитъ главнымъ образомъ отъ способности легко поглощать возможно большій объемъ газа въ теченіе опредѣленнаго небольшого промежутка времени, не принимая во вниманіе того, что эта способность болѣе или менѣе замѣтно уменьшается при повторныхъ опредѣленіяхъ.

На основаніи этихъ соображеній проф. Гемпель предложилъ особый способъ измѣренія поглоти-

тельной способности различныхъ реагентовъ; онъ точными опытами установилъ то число кубическихъ сантиметровъ газа, которое еще настолько быстро поглощается однимъ кубическимъ сантиметромъ реактива, что въ теченіе одной минуты убываетъ по крайней мѣрѣ на нѣсколько кубическихъ сантиметровъ. Четвертую часть этого числа кубическихъ сантиметровъ Гемпель назвалъ *допустимой поглотительной способностью* реактива, причемъ онъ исходитъ изъ того положенія, что слѣдуетъ использовать только четвертую часть опредѣленной способности быстро поглощать газъ, чтобы быть безусловно увѣреннымъ въ полномъ его поглощеніи.

Напримѣръ для 33 $\frac{1}{2}$ -процентнаго раствора ѣдкаго кали, употребляемаго для поглощенія углекислоты, допустимая поглотительная способность считается равной 40; значить такой растворъ ѣдкаго кали можетъ поглотить не 40, а 160 куб. сант. угольной кислоты, прежде чѣмъ уменьшится быстрота поглощенія того количества, которое было взято для опредѣленія достоинства реактива.

Въ сахарныхъ заводахъ чаще всего приходится опредѣлять содержаніе углекислоты въ сатураціонномъ газѣ, для чего большей частью пользуются растворомъ ѣдкаго кали въ качествѣ реактива. Считая, что ежедневно дѣлается 3 опредѣленія углекислоты въ газѣ съ содержаніемъ  $CO_2$  около 25%, втеченіе производства въ 100 дней поглотится приблизительно 7500 кубическ. сантим., а при

болѣе частомъ контролъ можетъ быть 10 литровъ углекислоты. Пипетка для углекислоты вмѣщаетъ около 240 куб. сант. раствора ѣдкаго кали и при допустимой поглотительной способности 40 можетъ поглотить 9600 куб. сант. угольной кислоты, причемъ можно быть увѣреннымъ въ совершенномъ поглощеніи газа при анализѣ. Слѣдовательно, одного наполненія этой пипетки какъ разъ достаточно для работы въ теченіе производства.

Рекомендуется, какъ въ данномъ случаѣ, такъ и при другихъ пипеткахъ съ жидкими реактивами, всегда отмѣчать сумму поглощенныхъ при изслѣдованіяхъ объемовъ газа, чтобы не перейти извѣстной степени насыщенія поглощающаго раствора и не пользоваться слишкомъ долго растворами, что повлекло бы за собой ошибку. Особенно рекомендуется это для растворовъ съ низкой поглотительной способностью.

Поглотительныя пипетки, подробно описанныя дальше каждая въ отдѣльности, изготовляются или съ деревяннымъ, или съ желѣзнымъ штативомъ. Удобны желѣзные штативы, въ особенности такіе, основаніе которыхъ состоитъ изъ замкнутой рамы, такъ какъ они устойчивѣе, не такъ ломки, какъ деревянные, въ нихъ легче замѣтить уровень жидкости и чистка ихъ легче. Напротивъ, не рекомендуются выпущенные въ послѣднее время желѣзные штативы съ двумя только ножками, они стоятъ не особенно твердо и въ другихъ отношеніяхъ также менѣе выгодны. Поэтому лучше пріобрѣтать шта-

тивы для пипетокъ съ рамными основаніями, какъ изображено на фиг. 5, стр. 19.

Такъ какъ для сужденія о нормальномъ составѣ какъ топочнаго, такъ и сатураціоннаго газа, наибольшее значеніе имѣетъ *содержаніе* въ нихъ *углекислоты*, то обыкновенно анализъ начинаютъ съ опредѣленія ея.

Слѣдующая по важности составная часть изслѣдуемой газовой смѣси — *кислородъ*, содержаніе котораго въ сатураціонномъ газѣ не должно быть выше 2%, чтобы содержаніе углекислоты не понижалось ненужнымъ кислородомъ и сопровождающимъ его четвернымъ количествомъ азота. Содержаніе кислорода зависитъ только отъ излишняго притока воздуха и значитъ прямо соотвѣтствуетъ  $\frac{1}{5}$  содержанія въ газѣ атмосфернаго воздуха. Для топочныхъ газовъ допускаемый предѣлъ содержанія кислорода выше, до 4% и даже до 6%, потому что безъ извѣстнаго избытка воздуха температура горѣнія не можетъ подняться достаточно высоко, такъ что въ этомъ случаѣ негорѣвшіе газы, въ особенности тяжелые горючіе углеводороды, могутъ уйти въ трубу. Содержаніе кислорода, какъ второй по важности составной части, опредѣляется послѣ углекислоты.

При отсутствіи или при очень незначительномъ содержаніи кислорода въ названныхъ газовыхъ смѣсяхъ является важнымъ опредѣленіе содержанія *окси углерода*, которое производится всегда вслѣдъ за опредѣленіемъ кислорода, на томъ основаніи,

что растворъ хлористой мѣди, служащій поглотителемъ для окиси углерода, поглощаетъ также и кислородъ, такъ что изслѣдуемая газовая смѣсь должна уже быть освобождена отъ кислорода, прежде чѣмъ она подвергнется обработкѣ растворомъ хлористой мѣди.

Если въ газѣ содержится окись углерода, то это указываетъ на неполное сгораніе, объ этомъ же свидѣтельствуется присутствіе тяжелыхъ углеводородовъ, которые могутъ только въ очень незначительныхъ количествахъ содержаться въ топочномъ газѣ, рѣже въ сатураціонномъ. Тяжелые углеводороды мѣшаютъ опредѣленію кислорода, если оно производится фосфоромъ, а также опредѣленію окиси углерода посредствомъ раствора хлористой мѣди; подробнѣе объ этомъ будетъ сказано при описаніи опредѣленія отдѣльныхъ газовъ.

Если содержаніе тяжелыхъ углеводородовъ можно предполагать, о чемъ судятъ по бѣлымъ парамъ въ газовой смѣси, то ихъ удаляютъ и опредѣляютъ ихъ процентное содержаніе еще передъ опредѣленіемъ кислорода, причемъ употребляютъ для поглощенія дымящую сѣрную кислоту.

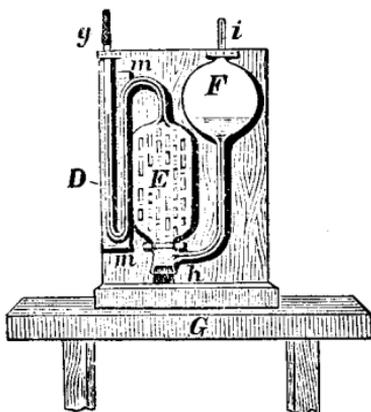
Соотвѣтственно изложенному ходу анализа дальше слѣдуетъ описаніе различныхъ пипетокъ и употребленія ихъ.

---

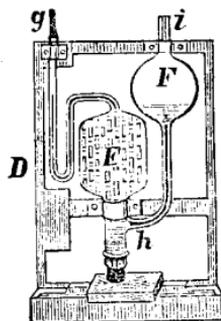
III.

Пипетка для углекислоты.

Эта, такъ называемая, *простая поглотительная пипетка*, изображенная на фиг. 4 съ деревяннымъ штативомъ, состоитъ изъ сборнаго шара *F*, поглотительнаго цилиндра *E* и изогнутой колѣнномъ толстостѣнной капиллярной трубки *D* въ  $\frac{1}{2}$  милли-



Фиг. 4.



Фиг. 5.

метра діаметромъ, позади которой укрѣплена бѣлая фарфоровая пластинка, чтобы легче было замѣчать уровень жидкости въ капиллярѣ. Въ случаѣ желѣзнаго штатива, когда пипетка (см. фиг. 5) свободно укрѣплена въ желѣзной рамѣ, такъ что уровень жидкости въ колѣнѣ *D* и такъ хорошо виденъ, конечно фарфоровой пластинки не нужно.

### *Наполненіе пипетки.*

Чтобы придать жидкости въ поглотительномъ цилиндрѣ *E* большую поверхность, его наполняютъ черезъ шейку *h*, предварительно перевернувъ приборъ, стеклянными палочками, которыя располагаются въ возможно отвѣсномъ положеніи; затѣмъ плотно закрываютъ шейку *h* каучуковой пробкой и завязываютъ проволокой. Гемпель рекомендуетъ еще лучше закрывать шейку *h* стеклянной трубкой, запаянной сверху и обтянутой каучуковымъ кольцомъ. Преимущество такого запора заключается въ томъ, что дѣйствию реактива подвергается только очень узенькая полоска каучука. Чтобы воспрепятствовать этой пробкѣ выскочить назадъ, вмѣсто завязыванія проволокой или шнуркомъ лучше подложить подъ нее твердую подпорку, соединенную съ штативомъ. Желѣзный штативъ съ рамнымъ основаніемъ для этого гораздо удобнѣе, чѣмъ такой же съ двумя отдѣльными ножками.

Раствора, состоящаго изъ 80 гр. ѣдкаго кали и 160 гр. воды, вполне достаточно для наполненія пипетки; растворъ такой концентраціи имѣетъ допустимую поглотительную способность 40. Вмѣсто ѣдкаго кали можно также употреблять ѣдкій натръ.

Съ помощью обыкновенной пипетки съ узкимъ концомъ или черезъ маленькую воронку растворъ вливаютъ черезъ широкую трубку *i* и затѣмъ слабымъ всасываніемъ черезъ изогнутую стеклянную трубку, вставленную въ каучукъ *g*, переводятъ его

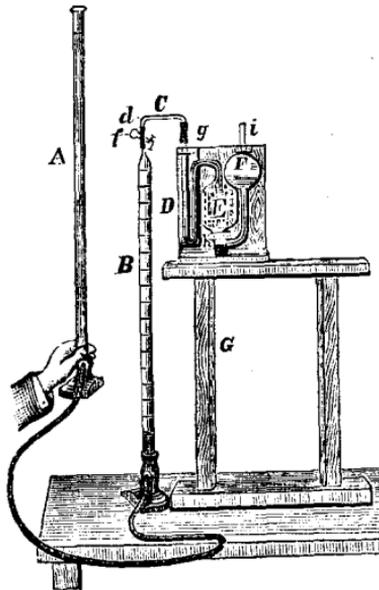
во ви́шнее колѣно капилляра  $D$ , послѣ чего онъ устанавливается на одной высотѣ въ капиллярѣ  $D$  и шарѣ  $F$ . Хорошо закрывать довольно широкую трубочку  $i$ , выходящую изъ шара  $F$ , маленькой деревянной или каучуковой пробкой съ вертикальной вырѣзкой, благодаря чему при достаточномъ для прохода воздуха отверстіи все-таки будетъ затрудненъ болѣе сильный безпрерывный обмѣнъ воздуха, находящагося внутри, съ наружнымъ.

*Употребленіе пипетки* для поглощенія углекислоты изъ 100 куб. сант. газа, находящагося въ мѣри-тельной бюреткѣ  $B$ , слѣдующее: пипетка еще ранѣе соединяется въ мѣстѣ  $g$  съ капиллярной колѣнчатой трубкой  $C$ , которую далѣе остается соединить прямо съ бюреткой. При этомъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что соединяющіе каучуки должны быть обвязаны проволокой и иногда нужно провѣрять плотность соединений; кромѣ того необходимо, чтобы трубка  $C$  плотно прилегала къ трубочкѣ  $g$ —стекломъ къ стеклу.

Затѣмъ пипетку ставятъ на деревянную скамеечку  $G$ , газовую бюретку вмѣстѣ съ уравни-тельной трубкой—слѣва отъ нея на рабочій столъ и наружное колѣно трубки  $C$  соединяютъ съ каучукомъ  $d$  бюретки (см. фиг. 6). Чтобы небольшое количество воздуха, находящееся въ концѣ каучука за зажимомъ, не попало потомъ въ бюретку, необходимо выжать его большимъ и указательнымъ пальцами лѣвой руки, затѣмъ конецъ колѣна  $C$  правой рукой вставляютъ въ отверстіе каучука  $d$  и двди-

гаютъ до зажима. Цѣлесообразно при этомъ конецъ трубки снаружи смочить немного водой или смазать саломъ.

Если каучукъ *d* узкій и достаточно толстостѣнный—всею лучше 6 миллим. внѣшній и  $2\frac{1}{2}$  миллим. внутренній діаметръ—то обвязка каучука проволо-



Фиг. 6.

кой вокругъ конца колѣна *C* съ цѣлю абсолютной непроницаемости для воздуха излишня.

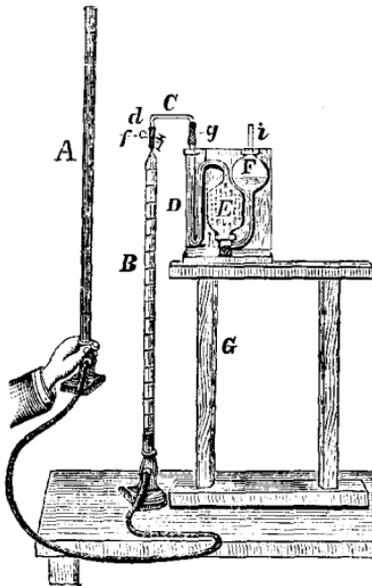
Осторожно открываютъ болѣе привычной къ этому правой рукой зажимъ *f* и давленіемъ воды въ напорной трубкѣ *A* заставляютъ столбикъ жидкости

въ капиллярной трубкѣ *D* сначала медленно перейти въ поглотительный цилиндръ *E* пипетки, медленно потому, что нужно оставить возможно меньше капелекъ жидкости въ капиллярѣ; затѣмъ лѣвой рукой поднимають возможно выше напорную трубку, чтобы быстро вытѣснить газовую смѣсь и вмѣстѣ съ нею увлечь капельки щелочного раствора, еще приставшія къ капиллярной трубкѣ. Когда вода въ мѣрительной трубкѣ *B* достигнетъ до точки „0“, то есть будетъ въ каучукѣ *d*, причемъ подъ конецъ для болѣе удобнаго наблюденія поднятіе воды немного замедляютъ опусканіемъ трубки *A*, тогда закрываютъ зажимъ *f*.

Капли концентрированнаго раствора ѣдкаго кали, оставшіяся на стеклянныхъ палочкахъ внутри пипетки, представляютъ настолько большую поверхность, что углекислота даже при высокомъ содержаніи ея въ сатураціонномъ газѣ поглощается вполне еще во время теченія газа въ пипетку.

Поэтому можно тотчасъ же по закрытіи зажима *f* опустить напорную трубку—всего проще поставить прямо на полъ, держа верхній конецъ ея въ лѣвой рукѣ—на столько, чтобы благодаря разности уровней, открывъ опять зажимъ *f*, перетянуть газъ, оставшіяся не поглощеннымъ, изъ поглотительнаго цилиндра *E* въ мѣрительную бюретку, пока столбикъ жидкости въ капиллярной трубкѣ опять не достигнетъ своего прежняго уровня; тогда закрываютъ зажимъ *f*.

При этомъ также для болѣе легкой и вѣрной установки уровня удобно замедлить движеніе газа, для чего немного поднимаютъ напорную трубку. Нужно особенно остерегаться, чтобы столбикъ жидкости не попалъ въ каучукъ или даже въ колѣнчатую



Фиг. 6.

трубку *C* и въ каучукъ *d*, потому что растворъ щелочи сильно развѣдаетъ каучукъ, кромѣ того движеніе газа по нему, когда онъ сдѣлается, благодаря этому, мокрымъ, будетъ необыкновенно затруднено.

Поэтому лучше остановить уровень жидкости въ капиллярѣ  $D$  на 1 сантиметръ ниже, потому что это повлечетъ за собою ошибку, въ худшемъ случаѣ равную нѣсколькимъ сотымъ долямъ кубическаго сантиметра. Лучше всего избѣгнуть дальнѣйшаго засасыванія раствора, если тотчасъ же по вступленіи жидкости изъ шара въ капилляръ закрыть зажимъ  $f$ ; слѣдуетъ взять за правило дѣлать это въ то время, когда столбикъ жидкости достигъ перваго колѣна, тогда можно уже легко осторожнымъ нажатіемъ зажима довести жидкость до желаемаго уровня.

Атмосферный воздухъ, находящійся въ колѣнчатой трубкѣ  $C$ , между верхнимъ нулевымъ дѣленіемъ бюретки и столбикомъ жидкости въ  $D$ , при описанномъ засасываніи газа въ пипетку переходитъ вмѣстѣ съ нимъ; значитъ этотъ небольшой объемъ воздуха вноситъ неточность въ анализъ, но при незначительности его объема влечетъ за собою ошибку, которая совсѣмъ не имѣетъ значенія при опредѣленіи углекислоты и только при многократномъ употребленіи пипетки составляетъ нѣсколько десятыхъ долей кубическаго сантиметра при опредѣленіи азота по разности.

Послѣ обратнаго отсасыванія остаточнаго газа, свободнаго отъ углекислоты, въ бюретку зажимъ  $f$ , какъ замѣчено, закрываютъ и разъединяютъ соединеніе колѣнчатой трубки  $C$  пипетки съ газовой бюреткой. Тогда берутъ напорную и мѣрительную

трубки, обѣ за желѣзныя подставки, и поднятіемъ или опусканіемъ той или другой трубки устанавливають уровеньъ жидкости въ обѣихъ трубкахъ точно на одной высотѣ. Подъемъ жидкости надъ нижнимъ нулевымъ дѣленіемъ показываетъ процентное содержаніе углекислоты въ изслѣдуемой газовой смѣси, которое теперь можно прямо прочесть.

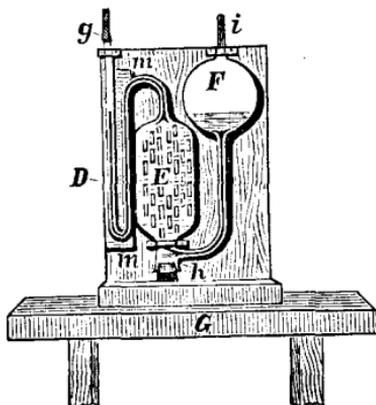
На сколько точно можно опредѣлить описаннымъ путемъ самыя незначительнѣйшія количества углекислоты, видно изъ того, что содержаніе этого газа въ воздухѣ жилыхъ и общественныхъ помѣщеній, гдѣ оно колеблется отъ 0,1 до 0,3%, можно опредѣлить, при извѣстномъ навыкѣ, пользуясь методомъ Гемпеля, съ точностью до 0,05%; этотъ предѣлъ погрѣшности соотвѣтствуетъ значить приблизительно содержанію углекислоты въ чистомъ атмосферномъ воздухѣ (0,04%).

#### IV.

##### **Пипетка для поглощенія кислорода съ фосфоромъ.**

Пипетка для поглощенія кислорода устроена совершенно такъ-же, какъ и пипетка для углекислоты. Наполненіе цилиндрической части *E* (фиг. 7) производится черезъ шейку *h*, повернувъ приборъ подставкой вверхъ. Наполняютъ цилиндръ водой и затѣмъ вкладываютъ тоненькія палочки фосфора, рас-

полагая ихъ по возможности отвѣсно и параллельно одна другой. Когда это сдѣлано, то отверстие закрываютъ хорошей деревянной или мягкой каучуковой пробкой и опять перевертываютъ аппаратъ. Пробка должна быть обвязана еще проволокой или шнуркомъ, чтобы она сидѣла совершенно плотно и не



Фиг. 7.

могла выйти назадъ, потому что при пониженіи уровня воды фосфоръ могъ-бы загорѣться.

Слѣдуетъ особенно позаботиться объ устройствѣ твердой подкладки подъ пробку, чтобы совершенно обезопасить себя отъ ослабленія пробки.

Трубочка *i*, выходящая изъ шара *F*, закрывается такъ-же, какъ и въ пипеткѣ для углекислоты.

Пипетку съ фосфоромъ не слѣдуетъ оставлять всегда при прямомъ дневномъ освѣщеніи, а убирать послѣ употребленія въ черный ящикекъ. Слѣдуетъ заботиться, чтобы пипетка никогда не убиралась, лежа бокомъ, такъ какъ при этомъ вода, защищающая фосфоръ, можетъ вытечь и входящій воздухъ можетъ вызвать воспламененіе фосфора и пожаръ <sup>1)</sup>, чего безусловно не можетъ быть, если пипетка стоитъ прямо.

Нужно также остерегаться, чтобы вода, покрывающая фосфоръ, не попала въ рану на рукѣ, такъ какъ она очень ядовита, кромѣ того ее слѣдуетъ перемѣнить, какъ только замѣтятъ, что она не быстро стекаетъ съ палочекъ фосфора и реакція тянется дольше обыкновеннаго, потому что, если не дѣлать этого обновленія, то постепенно образуется концентрированный растворъ фосфорной и фосфористой кислотъ, который мѣшаетъ тѣсному соприкосновенію кислорода съ фосфоромъ.

Перемѣнять воду слѣдуетъ съ соблюденіемъ необходимыхъ предосторожностей противъ вспламе-

---

<sup>1)</sup> Мы сообщали, что однажды при пересылкѣ наполненной пипетки на ящикѣ не было сдѣлано предохранительной надписи: «Верхъ! Не переворачивать!», фосфоръ воспламенился и пожаръ охватилъ почтовый вагонъ желѣзнодорожнаго поѣзда. Поэтому не слѣдуетъ такія пипетки наполнять передъ отправкой. Лейнеръ при доставкѣ этихъ пипетокъ всегда посылаетъ фосфоръ въ отдѣльной, хорошо закрытой и упакованной стеклянкѣ.

ненія фосфора<sup>1)</sup>. Рекомендуется въ холодной комнатѣ отобрать прежде половину воды помощью тонкаго каучука черезъ трубочку *i* и опять быстро замѣнить холодной дистиллированной водой. Послѣ встряхиванія и двух- или трехкратнаго повторенія этой процедуры (передъ каждымъ повтореніемъ ея убѣждаются въ охлажденіи поглотительнаго цилиндра), можно считать обновленіе достаточнымъ.

Во время употребленія пипетки фосфоръ въ поглотительномъ цилиндрѣ защищаютъ отъ прямого освѣщенія черной бумагой, поставленной передъ приборомъ со стороны, обращенной къ свѣту, или обклеиваютъ цилиндръ картономъ<sup>2)</sup>.

Реакція кислорода съ фосфоромъ происходитъ не при всѣхъ условіяхъ и въ случаѣ чистаго кислорода отчасти много труднѣе, нежели въ газовыхъ смѣсяхъ<sup>3)</sup>; она замедляется при пониженіи

---

<sup>1)</sup> *Примѣч. редактора:* Всего проще наполнить пипетку воздухомъ. Когда поглощеніе кислорода окончится, зажимаютъ трубочку *g* зажимомъ Мора и пипеткой на 100 куб. см., соединенной съ резиновымъ шаромъ, вытягиваютъ часть воды изъ шара, заполняютъ его свѣжей и повторяютъ эту операцію нѣсколько разъ.

*А. Лидовъ.*

<sup>2)</sup> Всего проще окрасить цилиндръ пипетки въ чернѣйшій цвѣтъ скоровысыхающей краской.

*А. Лидовъ.*

<sup>3)</sup> Поглощеніе чистаго кислорода и газовыхъ смѣсей, содержащихъ болѣе 60% кислорода, нельзя производить фосфоромъ, такъ какъ при этомъ выдѣляется такъ много тепла, что фосфоръ загорается и цилиндръ нерѣдко лопається, вслѣдствіе чего можетъ быть пожаръ.

*А. Лидовъ.*

температуры, также и при повышении давления газа, облегчается при разрыве воздуха и при разбавлении кислорода смесиванием с другим газом<sup>1)</sup>. Далее окисление фосфора кислородом затрудняется в присутствии очень незначительных количеств этилена и некоторых других тяжелых углеводородов<sup>2)</sup>. Они однако редко встречаются в насыщенном газе, но чаще в топочных газах, особенно при отоплении бурным углем; тогда перед определением кислорода нужно удалить их при помощи пипетки с серной кислотой, о чем подробно сказано в VI главѣ.

Благодаря указанному влиянию понижения температуры, в холодное время года производят анализ в теплое помещение; в случае, если реакция происходит не так энергично, закрывают отверстие трубки *i* и немного опускают напорную трубку, чтобы вызвать слабое разрыве газа.

При дневном свете начало реакции узнают по появлению белых паров фосфорной, фосфористой кислоты и других продуктов окисления фосфора; полного исчезновения их не стоит дожидаться, так как они имеют незначительное давление; в 3, много 5 минут реакция, которую в темноте

---

<sup>1)</sup> Подробнѣе объ этомъ см.: „Nempel, Gasanalyt. Methoden“, стр. 123.

<sup>2)</sup> Тамъ-же.

можно прослѣдить по свѣченію фосфора, вполне заканчивается.

Послѣ поглощенія кислорода остатокъ газа, какъ было подробно описано въ III главѣ, опять переводится въ мѣрительную бюретку: разность этого и предыдущаго объема газа есть прямо процентное содержаніе кислорода въ газовой смѣси.

Допустимая поглотительная способность фосфора безгранична, палочки фосфора поглощаютъ кислородъ, если даже онѣ сдѣлались уже очень тонкими вслѣдствіе многократнаго употребленія.

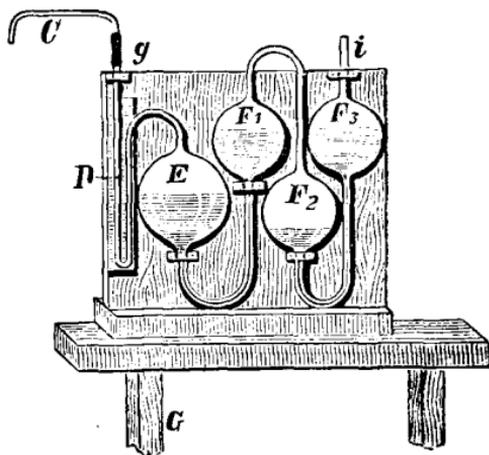
#### V.

**Пипетка для поглощенія окиси углерода съ растворомъ хлористой мѣди.**

Для поглощенія окиси углерода пользуются такъ называемой *сложной поглотительной пипеткой*, состоящей изъ одного большого стекляннаго шара *E* (фиг. 8) около 150 куб. сант. вмѣстимостью и трехъ меньшихъ шаровъ *F*<sub>1</sub>, *F*<sub>2</sub> и *F*<sub>3</sub>, каждый въ 100 куб. сант. вмѣстимостью. Къ *E* прикрѣплена капиллярная колѣнчатая трубка *D*, которая, какъ и въ другихъ пипеткахъ, соединяется со второй капиллярной трубкой *C*.

Для поглощенія окиси углерода употребляютъ, какъ солянокислый, такъ и амміачный растворъ хлористой мѣди. Солянокислый растворъ готовится по Гемпелю слѣдующимъ образомъ:

86 гр. мѣдной проволоки и 17 гр. мѣди въ порошокъ, полученной возстановленіемъ окиси мѣди водородомъ, медленно и при встряхиваніи вносятся въ 1086 гр. соляной кислоты уд. вѣса 1,124, затѣмъ въ жидкость опускается спираль изъ мѣдной проволоки, достигающая отъ дна до середины стеклянки, и закрываютъ стеклянку мягкой каучуковой пробкой.



Фиг. 8.

Можно также растворить въ соляной кислотѣ около 200 гр. продажной основной углекислой мѣди и возстановлять растворъ приблизительно такимъ же количествомъ по вѣсу металлической мѣди, взятой въ видѣ тонкихъ листочковъ, въ хорошо закрытой стеклянкѣ при частомъ встряхиваніи, пока онъ не сдѣлается почти безцвѣтнымъ; тогда его

разливаютъ въ нѣсколько большихъ стакановъ и большимъ количествомъ дистиллированной воды вытѣсняютъ изъ раствора хлористую мѣдь въ видѣ бѣлаго нерастворимаго порошка, декантируютъ, быстро переносятъ на фильтръ и еще сырую обрабатываютъ такимъ количествомъ концентрированной соляной кислоты, какое какъ разъ необходимо для растворенія, не прибавляя излишка; послѣ этого растворъ разбавляютъ водой до тѣхъ поръ, пока не прекратится видимое выдѣленіе паровъ соляной кислоты. Этотъ послѣдній способъ приготовления требуетъ много времени. Впрочемъ теперь можно также получать готовый растворъ отъ Лейнера или другой извѣстной фирмы.

Почти безцвѣтный растворъ хлористой мѣди, слегка окрашенный въ коричневатый цвѣтъ вслѣдствіе присутствія окиси мѣди, всего лучше сохраняется по Гемцелю подъ керосиномъ въ хорошо закупоренной стеклянкѣ, снабженной около дна тубусомъ. Растворъ хлористой мѣди берутъ черезъ трубку, вставленную въ тубусъ и снабженную стекляннымъ краномъ или зажимомъ, затѣмъ стеклянку опять доливаютъ керосиномъ и хорошо закупориваютъ. Если не имѣется въ распоряженіи стеклянки съ тубусомъ, то можно пользоваться и простой стеклянкой, если продолжительнымъ пропусканіемъ чистой углекислоты вытѣснить атмосферный воздухъ изъ верхней части стеклянки, незанятой жид-

костью <sup>1)</sup>, и затѣмъ закрыть ее хорошо притертой и смазанной саломъ стеклянной пробкой. Чтобы совсѣмъ исключить возможность окисленія, рекомендуется опустить въ растворъ нѣсколько длинныхъ листочковъ мѣди или спиралей изъ мѣдной проволоки.

Амміачный растворъ хлористой мѣди по Винклеру <sup>2)</sup> готовится слѣдующимъ образомъ: 250 гр. хлористаго аммонія растворяютъ въ 750 гр. воды, растворъ переливаютъ въ стеклянку, плотно закрывающуюся каучуковой пробкой, и прибавляютъ туда 200 гр. хлористой мѣди. Стеклянку часто встряхиваютъ, пока хлористая мѣдь не растворится почти цѣликомъ. Въ стеклянку вставляютъ еще спираль изъ мѣдной проволоки, достигающую отъ дна до горлышка стеклянки, благодаря чему хорошо закупоренный растворъ можетъ сохраняться какъ угодно долго. При соприкосновеніи съ воздухомъ изъ раствора выдѣляется зеленая основная соль хлорной мѣди.

Чтобы приготовить этотъ растворъ для наполненія пипетки Гемпеля, берутъ 150 куб. сант. мѣднаго раствора и около 50 куб. сант. воднаго раствора амміака уд. вѣс. 0,905.

---

<sup>1)</sup> Въ виду того, что углекислота очень хорошо растворима въ кислomъ растворѣ полухлористой мѣди, стеклянку лучше заполнить азотомъ, или воздухомъ, освобожденнымъ отъ кислорода.

*А. Лидовъ.*

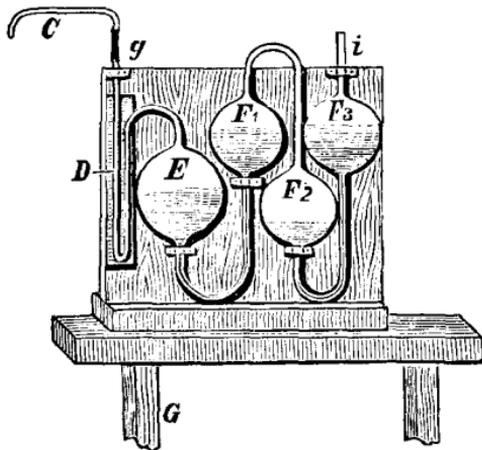
<sup>2)</sup> Winkler, Technische Gasanalyse, 2. Aufl., S. 77.

Амміачный растворъ хлористой мѣди имѣеть то преимущество, что поглощаемая имъ окись углерода съ амміакомъ постепенно образуетъ углекислый амміакъ съ выдѣленіемъ металлической мѣди, такъ что поглощенная окись углерода всегда опять удаляется, а выдѣляющаяся мѣдь предохраняеть растворъ хлористой мѣди отъ окисленія.

Допустимая поглотительная способность солянокислаго или амміачнаго раствора равняется 4 куб. сант. окиси углерода.

Наполненіе шара *E* растворомъ хлористой мѣди производится такимъ образомъ: пипетку перевертываютъ подставкой вверхъ и соединяють конецъ *g* съ каучуковой трубкой, которую погружаютъ въ стеклянку съ растворомъ хлористой мѣди. Затѣмъ, благодаря отсасыванію воздуха черезъ *i*, что всего лучше производить аспираторомъ, шаръ *E* наполняется черезъ колѣно *D*; когда онъ будетъ совершенно полонъ, наклоняють пипетку такъ, чтобы жидкость, вступающая въ шаръ *F*<sub>1</sub>, наполнила его только немного, не достигая до соединительной трубки, ведущей въ *F*<sub>2</sub>. Затѣмъ ставятъ пипетку прямо и посредствомъ обыкновенной мѣрительной пипетки съ тонкимъ концомъ въ шары *F*<sub>1</sub> и *F*<sub>2</sub> черезъ трубку *i* наливають дистиллированную воду, отдѣляющую растворъ отъ наружнаго воздуха. Вводя въ *E* посредствомъ мѣрительной бюретки, предварительно наполненной углекислотой, 90 куб. сант. этого газа, вытѣсняютъ изъ *F*<sub>1</sub> черезъ воду столько воздуха, сколько нужно, чтобы достичь

приблизительно положенія, изображеннаго на фиг. 8. После обратнаго отсасыванія газа, когда растворъ хлористой мѣди достигнетъ колѣна *D*, вода должна не совсѣмъ наполнять шаръ *F*'<sub>1</sub>. Потому что въ случаѣ, если придется изслѣдовать газъ, содержащій окись углерода и не содержащій углекислоты и кислорода, чего, конечно, не можетъ быть при



Фиг. 8.

анализѣ топочнаго и сатураціоннаго газовъ, то вмѣсто 90 куб. сант. въ *E* будетъ введено полныхъ 100 куб. сант. газа, часть воздуха, находящагося между *F*'<sub>1</sub> и *F*'<sub>2</sub> будетъ еще вытѣснена наружу черезъ воду и тогда при обратномъ отсасываніи газа вода въ *F*'<sub>2</sub> должна будетъ слишкомъ подняться и перейти въ *F*'<sub>1</sub>.

Перемѣщеніе изслѣдуемой на содержаніе окиси углерода газовой смѣси въ пипетку производится такъ же, какъ при предыдущихъ опредѣленіяхъ. Однако поглощеніе окиси углерода само по себѣ происходитъ не очень быстро и поэтому пипетку покачиваютъ (не встряхиваютъ), чтобы постоянно обновлять поверхность раствора хлористой мѣди въ шарѣ *E* и безпрестанно смывать растворомъ его внутреннюю поверхность. По прошествіи 3 минутъ можно остатокъ газа опять перевести въ мѣрительную бюретку.

При этомъ слѣдуетъ обратить вниманіе на слѣдующее: при покачиваніи раствора хлористой мѣди въ отверстіи при выходѣ изъ шара *E* обыкновенно остается висѣть большая капля раствора. Чтобы при обратномъ движеніи газа не вытѣснить ея впереди, что повлекло бы за собой многія неудобства—въ особенности благодаря этому скоро портятся каучуковыя соединенія,—заставляютъ эту каплю стечь обратно въ шаръ, чего достигаютъ, приподнявъ немного напорную трубку и открывъ на мгновеніе зажимъ *f* на мѣрительной бюреткѣ. Только послѣ этого опускаютъ напорную бюретку и переводятъ обратно въ мѣрительную бюретку остатокъ газа, по большей части чистый азотъ, пока коричневый столбикъ раствора хлористой мѣди не достигнетъ первоначальнаго уровня въ передней части колѣнчатой трубки *D*.

Разность объемовъ газа до обработки растворомъ хлористой мѣди и газа, оставшагося въ мѣ-

рительной бюреткѣ, показываетъ количество поглощенной окиси углерода. При этомъ иногда случается, что получающійся объемъ газа больше на одну или нѣсколько десятыхъ долей кубического сантиметра, чѣмъ до опредѣленія окиси углерода. Это явленіе имѣетъ слѣдующія основанія:

Упругость паровъ солянокислаго или амміачнаго раствора хлористой мѣди незначительна и поэтому въ анализахъ, не требующихъ большой точности, ею можно пренебречь; однако, если хотять работать съ точностью до одной десятой кубического сантиметра, то слѣдуетъ удалить изъ газа перешедшую въ него газообразную соляную кислоту или амміакъ, которые вызываютъ небольшое увеличеніе объема газа, что достигается встряхиваніемъ оставшагося газа съ водой въ мѣрительной бюреткѣ, причемъ слѣдуетъ немного дольше обыкновеннаго обождать, прежде чѣмъ отсчитывать уровень жидкости, чтобы дать стечь водѣ, приставшей къ стѣнкамъ трубки. При употребленіи солянокислаго раствора можно еще скорѣе и вѣрнѣе достигъ цѣли, если освободить газъ отъ кислыхъ паровъ, переведя его въ пипетку съ ѣдкимъ кали.

Если въ газовой смѣси не содержится совсѣмъ окиси углерода, то пока не будутъ удалены пары соляной кислоты или амміака, объемъ газа всегда кажется немного большимъ.

Но и послѣ удаленія этихъ паровъ подобный случай можетъ имѣть мѣсто, если растворъ хло-

ристой мѣди, въ особенности солянокислый поглотилъ уже много окиси углерода. Въ этомъ случаѣ, по Гемпелю, онъ, будучи приведенъ въ соприкосновеніе съ газовой смѣсью, не содержащей окиси углерода, выдѣляетъ часть этого газа, непрочно связанную, въ особенности при встряхиваніи, поэтому растворъ не слѣдуетъ встряхивать, а только слегка покачивать. Для вѣрнаго избѣжанія ошибокъ, происходящихъ отсюда, Гемпель рекомендуетъ употреблять одну за другой двѣ пипетки съ растворомъ хлористой мѣди: прежде уже бывшую въ употребленіи, а затѣмъ съ свѣжимъ растворомъ, которая долго можетъ выполнять свое назначеніе.

Въ сатураціонномъ газѣ окись углерода встрѣчается сравнительно рѣдко и притомъ большей частью только въ очень незначительныхъ количествахъ, такъ что здѣсь, гдѣ ее опредѣляютъ только для контроля технического производства, второй пипетки можно не употреблять; въ случаѣ надобности можно растворъ хлористой мѣди перемѣнять немного раньше, чѣмъ это нужно дѣлать при употребленіи двухъ пипетокъ.

Третья причина неточности опредѣленія окиси углерода можетъ быть слѣдующая: иногда въ топчюмъ, а также и въ сатураціонномъ газѣ, особенно при употребленіи въ известковой печи бураго угля, содержатся тяжелые углеводороды, присутствіе которыхъ можно замѣтить по запаху газа, по бѣлымъ парамъ въ стеклянкѣ аспиратора, содержащаго газъ, и по смолообразнымъ выдѣленіямъ

въ конденсаціонной водѣ насоса, нагнетающаго углекислоту. Растворъ же хлористой мѣди имѣеть свойство кромѣ окиси углерода *очень легко поглощать также и тяжелые углеводороды*, именно *этиленъ и ацетиленъ*. Поэтому они должны быть удалены передъ опредѣленіемъ окиси углерода. Какъ раньше было замѣчено, и при опредѣленіи кислорода посредствомъ пипетки, наполненной фосфоромъ, въ присутствіи тяжелыхъ углеводородовъ, необходимо удалить ихъ передъ употребленіемъ фосфора.

Это производится посредствомъ пипетки съ дымящей сѣрной кислотой, которую нужно употреблять на ряду съ другими пипетками между опредѣленіемъ углекислоты и кислорода, если вѣроятно присутствіе тяжелыхъ углеводородовъ.

---

## VI.

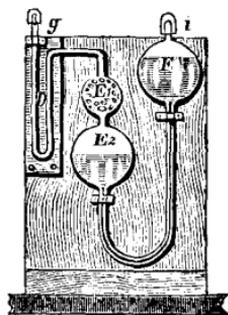
### Пипетка для тяжелыхъ углеводородовъ съ дымящей сѣрной кислотой.

Для опредѣленія тяжелыхъ углеводородовъ употребляютъ простую пипетку, у которой сосудъ для поглощенія состоитъ изъ 2 шаровъ  $E_1$  и  $E_2$ , какъ показано на фиг. 9. Верхній меньшій шаръ  $E_1$  наполненъ осколками стекла, которые служатъ для увеличенія поглощающей поверхности сѣрной кислоты\*). .

---

\*) Лучше, если стеклодувъ при изготовленіи этой пипетки вмѣсто осколковъ стекла наполнить шаръ стеклянными бусами, кото-

Прямо стоящая пипетка наполняется через  $i$  посредством воронки съ узкой трубкой сильно концентрированной *дымящей* сѣрной кислотой на столько, чтобы въ шарѣ  $F$  оставалось только немного кислоты, когда она заполнитъ шары  $E_1$  и  $E_2$  и появится въ колѣнѣ  $D$ . Перевести жидкость въ колѣно  $D$  можно, нагнетая воздухъ через  $i$  посредствомъ мѣрительной и напорной бюретокъ. Дымящую сѣрную кислоту нужно разбавить очень небольшимъ количествомъ купороснаго масла настолько, чтобы она при незначительномъ пониженіи обыкновенной комнатной температуры начинала выдѣлять кристаллы пиросѣрной кислоты.



Фиг. 9.

Послѣ употребленія на капилляръ  $g$  и на трубку  $i$  надѣваютъ узкія каучуковыя кольца, а на нихъ маленькіе стеклянные колпачки и такимъ образомъ совершенно закрываютъ пипетку.

Допустимая поглотительная способность составляетъ 8 куб. сант. тяжелыхъ углеводовъ на 1 куб. см. кислоты.

Хотя здѣсь, какъ и при опредѣленіи углекислоты,

---

рия можно такъ уложить, что онѣ не будутъ падать въ нижній шаръ, тогда какъ между осколками стекла часто попадаютъ мелкіе кусочки, которые трудно удалить.

достаточно одного перемѣщенія испытуемой газовой смѣси въ пипетку, однако переводить газъ обратно въ бюретку слѣдуетъ, обождавъ нѣкоторое время, до 5—10 минутъ. При реакціи сѣрной кислоты съ тяжелыми углеводородами выдѣляется немного сѣрнистаго ангидрида, который такъ же, какъ и пары дымящей сѣрной кислоты, обладаетъ большимъ давленіемъ, поэтому послѣ обратнаго перевода газа въ бюретку его слѣдуетъ еще разъ обработать ѣдкимъ кали въ пипеткѣ для углекислоты, чтобы удалить кислые пары.

Если при опредѣленіи содержанія кислорода и окиси углерода хотять быть всегда вполне увѣренными въ правильности, то слѣдуетъ послѣ опредѣленія углекислоты сейчасъ-же употреблять пипетку для тяжелыхъ углеводородовъ, такъ что значить при опредѣленіи углекислоты, кислорода и окиси углерода приходится пользоваться пипетками въ слѣдующемъ порядкѣ: пипетка для углекислоты, пипетка для тяжелыхъ углеводородовъ, опять пипетка для углекислоты, пипетка для кислорода съ фосфоромъ и пипетка для окиси углерода.

---

## VII.

### **Пипетка для кислорода съ растворомъ пирогалловой кислоты.**

Въ присутствіи тяжелыхъ углеводородовъ, если нужно опредѣлить только содержаніе кислорода.

удобнѣе употреблять вмѣсто двухъ пипетокъ, съ сѣрной кислотой и съ фосфоромъ, только одну пипетку съ растворомъ пирогалловой кислоты. Для этого пользуются сложной пипеткой, такой же, какъ и для раствора хлористой мѣди.

Растворъ пирогалловокислаго калия по Гемпелю готовится смѣшиваніемъ растворовъ: 5 гр. пирогалловой кислоты въ 15 куб. сант. воды и 120 гр. ѣдкаго кали въ 80 куб. сант. воды. Употребляемое ѣдкое кали не должно быть очищенное алкогелемъ, потому что тогда оно, даже если было сильно прокалено, даетъ при анализѣ невѣрные результаты. Наполняется пипетка всасываніемъ такъ-же, какъ пипетка для окиси углерода.

Поглощеніе кислорода, какъ и при употребленіи фосфора, при пониженной температурѣ происходитъ очень медленно и поэтому слѣдуетъ производить его при температурѣ не ниже  $15^{\circ}\text{C}$ . При этомъ необходимо въ теченіе 3 минутъ встряхивать растворъ, чтобы смѣшивать его съ газомъ. Такъ какъ реактивъ при этомъ и самъ по себѣ пѣнится сильнѣе, чѣмъ растворъ хлористой мѣди, то нужно особенно слѣдить, чтобы пузыри пѣны не попали въ колѣно *D*, и переводить газъ въ бюретку только обождавъ нѣкоторое время послѣ встряхиванія.

Поглотительная способность раствора—2 до  $2\frac{1}{4}$  куб. сант., поэтому можно пользоваться растворомъ не особенно долго. Такъ что пипетка для кислорода, наполняемая фосфоромъ, имѣетъ значительно боль-

шее преимущество передъ пипеткой съ растворомъ пирогалловой кислоты, вслѣдствіе своей способности почти безгранично поглощать кислородъ.

## VIII.

### Взятіе пробы топочныхъ газовъ.

Набирать газъ всего правильнѣе или позади жаровыхъ трубъ котла, или изъ послѣдняго дымохода еще передъ шиберомъ.

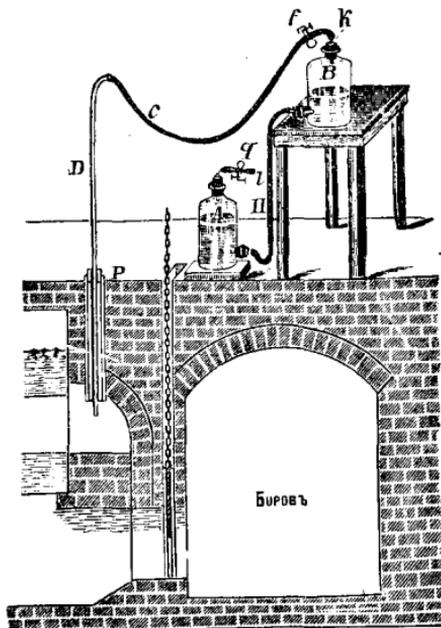
Если задняя стѣнка обмуровки котла не свободно расположена, то, чтобы достигъ послѣдняго дымохода, удобно вмазать въ обмуровку позади котла фарфоровую трубу *P* (смотри. фиг. 10) около 4 сант. діаметромъ, которая опускалась бы немного ниже свода послѣдняго дымохода. Очевидно, что обыкновенно труба *P* должна быть закрыта.

При набираниі топочныхъ газовъ опускають въ фарфоровую трубу желѣзную сосущую трубу *D*, конически суженную на верхнемъ концѣ, до 7 мм. діаметромъ, которая соединяется съ аспираторомъ посредствомъ толстостѣннаго каучука *c*; кольцеобразное пространство, остающееся между сосущей трубкой и фарфоровой трубой, совершенно плотно закрывается просверленной посрединѣ пробкой.

Для насасыванія газовъ пользуются легко переносимымъ небольшимъ *аспираторомъ съ стеклянными сосудами*, который употребляютъ, когда нужно производить изслѣдованія быстро и въ любомъ мѣстѣ;

напротивъ, для набирания топочныхъ газовъ, протекающихъ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, употребляютъ большой аспираторъ.

Малый аспираторъ состоитъ изъ двухъ стеклянокъ А и В, каждая вмѣстимостью около 4 литровъ, съ



Фиг. 10.

тубусомъ около дна. Для наполненія аспиратора употребляютъ неполнѣ очищенный глицеринъ, который разбавляютъ водою приблизительно до 42° Бриксъ, чтобы сдѣлать его болѣе подвижнымъ. Въ тубусы стеклянокъ вставляютъ черезъ просвер-

ленные пробки стеклянные трубки, соединенные между собой толстостѣннымъ каучукомъ *H* длиною около  $1\frac{1}{2}$  метра; эти трубки должны быть не меньше 7 миллиметровъ діаметромъ въ свѣту для болѣе быстраго переливанія густого глицериноваго раствора. Разбавленнаго глицерина наливаютъ столько, что, когда стеклянка *B* наполнена до верху, то въ *A* уровень жидкости перекрываетъ нижній тубусъ. Такъ какъ обмуровка надъ боровомъ по большей части довольно сильно нагрѣвается, то стеклянки аспиратора не слѣдуетъ ставить непосредственно на нее; лучше всего подкладывать широкій обрубокъ дерева и, конечно, смотрѣть, чтобы и каучукъ не лежалъ на горячемъ полу.

Глицеринъ имѣетъ свойство поглощать гораздо меньшее количество газовъ, чѣмъ вода; однако, прежде чѣмъ употребить его въ первый разъ для аналитическихъ цѣлей, слѣдуетъ оставить его въ теченіе долгаго времени въ прикосновеніи съ топочнымъ газомъ, чтобы достичь полного насыщенія его способными растворяться топочными газами.

Такъ какъ въ началѣ набиранія газа въ сосущей желѣзной трубѣ *D*, въ соединительномъ каучукѣ *c* и въ горлышкѣ стеклянки *B* находится атмосферный воздухъ, который смѣшивается съ входящими въ стеклянку *B* топочными газами, то стеклянку *B* почти цѣликомъ наполняютъ газомъ, — при этомъ глицеринъ перетекаетъ изъ выше стоящей стеклянки *B* въ *A*, — чтобы возможно сильнѣе понизить процентное содержаніе воздуха въ газовой смѣси.

Затѣмъ мѣняютъ мѣста стекляногъ *A* и *B*, ставятъ *B* на полъ, *A* выше и вытѣсняютъ газовую смѣсь черезъ *D* обратно въ дымоходъ. Когда *B* наполнится почти до верху, опять мѣняютъ положеніе стекляногъ *A* и *B* и снова насасываютъ газъ. Эту операцію повторяютъ еще 2 раза, послѣ чего можно быть увѣреннымъ, что имѣютъ дѣло съ топочнымъ газомъ, изъ котораго удалены послѣдніе слѣды остававшагося атмосфернаго воздуха.

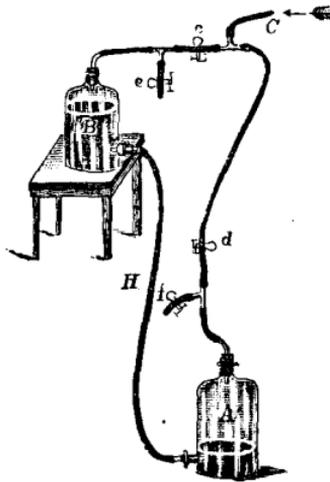
Когда послѣ послѣдняго насасыванія топочнаго газа стеклянка *B* почти совершенно наполнится имъ, еще разъ поднимаютъ стеклянку *A* выше чѣмъ *B* и во время начавшагося обратнаго теченія газа въ дымоходъ плотно закрываютъ каучукъ *c* около кольчатой трубки *k* крѣпкимъ зажимомъ *f*, который раньше конечно былъ передвинуть и висѣлъ пружинымъ кольцомъ на стеклянной трубкѣ *k*.

Теперь чистый топочный газъ уже запертъ въ стеклянкѣ *B*, слѣдуетъ также закрыть выходъ *l* изъ стеклянки *A* посредствомъ зажима *q*, затѣмъ снимаютъ каучукъ *c* съ конца сосущей трубы *D* и переносятъ все въ лабораторію; здѣсь прежде всего взбалтываютъ глицеринъ въ стеклянкѣ *B* съ газомъ, чтобы такимъ образомъ сдѣлать однороднымъ газъ, набранный въ теченіе нѣкотораго промежутка времени, такъ какъ въ разные моменты, благодаря неравномѣрности топки, онъ имѣетъ различный составъ. Затѣмъ ставятъ стеклянку *B* на рабочій столъ, а стеклянку *A* соответственно выше и открываютъ зажимъ *q*, сообщающій *A* съ наруж-

нымъ воздухомъ, въ теченіе короткаго промежутка времени газу даютъ вытекать и опять плотно закрываютъ каучукъ с зажимомъ *f* у конца стеклянной трубки.

Переводъ газа въ бюретку совершается точно такъ, какъ описано въ I главѣ.

Чтобы избѣжать обратнаго вытѣсненія газа въ



Фиг. 11.

боровъ и многократнаго промыванія аспиратора газомъ при каждомъ новомъ опытѣ, по предложенію д-ра Феттбаккъ кромѣ тубусовъ соединяютъ также и горлышки стклянокъ другъ съ другомъ посредствомъ каучука, въ который вставлены три Т-образныя трубки, изъ которыхъ средняя соединяется съ сосущей трубой *C* (фиг. 11), а двѣ другія слу-

жать для набирания газа для анализа въ бюретку и соединения прибора съ атмосферой.

Объ стеклянки безразлично служатъ какъ для насасыванія, такъ и для нагнетанія топочныхъ газовъ, которые здѣсь не нужно, какъ только что было описано, переводить обратно въ боровъ, чтобы вытѣснить примѣшанный вначалѣ воздухъ; напротивъ, газы можно отбирать всегда изъ стеклянки, стоящей ниже.

Въ примѣрѣ, изображенномъ на фиг. 11, топочный газъ набирается въ *B*, причемъ зажимы *c* и *f* открыты, напротивъ *e* и *d* закрыты; если стеклянка *A* уже наполнена чистымъ газомъ, то *f* можетъ служить для взятія пробы газа.

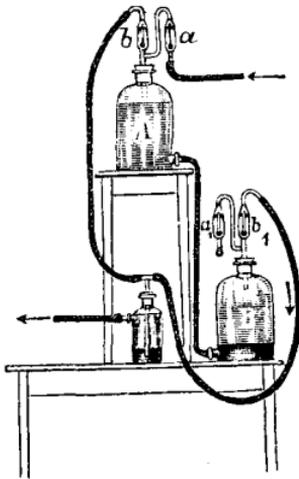
Вмѣсто зажимовъ *c* и *e*, а также *d* и *f* можно пользоваться по предложенію Артура Розенгеймъ <sup>1)</sup> стеклянными вентилями Зако, какъ это представлено на фиг. 12.

Клапаны вентиляей представляютъ собою стеклянныя палочки, нижній конецъ которыхъ пришлифованъ къ расширенію стеклянной трубки. При малѣйшей разницѣ давленій эти клапаны поднимаются или опускаются и такимъ образомъ автоматически открываютъ или закрываютъ соответствующую стеклянную трубку. Когда жидкость течетъ изъ стеклянки *A* въ *B*, въ *A* образуется разрѣженіе, стеклянный клапанъ въ *a* поднимается и такимъ образомъ засасывается газъ, а въ это время *b*

---

<sup>1)</sup> „Chemiker-Zeitung“, Rep. 1899, S. 197.

остаётся закрытымъ, благодаря давленію, образуемому въ *B*, потому что жидкость, вытекающая изъ *A* въ *B*, сжимаетъ здѣсь воздухъ, почему открывается *b*, и закрывается *a*<sub>1</sub>. Такимъ образомъ токъ воздуха или газа, если стеклянка *B* уже наполнена имъ, принимаетъ направленіе, обозначенное стрѣлками.



Фиг. 12.

Когда *A* опорожнится почти до сточной трубки, то нужно только перемѣнить мѣста обѣихъ стеклянокъ.

Автору, къ сожалѣнію, не случалось работать съ этими вентилями, которые

каждый разъ нужно испытывать на плотность запора.

Нужно внимательно слѣдить, чтобы по окончаніи анализа не оставлять газъ въ *B* подъ давленіемъ, такъ какъ даже самые лучшіе каучуки немного пропускаютъ газъ и значить даже при совершенной плотности пробокъ и т. п. глицериновый растворъ съ теченіемъ времени можетъ проникнуть въ каучукъ *c* (фиг. 10), что при дальнѣйшихъ анализахъ можетъ быть совершенно нежелательной помѣхой.

При набираниіи газа изъ дымохода нужно особенно

тщательно слѣдить за тѣмъ, чтобы глицеринъ не попалъ въ сосущій газъ каучукъ, потому что если хоть капля его попадетъ въ горячую, на концѣ часто раскаленную желѣзную сосущую трубу, то, конечно, глицеринъ начнетъ разлагаться и газообразные и парообразные продукты разложенія смѣшаются съ топочнымъ газомъ, такъ что взятая проба будетъ неправильна.

Еще разъ напоминаемъ здѣсь, что передъ отмѣриваніемъ газа въ бюреткѣ слѣдуетъ обождать въ-которое время, пока онъ приметъ комнатную температуру.

Устройство и снаряженіе уже упомянутыхъ *большихъ аспираторовъ* будетъ описано въ одной изъ послѣдующихъ главъ. Предварительно мы рассмотримъ еще другое примѣненіе малаго аспиратора, притомъ встрѣчающееся только въ сахарномъ производствѣ.

---

## IX.

**Взятіе пробы сатураціоннаго газа изъ сосущей трубы газоваго насоса и изъ известковой печи.**

Слѣдуетъ взять за правило—брать пробу сатураціоннаго газа всегда въ какомъ нибудь одномъ мѣстѣ газовой трубы, будь это въ самой лабораторіи или на одной изъ сатураціонныхъ станцій завода. Если содержаніе углекислоты въ газѣ нормальное, а кислорода содержится не болѣе 1, максимумъ 2%, то не представляется никакого повода брать

пробу газа откуда нибудь кромѣ нагнетательной трубы. Но бываютъ случаи, когда хотять выяснитъ причину слишкомъ высокаго содержанія кислорода въ газѣ, зависящую или отъ слишкомъ большого притока воздуха въ известковую печь, или же отъ неплотности сосущей газъ трубы. Въ этомъ случаѣ необходимо брать газъ непосредственно при выходѣ его изъ известковой печи или изъ сосущей трубы ближе къ насосу на легко доступныхъ мѣстахъ, пока не опредѣлится мѣсто притока излишняго воздуха.

Взятіе газа изъ сосущей трубы основано на томъ, что употребляемый при этомъ аспираторъ сосетъ сильнѣе, чѣмъ газовый насосъ на мѣстѣ взятія пробы, поэтому стеклянка *B* малаго аспиратора должна по большей части стоять очень высоко надъ *A* и въ соединеніе обѣихъ стеклянокъ въ этомъ случаѣ нужно вставить еще кусокъ каучука.

Полезно прежде всего опредѣлить степень разрѣженія въ газовой трубѣ на мѣстѣ пробы, для чего на ней просверливаютъ отверстие и ввертываютъ маленькій кранъ, передній конецъ котораго образуетъ трубку, на которую можно надѣть кусокъ соединительнаго каучука. Съ этимъ каучукомъ соединяютъ стеклянную трубку, изгибающуюся внизъ, ковецъ которой опускаютъ въ сосудъ со ртутью. Открывъ осторожно кранъ, можно измѣрить въ миллиметрахъ столбикъ поднявшейся ртути.

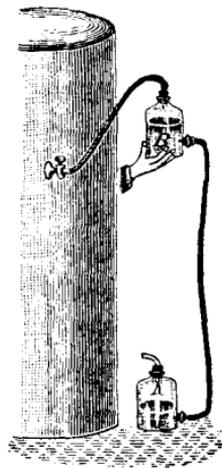
Степень разрѣженія колеблется конечно въ зависимости отъ дѣйствія газоваго насоса въ широкихъ

предѣлахъ. Въ известковой печи она составляетъ около 9—13 сант., вблизи газоваго насоса 10—16 сант. ртутнаго столба.

Хорошимъ мѣстомъ для набирания испытуемаго газа служить лаверъ, въ которомъ приблизительно на половинѣ высоты просверливаютъ отверстіе, чтобы не нужно было употреблять слишкомъ длинной соединительной трубки отъ лавера къ стеклянкѣ *B* (фиг. 13).

Эта соединительная трубка представляетъ собою или несжимающійся каучукъ съ спиральной металлической прокладкой, или обыкновенный толстостѣнный каучукъ, который для уменьшенія сдавливанія при внутреннемъ разрѣженіи по всей длинѣ наполненъ короткими стеклянными трубочками, оплавленными на концахъ. Конечно, можно также употреблять болѣе длинныя стеклянныя трубки, соединенныя кусками каучуковыхъ трубокъ, что однако не совсѣмъ удобно.

Если нужно брать газъ изъ известковой печи, то просверливаютъ отверстіе наверху на крышѣ печи и въ него вводятъ желѣзную сосущую трубу, употребляемую для набирания топочныхъ газовъ; или всовываютъ эту трубку въ одно изъ боковыхъ шуровальныхъ отверстій известковой печи, причемъ



Фиг. 13.

слѣдуетъ позаботиться о томъ, чтобы оставшаяся свободной часть отверстія вокругъ трубки была плотно заткнута мокрыми тряпками или тщательно замазана глиной.

Въ различныхъ сферахъ известковой печи газъ имѣеть, конечно, очень различный составъ и нужно опредѣлить, не выходитъ-ли сатураціонный газъ изъ известковой печи уже съ слишкомъ высокимъ содержаніемъ кислорода, вмѣстѣ съ тѣмъ нужно подвергнуть изслѣдованію сферы, лежащія вблизи мѣста, изъ котораго отходить сосущая труба газоваго насоса. Такъ, на примѣръ, можетъ случиться, что немного ниже лежащая сфера даетъ совершенно нормальный газъ, а верхняя — слишкомъ богатый кислородомъ, что указываетъ на неплотности крышки известковой печи, которыя очень легко получаютъ.

Въ французскихъ печахъ, гдѣ вмѣстѣ съ известнякомъ загружается чистый коксъ, на ряду съ окисью углерода иногда въ известной области встрѣчается также водородъ; въ этомъ случаѣ каждый разъ при употребленіи аспиратора нужно имѣть въ виду опасность взрыва. Поэтому газовую смѣсь предварительно испытываютъ способомъ, известнымъ каждому химику: въ пробиркѣ воспламеняется ли она, и въ томъ случаѣ, если она воспламеняется и воспламененіе сопровождается взрывомъ, слѣдуетъ остерегаться выпускать газъ изъ аспиратора вблизи огня.

Для примѣра приводимъ среднія числа анализовъ

сатураціоннаго газа за 4 производства сахароваренія и количества горючаго въ процентахъ на загружаемый известнякъ въ известковой печи съ топкою бурымъ углемъ и загрузкой подъ известнякъ кокса:

Производство	Сатураціонный газъ		Употреблено бурого угля на 100 частей известняка %	Загрузка кокса на 100ч. известняка %
	Содержаніе углекислоты въ %.	Содержаніе кислорода въ %.		
18 <sup>93</sup> / <sub>94</sub>	25,0	2,4	30,9	1,7
18 <sup>94</sup> / <sub>95</sub>	28,0	1,9	27,4	2,8
18 <sup>95</sup> / <sub>96</sub>	25,3	3,0	26,6	2,2
18 <sup>96</sup> / <sub>97</sub>	27,9	1,9	25,1	3,5

Въ предпоследнее изъ приводимыхъ производствъ труба, проводящая сатураціонный газъ и лежащая на большомъ протяженіи въ землѣ, много разъ давала трещины и могла быть замѣнена новой только лѣтомъ.

## X.

**Контроль работы известковой печи на основаніи калориметрическаго и химическаго изслѣдованія выжженной извести.**

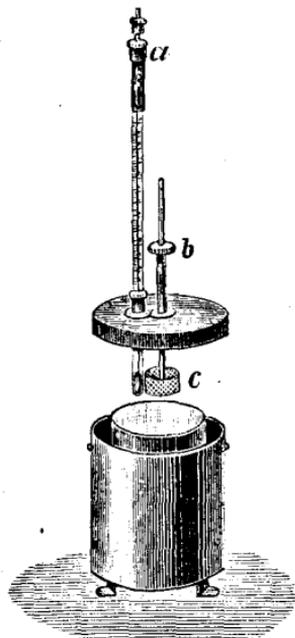
Хорошій и правильный ходъ работы известковой печи можно узнать не только по содержанію угле-

кислоты въ выдѣляющемся газѣ, который на сахарныхъ заводахъ отсасывается посредствомъ газоваго насоса и подъ именемъ сатураціоннаго газа примѣняется для обратнаго выдѣленія извести изъ свекловичнаго сока, но также и по добротности обожженной въ печи извести.

Извѣстно, что достоинство жженой извести зависитъ главнымъ образомъ отъ количества содержащейся въ ней окиси кальція, способной гаситься, тогда какъ остальные составныя части могутъ считаться полезными или вредными, смотря по тому, для какого употребленія предназначается известь. Известь богатая кремнекислотой и глиной можетъ считаться очень хорошею для строительныхъ цѣлей, въ особенности для гидротехническихъ сооружений, но въ свеклосахарномъ производствѣ, гдѣ известь примѣняется для очистки свекловичнаго сока, эти составныя части приносятъ только вредъ. Химическій анализъ известняка передъ процессомъ обжига можетъ намъ дать указаніе только на то, годится-ли данный матеріалъ для опредѣленной цѣли; между тѣмъ по анализу известняка мы не можемъ вычислить, сколько будетъ содержаться въ полученной изъ него жженой извести дѣйствительно свободной окиси кальція и сколько окиси кальція будетъ связано съ кремнеземомъ и глиноземомъ— другими составными частями известняка, или сдѣлается не дѣйствующею вслѣдствіе пережиганія, благодаря слишкомъ высокой температурѣ въ известковой печи.

Прекрасный методъ быстрого приближительнаго опредѣленія свободной окиси кальція, способной гаситься, даетъ Штипель<sup>1)</sup>; онъ пользуется для этого очень остроумно сконструированнымъ и простымъ калориметромъ, посредствомъ котораго измѣряется количество теплоты, выдѣляющееся при реакціи между водой и окисью кальція и пропорціональное количеству дѣятельной извести.

Калориметръ (фиг. 14) состоитъ изъ наружнаго и внутренняго цилиндрическихъ сосудовъ, сдѣланныхъ изъ твердаго каучука, и крышки, къ которой при закрываніи плотно придавливается выступающій внутренній сосудъ посредствомъ спиральной пружины. Въ крышкѣ просверлены два отверстія, одно для термометра *a*, другое для мѣшалки. Мѣшалка состоитъ изъ стержня *b*, на нижнемъ концѣ котораго прикрѣпленъ стаканчикъ *c* сдѣланный изъ сѣтки,



Фиг. 14.

<sup>1)</sup> Zeitschrift d. Vereins d. Deutsch. Zuckerindustrie. 1901, S. 897—902.

въ который и помѣщается изслѣдуемая известь. Гашеніе ея водою происходитъ въ стеклянномъ стаканѣ, помѣщенномъ во внутреннемъ эбонитовомъ сосудѣ, въ который известь погружается вмѣстѣ съ сѣткой.

Термометръ раздѣленъ не на градусы Цельсія или Реомюра, напротивъ, онъ прямо показываетъ количество способной гаситься извести въ процентахъ. Каждое дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ повышенію температуры, которое вызываетъ 1% *Ca O*. Къ каждому прибору дается нормальный вѣсъ, указывающій водяное число калориметра, т. е. то количество извести, которое расходуется на нагрѣваніе самого прибора, не вызывая повышения температуры воды, находящейся во внутреннемъ стаканѣ.

Опредѣленіе производится такимъ образомъ: въ стаканъ отмѣриваютъ пипеткой 50 куб. сант. дестиллированной воды, отвѣшенное количество извести помѣщаютъ въ сѣтчатый стаканчикъ мѣшалки, установивъ ее посредствомъ винта *b* на такой высотѣ, чтобы при закрываніи крышки она не могла погрузиться въ воду, и тогда закрываютъ крышку. Затѣмъ устанавливаютъ нуль подвижной шкалы на одной высотѣ съ столбикомъ ртути, установившимся въ зависимости отъ комнатной температуры, погружаютъ известь въ воду помощью мѣшалки, которую непрерывно двигаютъ вверхъ и внизъ, причѣмъ каждую минуту записываютъ соотвѣтствующую высоту термометра.

Когда ртуть достигнетъ наивысшаго уровня, тогда соотвѣтствующее дѣленіе шкалы будетъ какъ разъ равняться процентному содержанію способной гаситься извести во взятомъ образцѣ жженой извести.

При употребленіи химически чистой жженой извести, полученной изъ мрамора и имѣющей видъ твердой пластинки или цилиндра, спрессованныхъ изъ предварительно измельченной въ порошокъ извести, можно опредѣлить поглотительную способность каждаго отдѣльнаго калориметра и нужную для него величину нормальной навѣски извести, причѣмъ для полнаго гашенія и значить для достиженія наивысшаго показанія термометра достаточно перемѣшивать въ теченіе 2—3 минутъ. Калориметры, изготовляемые Петерсъ <sup>1)</sup>, при такомъ испытаніи показываютъ точно сто процентовъ.

Въ прилагаемомъ наставленіи для испытанія изслѣдуемой извести говорится, что известь слѣдуетъ брать въ видѣ кусочковъ величиною съ горошину. Многіе параллельные опыты, произведенные въ лабораторіи сахарнаго завода Мюльбергъ на Э. съ различными образцами извести показали однако, что чѣмъ хуже известь сама по себѣ или чѣмъ она старѣе или болѣе пережжена, тѣмъ меньше найденное количество окиси кальція соотвѣтствуетъ дѣйствительному и тѣмъ медленнѣе и меньше получаемое повышение температуры.

---

<sup>1)</sup> Julius Peters, Berlin, Turmstr. 4.

Если же напротивъ приготовить изъ изслѣдуемой извести прессованный цилиндрикъ, причѣмъ вслѣдствіе размельченія получается и болѣе правильная средняя проба, то этотъ методъ даетъ болѣе высокій результатъ въ значительно меньшей промежутокъ времени, нежели при употребленіи кусковъ величиной съ горошину; тогда этотъ результатъ тѣмъ болѣе приближается къ дѣйствительному содержанію свободной окиси кальція, чѣмъ чище и свѣжѣе жжена известь.

Такъ на примѣръ, два различные образца извести съ содержаніемъ въ 92,0 и 81,2% чистой свободной окиси кальція при изслѣдованіи въ кускахъ величиною съ горошину дали 77,2% въ 18 минутъ и 62,4% въ 24 минуты; а при изслѣдованіи въ видѣ прессованныхъ пластинокъ—90,5% въ 12 минутъ и 76,0 въ 15 минутъ.

Точное опредѣленіе свободной чистой окиси кальція можно еще легче произвести по методу Шейблеръ-Зейфартъ<sup>1)</sup> слѣдующимъ образомъ:

Отвѣшиваютъ точно 5 гр. изслѣдуемой извести измельченной въ порошокъ, переводятъ въ колбу въ 250 куб. сант. емкостью, обливаютъ 30 куб. сант. горячей воды и ставятъ неплотно закрытую колбу на полчаса на кипящую водяную баню, причѣмъ изрѣдка слегка взбалтываютъ, чтобы кашеобразная масса не затвердѣла. По прошествіи этого

---

<sup>1)</sup> Scheiblers «Neue Zeitschr. f. Rübenzuckerindustrie» 1879, Bd. III, S. 238/9.

времени даже трудно гасимая известь совершенно превращается въ кашеобразный гидратъ окиси кальція.

Между тѣмъ отвѣшиваютъ 70—80 гр. бѣлаго сахара, всыпаютъ его въ колбу въ 250 куб. сант. емкостью и растворяютъ, прибавивъ 150 куб. сант. горячей воды. Когда этотъ растворъ будетъ имѣть температуру  $60^{\circ}$ , известковое молоко тоже охлаждають, чтобы на ощупь оно имѣло приблизительно ту-же температуру, приливаютъ къ нему сахарный растворъ и все быстро взбалтываютъ. Взбалтываніе продолжаютъ нѣкоторое время, пока растворъ не сдѣлается немного прозрачнѣе, впрочемъ и потомъ втеченіе получаса растворъ не слѣдуетъ оставлять въ совершенномъ покоѣ. Какъ растворъ сахара, такъ и известковое молоко передъ смѣшиваніемъ должны имѣть температуру не выше  $60^{\circ}$ , потому что при химической реакціи, происходящей при смѣшиваніи, выдѣляется теплота, а при  $85^{\circ}$  изъ 1- и  $1\frac{1}{2}$ -основнаго растворимаго сахара извести уже начинаетъ выдѣляться трехосновный нерастворимый въ водѣ сахаратъ.

Смѣсь оставляютъ стоять часовъ 5—6 въ тепломъ мѣстѣ, изрѣдка взбалтывая, затѣмъ отфильтровываютъ и титруютъ нормальнымъ растворомъ соляной кислоты, причемъ лучше всего брать для титрованія 50 куб. см. фильтрата. Первую струю фильтрата не берутъ, а даютъ ей стечь, такъ какъ она немного бѣднѣе кальціемъ, вслѣдствіе способности клѣтчатки поглощать известь. Число упо-

требленныхъ кубическихъ сантиметровъ кислоты умножаютъ на 2,8 и получаютъ прямо процентное содержаніе свободной окиси кальція.

Третій и быстрый способъ объемнаго опредѣленія жженой извести предложенъ Кенигъ. Хотя онъ и не даетъ совершенно точныхъ результатовъ, но вполне пригоденъ для техническихъ изслѣдованій, особенно въ слѣдующемъ упрощенномъ видѣ:

20 гр. порошкообразной извести помѣщаютъ въ литровую мѣрительную колбу, гасятъ вполне небольшимъ количествомъ воды и затѣмъ, взбалтывая, дополняютъ водой до мѣтки. Изъ полученнаго такимъ образомъ известковаго молока берутъ 50 куб. сант., содержащихъ точно 1,0 гр. изслѣдуемаго вещества, и титруютъ нормальнымъ растворомъ соляной кислоты, употребляя, какъ индикаторъ, фенофталеинъ. 1 куб. сант. нормальной соляной кислоты = 0,028 гр. Са О. По этому методу можно, конечно, опредѣлять гидратъ окиси кальція также въ приготовленномъ уже въ большомъ количествѣ известковомъ молокѣ, съ полной увѣренностью, что взятая проба — дѣйствительно средняя.

Общую основность въ жженой извести опредѣляютъ прямо титрованіемъ.

Для этой цѣли по указанію Фрюлингъ и Шульцъ <sup>1)</sup> отвѣшиваютъ 2,80 гр. извести въ порошокъ, переносятъ ее въ объемистую фарфоровую чашку, при-

---

<sup>1)</sup> Dr. Frühling und Schulz «Anleitung zu Untersuchungen für die Zuckerindustrie», 4. Aufl., S. 247 ff.

ливаютъ 100 куб. см. нормальной азотной кислоты и кипятятъ. Послѣ охлажденія титруютъ обратно нормальнымъ же растворомъ ѣдкаго натра. Если вычесть израсходованное число куб. сант. ѣдкаго натра изъ 100, то разность и будетъ равняться общему процентному содержанію основаній, причемъ всѣ свободные и связанные щелочно-земельные металлы, а также и слѣды щелочей будутъ считаться за кальцій.

Анализы одного и того же образца жженого известняка, произведенные различными способами, дали слѣдующіе результаты:

- I. по Фрюлингъ и Шульцъ . . . 89,1%, всѣхъ основаній;
- II. по Кенигъ . . . . . 78,96% свободныхъ и отчасти связанныхъ основаній;
- III. по Шейблеръ-Зейфартъ . . . 76,02% свободной чистой окиси кальція;
- IV. по Штипель (въ пластинкахъ) 75,0% приблизительно свободной окиси кальція;
- V. по Штипель (кусочки велич. съ горошину) . . . . . 64,7% большая часть свободной окиси кальція.

Данныя I—III анализа, полученные титрованіемъ, включаютъ также и содержащіеся въ извести слѣды щелочей.

Большая разница между III съ одной стороны, I и II анализами съ другой обуславливается по ука-

занію Зейффартъ <sup>1)</sup> тѣмъ, что алюминатъ и силикатъ кальція ( $Al_2Ca_2O_6 + 3H_2O$  и  $Ca_2SiO_4 + 2H_2O$ ) остаются нерастворившимися въ растворѣ сахара; эти соединенія при очисткѣ свекловичнаго сока въ случаѣ высокой щелочности его остаются недѣятельными, а при слѣдующей затѣмъ сатураціи углекислотой или сѣрнистой кислотой разлагаются и образуютъ растворимые въ содержащихся въ сокѣ щелочахъ желатинообразные гидраты глинозема и кремнезема, которые обусловливаютъ сильную вязкость сгущеннаго сахарнаго сиропа.

---

## XI.

### **Аспираторы для продолжительнаго набіранія топочныхъ газовъ.**

Для хорошаго наблюденія за топками нужно изслѣдовать топочные газы не только время отъ времени, а по возможности непрерывно. Если часто набирать газъ въ помѣщеніи паровичной при помощи описаннаго уже малаго аспиратора, то эта операція отниметъ слишкомъ много времени; кромѣ того взятая посредствомъ него проба газа соотвѣтствуетъ лишь очень короткому промежутку времени дѣйствія топки.

Можно лучше достигъ указанной цѣли, пользуясь большимъ аспираторомъ, поставленнымъ въ лабораторіи и для насасыванія топочнаго газа соеди-

---

<sup>1)</sup> Scheiblers «Neue Zeitschr. f. Rübenzuckerind.» 1879, III, 233 ff.; также «Die Deutsche Zuckerindustrie» 1879, № 43—45.

неннымъ съ паровичной подходящимъ трубопроводомъ. Для этого можно воспользоваться тонкими мѣдными трубками въ 5 миллим. наружнаго и въ 3 мм. внутренняго діаметра, а также и свинцовыми трубками, употребляемыми обыкновенно для пневматическихъ звонковъ, около 10 миллим. наружнаго діаметра и 5 миллим. въ свѣту.

Чтобы можно было когда угодно контролировать любой котель, поверхъ cadaго котла прокладывается газовая труба въ  $\frac{1}{4}$  дюйма съ патрубкомъ въ  $\frac{5}{8}$  дюйма и съ газовымъ вентиляемъ тоже въ  $\frac{5}{8}$  дюйма для большей плотности, потому что меньшіе газовые вентили рѣдко сохраняютъ плотность запора при продолжительной работѣ. Соединительный патрубокъ, ведущій къ каждому котлу, развѣтвляется потомъ, направляясь къ лежащимъ по обѣ стороны дымоходамъ; эти отвѣтвленія должны быть одинаковой длины, чтобы, благодаря одинаковому сопротивленію отъ тренія газа о стѣнки трубы, изъ обоихъ дымоходовъ за одинъ и тотъ же промежутокъ времени насасывалось приблизительно одинаковое количество газовъ. Если труба, ведущая въ лабораторію, должна имѣть очень большую длину, то во избѣжаніе слишкомъ большой емкости ея вмѣсто газовой трубы въ  $\frac{1}{4}$  дюйма предпочитаютъ пользоваться мѣдной трубкой всего въ 3 миллим. діаметромъ.

Можно брать пробу газа и изъ борова только въ случаѣ, если работаютъ всѣ котлы, потому что иначе черезъ дымоходы неработающаго котла про-

никла бы масса атмосфернаго воздуха; въ этомъ случаѣ нужно также позаботиться, чтобы воздухъ не проникалъ черезъ отверстія котельныхъ шиберовъ, трещины въ обмуровкѣ и т. д. Кромѣ того слѣдуетъ особенно обратить вниманіе на то, чтобы труба, сосущая газъ, совершенно плотно сидѣла бы въ сдѣланномъ для нея въ обмуровкѣ котла или борова отверстіи и совсѣмъ не пропускала бы воздуха.

Существуетъ много конструкцій аспираторовъ, служащихъ для продолжительнаго набирания газовъ. Прежде опишемъ аспираторъ похожій на описанный уже ранѣе малый и состоящій изъ двухъ независимыхъ другъ отъ друга сосудовъ, который мы будемъ называть „большимъ“.

Каждый изъ сосудовъ *A* и *B* (фиг. 15), составляющихъ аспираторъ, представляетъ собою цилиндръ около 50 сант. высокою и 22—23 сант. діаметромъ, такъ что вмѣстимость каждаго цилиндра равняется приблизительно 20 литрамъ; удобно дѣлать ихъ изъ толстаго листового цинка. На половинѣ высоты цилиндры утолщены припаянными широкими кольцами, къ которымъ приклепаны ручки для переноски. Крышки цилиндровъ должны быть сдѣланы изъ особенно толстыхъ листовъ, чтобы онѣ представляли достаточное сопротивленіе при плотномъ вставленіи пробки, для которой онѣ должны быть снабжены шейкой около 45 миллим. діаметромъ. Нижнее дно во избѣжаніе поврежденій при поднятіи тяжелаго наполненнаго глицериномъ

сосуда укрѣпляется приклепаннымъ вѣнчикомъ изъ листового желѣза.

Въ горлышко каждаго такого сосуда вставляется каучуковая пробка съ тремя просверленными отверстиями. Въ большія отверстия обѣихъ пробокъ вставляютъ стеклянныя трубки *a* и *b* въ 11 миллим. діаметромъ въ свѣту, изогнутыя на верху подъ прямымъ угломъ, такъ чтобы онѣ доходили почти до дна сосуда. Обѣ стеклянныя трубки соединяются между собой каучукомъ *C* около 1,6 метра длиной и 11—12 миллим. діаметромъ. Для запиранія вмѣсто большого зажима Мора, легко разрѣзающаго каучукъ, можно употреблять деревянный зажимъ *K*, который легко сдѣлать, обвязавъ кусокъ толстаго ивоваго прута на одномъ концѣ тонкой проволокой и расщепивъ другой конецъ; послѣ того, какъ зажимъ надѣтъ на каучукъ, оба свободные конца его стягиваютъ, надѣвъ на нихъ плотное каучуковое кольцо, какія обыкновенно употребляются въ паровичныхъ для уплотненія водомѣрныхъ стеколъ. Этотъ зажимъ не такъ легко портитъ каучукъ, благодаря своей широкой поверхности прикосновенія, и лучше запираетъ.

Такъ какъ оба сосуда *A* и *B* при употребленіи, какъ и стклянки малаго аспиратора, поочередно ставятся одинъ выше, другой ниже, то при этомъ широкій каучукъ *C* легко перегибается у конца стеклянной трубки. Этого можно избѣгнуть, если на этомъ мѣстѣ вставить въ каучукъ плотно одинъ за другимъ 2 или 3 очень короткихъ стеклянныхъ тру-

бочки съ оплавленными концами, діаметръ которыхъ равенъ діаметру каучука въ свѣту.

Въ просверленную пробку сосуда *B* вставляютъ далѣе изогнутую стеклянную трубку *c* діаметромъ въ 6—7 миллим., которая посредствомъ толстостѣннаго каучука *S* около 1 метра длиной соединяется съ свинцовой приводящей газъ трубкой, конецъ которой для надѣванія каучука нужно сдѣлать значительно толще, припаявъ къ нему тонкостѣнную мѣдную трубочку.

Въ третье отверстіе каучуковой пробки сосуда *B* вставляется изогнутая трубка *d* съ шарообразнымъ расширеніемъ, служащая для набирания пробы газа при анализѣ и снабженная для этой цѣли каучукомъ *P*, около 0,6 метра длины и 4 миллим. діаметромъ, окончивающимся стекляннымъ наконечникомъ, который соединяется съ извѣстнымъ уже намъ каучукомъ *d* мѣрительной бюретки Гемпеля.

Прежде чѣмъ набирать газъ, нужно наполнить сосудъ *B* растворомъ глицерина, который употребляется и въ этомъ аспираторѣ; для этого ставятъ сосудъ *A* выше чѣмъ *B* (на рис. изображено наоборотъ), и даютъ жидкости показаться въ трубкахъ *c* и *d*; такъ какъ жидкость въ нихъ очень быстро поднимается, благодаря сравнительно широкой соединительной трубкѣ *C*, то сосущая трубка *c* должна быть на нѣсколько сантиметровъ выше пробной трубки *d*, чтобы глицеринъ не могъ перелиться въ трубу, приводящую газъ. Благодаря стеклянному шару на трубкѣ *d*, скорость поднятія



Второе отверстие, просверленное въ каучуковой пробкѣ сосуда *A*, служить для введенія короткой изогнутой подъ прямымъ угломъ стеклянной трубки *h*, которая соединяетъ внутренность цилиндра съ наружнымъ атмосфернымъ воздухомъ. Въ третье отверстие пробки, немного шире просверленное, вставляется воронка *g*.

Оба сосуда аспиратора *A* и *B* снабжены водомѣрными стеклами. Тубусы для вкладыванія каучуковыхъ пробокъ съ стеклянными водомѣрными трубками должны быть внутри гладкими, на это слѣдуетъ обратить вниманіе, потому что неопытный жестяникъ въ этомъ случаѣ по большой части оставляетъ острымъ внутренній край листа, изъ котораго свертываетъ тубусъ, а тогда даже при употребленіи каучуковой пробки трудно достигъ запора, непроницаемаго для воздуха.

Въ каждый сосудъ около дна плотно вдѣланъ небольшой спускной кранъ. Кранъ *m* на сосудѣ *B* снабженъ прямой сточной трубкой, чтобы къ ней можно было прикрѣпить стеклянную трубку *n*, имѣющую форму лебединой шеи и служащую для того, чтобы черезъ кранъ не могъ попасть атмосферный воздухъ, когда глицеринъ вытечетъ. Сточное отверстие этой трубки *n*, конечно, должно находиться выше, чѣмъ нижній конецъ трубки *b*, чтобы жидкость изъ этой послѣдней не могла вытечь.

Чтобы быть увѣреннымъ, что во время насасыванія топочнаго газа вмѣстѣ съ нимъ вслѣдствіе

неплотности приводящей трубки совсѣмъ не попадаетъ атмосферный воздухъ, дѣлають слѣдующее испытаніе: сосудъ *B*, наполненный глицериномъ немного выше каучуковой пробки, ставятъ на столъ, а сосудъ *A* на полъ. При закрытомъ сосушемъ каучукъ *S* и пробномъ *P* открываютъ деревянный зажимъ *K* на сифонной трубкѣ *C*. Послѣ того, какъ установится извѣстное давленіе, соответствующее разности высотъ цилиндровъ, уровень жидкости въ *A* долженъ оставаться неизмѣннымъ въ теченіе получаса, что и будетъ служить доказательствомъ герметичности затвора. Потомъ берутъ зажимъ *K*, запирають имъ каучукъ, соединяющій въ паровичной конецъ свинцовой трубки съ желѣзной трубой, опущенной въ бороздъ, и открываютъ зажимъ на сосушемъ каучукъ *S* у конца свинцовой трубки. Уровень жидкости въ аспираторѣ такъ-же, какъ и прежде, долженъ оставаться безъ измѣненія.

Такъ какъ свинцовый или мѣдный проводникъ между лабораторіей и паровичной получается по большей части довольно длинный и требуетъ многихъ изгибовъ, то онъ только въ очень рѣдкихъ случаяхъ можетъ быть устроенъ изъ одного куска. Въ противномъ случаѣ два плотно сложенные конца свинцовой трубки соединяють подходящимъ плотнымъ каучукомъ, перевязываютъ каучукъ шнуркомъ и затѣмъ всѣ такія мѣста соединеній покрываютъ нѣсколько разъ хорошимъ желѣзнымъ лакомъ. Такъ какъ свинцовая трубка имѣетъ не такую гладкую поверхность, какъ стеклянная, то

каучукъ прилегаетъ къ ней не совсѣмъ плотно и безъ покрытія желѣзнымъ лакомъ трудно достигъ полной плотности соединеній. Можно сдѣлать это соединеніе еще вѣрнѣе и прочнѣе, если спаять концы трубокъ.

Какъ скоро убѣдятся, что весь проводникъ оказался плотнымъ, то зажимъ на каучукъ, ведущемъ къ борову, опять раскрываютъ, и плотно сложивъ концы свинцовой и желѣзной сосущей трубы, соединяютъ ихъ обрѣзкомъ каучука; это соединеніе также перевязываютъ и затѣмъ насасываютъ въ сосудъ *B* топочный газъ до тѣхъ поръ, пока цилиндръ *A* не наполнится глицериномъ. Тогда прекращаютъ соединеніе *S* съ боровомъ, ставятъ *B* на полъ, *A* на столъ и, открывъ оба зажима на пробномъ каучукъ, даютъ выйти изъ свинцовой трубки смѣси газа съ атмосфернымъ воздухомъ.

Послѣ вторичнаго наполненія сосуда *B* газомъ и послѣдующаго опорожненія при третьемъ наполненіи въ аспираторъ будетъ входить только чистый топочный газъ. Уже во время перваго наполненія слѣдуетъ чаще взбалтывать глицеринъ съ газомъ, чтобы по возможности насытить его газами, способными поглотиться. Для этой цѣли хорошо оставлять стоять наполненный на  $\frac{1}{3}$  или  $\frac{1}{2}$  сосудъ *B*, чтобы газъ могъ дѣйствовать на находящійся въ немъ глицеринъ; потому что большое количество глицерина, слегка разбавленнаго водой, поглощаетъ довольно много углекислоты, прежде чѣмъ наступитъ насыщеніе.

Въ этомъ насыщениі убѣждаются, когда послѣ долгаго стоянія заключеннаго въ аспираторъ газа содержаніе углекислоты въ немъ остается одно и то-же. Можно также осторожно выключить изъ соединенія большой аспираторъ, не давъ при этомъ воздуху опять засосаться въ свинцовый проводникъ, присоединить малый аспираторъ, уже бывшій долго въ употребленіи, и опредѣлить, содержитъ ли газъ, набранный въ послѣдній, большее количество углекислоты, или то-же самое.

Когда указанное условіе достигнуто, можно начать продолжительный контроль хода топки; хотя употребленіе аппарата понятно уже изъ описанія, однако мы вкратцѣ разсмотримъ его.

Запирають зажимъ *K* на сифонной трубкѣ *C*, ставятъ *B* на столъ, а *A* на полъ, такъ чтобы отверстіе трубки *n* приходилось надъ воронкой *g*. Затѣмъ открываютъ кранъ *m* на столько, чтобы тонкая струя глицерина лилась изъ *B* въ *A*, благодаря чему въ сосудъ *B* будутъ постепенно засасываться топочные газы. Притокъ газа при совершенно открытомъ кранѣ *m* можно также регулировать, употребляя на сосущемъ каучукѣ *S* винтовой зажимъ.

По мѣрѣ пониженія уровня жидкости въ *B* и поднятія его въ *A* давленіе жидкости изъ *B* въ *A* конечно уменьшается, такъ что время отъ времени необходимо регулировать или кранъ *m*, или регулирующий зажимъ проводника *S*.

Когда жидкость въ сосудѣ *B* спустится до уровня

верхняго края трубки *n*, вытекание жидкости прекращается само собою. Замѣтивъ это, закрываютъ сосущую трубу *S*, кранъ *m* и зажимъ *K*, ставятъ *B* наполь, *A* на столъ, опять открываютъ зажимъ *K* и тогда можно черезъ пробный каучукъ *P* перевести находящійся подъ давленіемъ газъ въ газовую бюретку Гемпеля.

Набирая топочные газы посредствомъ большого аспиратора въ теченіе 10-часового промежутка времени, можно точно контролировать ходъ топки котла за цѣлую смѣну, такъ какъ полученный образецъ газа будетъ соответствовать среднему составу газъ за этотъ промежутокъ времени.

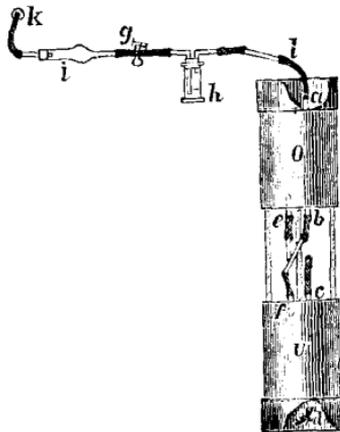
Подробное изложеніе работы съ большимъ аспираторомъ оправдывается тѣмъ, что это описаніе имѣетъ цѣлью по возможности избавить отъ первоначальныхъ затрудненій того, кто хотѣлъ бы установить продолжительный контроль топки котла.

*Аспираторы съ неподвижно соединенными сосущимъ и нагнетающимъ сосудами.*

Нѣсколько времени тому назадъ д-ръ Драве описалъ въ „Centralblatt für die Zuckerindustrie“ 1894/5 тетрадь 21, стр. 448, въ статьѣ подъ заглавіемъ „Beitrag zur Kesselhauskontrolle“ аспираторъ, уже раньше употреблявшійся Гемпелемъ, который состоитъ изъ двухъ сосудовъ, неподвижно соединенныхъ другъ съ другомъ по образцу извѣстныхъ лабораторныхъ газометровъ. Такъ какъ этотъ аппаратъ много разъ описывался, то я позволю

себѣ проще всего воспользоваться описаніемъ д-ра Драве.

„Аппаратъ состоитъ изъ двухъ неподвижно соединенныхъ, цилиндрическихъ сосудовъ *O* и *U* (фиг. 16), сдѣланныхъ изъ оцинкованнаго листового желѣза. Вместимость каждаго цилиндра равняется 5 литрамъ. Сверху и снизу припаяны обрुчи изъ листового желѣза въ 8 сант. шириною,



Фиг. 16.

которые служатъ опорами. На аппаратѣ находятся слѣдующія трубочки, спаянныя изъ жести, 6 миллим. наружнаго діаметра и 20 миллим. длиною: *a*, *b*, *c*, *d*, расположенныя на четырехъ основаніяхъ обоихъ цилиндровъ и обрѣзанныя съ внутренней стороны у самой поверхности дна; кромѣ того на основаніяхъ, обращенныхъ внутрь, — двѣ трубочки *e* и *f*, вдающіяся внутрь сосуда на 3 сантим.

Для соединенія и запиранія сосудовъ служатъ каучуки въ 10 сант. длиною, которые надѣваютъ на трубки, далѣ короткія стеклянныя трубки для соединенія каучуковъ и зажимы Мора.

Употребленіе аппарата состоитъ въ слѣдующемъ: Передъ взятіемъ пробы топочныхъ газовъ сосудъ *O* наполняютъ до верху глицериномъ въ 18—19° Боме, заставляя его входить въ *e* и открывъ *a*. Когда сосудъ *O* наполненъ, закрываютъ *a* и *e*, соединяютъ *b* и *f* посредствомъ двухъ каучуковъ и стеклянной трубочки и открываютъ *c*. Послѣ того какъ топочные газы протянуть съ помощью насосавающаго резиноваго баллона, соединеннаго съ *l*, черезъ фарфоровую трубку *k*, ведущую въ дымоходъ, черезъ ватный фильтръ *i* и черезъ промывалку *h*, соединяютъ *l* съ *a*, открываютъ *a* и закрываютъ винтовой зажимъ *g* на столько, чтобы каждую секунду черезъ промывалку *h* проходилъ только одинъ пузырекъ газа. При этомъ условіи аспираторъ насосываетъ газъ въ теченіе 10—12 часовъ, значить одной смѣны. Иногда въ теченіе этого времени приходится раскрывать немного больше зажимъ *g*, чтобы не нарушалась равномерность теченія газа. Во время очистки колосниковъ (при топкѣ каменнымъ углемъ) прекращаютъ насосываніе газа, закрывъ зажимъ на каучукъ при *a*. Когда глицеринъ перетечетъ изъ *O* въ *U*, то внутренній конецъ трубки *f*, погруженный въ глицеринъ, разъединяетъ газъ отъ атмосфернаго воздуха.

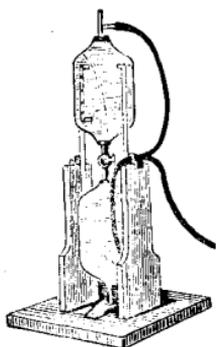
Прежде чѣмъ приступить къ анализу, закрываютъ всѣ трубки, разъединяютъ *a* и *l* и переворачиваютъ аспираторъ. Соединяютъ *e* съ *c*, открываютъ *d*, и соединяютъ *b* посредствомъ каучука съ газовой бюреткой; такъ какъ газъ находится подъ давленіемъ, то онъ можетъ быть удобно перемѣщенъ въ бюретку.

По окончаніи анализа прерываютъ соединеніе *b* съ бюреткой и даютъ глицерину цѣликомъ перелиться въ *O*. Такимъ образомъ аппаратъ снова готовъ къ употребленію. Однако каждый разъ слѣдуетъ убѣдиться, заполненъ ли дѣйствительно цилиндръ *O*, потому что при колебаніяхъ температуры объемы глицерина и сосудовъ измѣняются“.

Согласно этому описанію оказывается необходимымъ приспособленіе для улавливанія сажи. Я съ своей стороны никогда не замѣчалъ накопленія сажи въ приводящей газъ трубѣ, не смотря на постоянное насасываніе газа, при чемъ впрочемъ желѣзная сочущая трубка около 2 метровъ длиною была отвѣсно опущена въ дымоходъ и ея конецъ былъ срѣзанъ наискось такимъ образомъ, что отверстіе было направлено въ сторону движенія газовъ. Употребляемая докторомъ Драве промывалка во всякомъ случаѣ очень удобна для регулированія притока газа. Въ описываемомъ имъ аппаратѣ съ уменьшеніемъ давленія столба глицерина быстро движенія набираемаго газа также умень-

шается; такъ что съ теченіемъ времени зажимъ *g* слѣдуетъ открывать немного больше.

Съ этимъ аспириаторомъ вполне сходенъ двойной аспириаторъ Роберта Мюнке, состоящій изъ двухъ, снабженныхъ сверху и снизу шейками, стеклянныхъ или жестяныхъ сосудовъ, которые соединены между собою дужками (см. фиг. 17) и могутъ



Фиг. 17.

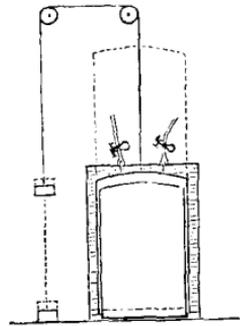
вращаться на оси, укрѣпленной на чугунной подставкѣ, такъ что перемѣщеніе сосудовъ очень облегчается этимъ вращеніемъ около неподвижной оси. На подставкѣ въ мѣстѣ укрѣпленія оси находится кранъ съ нѣсколькими ходами, который посредствомъ 2 каучуковъ соединяется съ внутренностью обоихъ сосудовъ, какъ изображено на рисункѣ. Поворачивая различнымъ образомъ ручку крана, можно по желанію соединить внутренность одного изъ сосудовъ съ нагнетающей трубой или съ атмосферой, а другой сосудъ съ сосущей трубой.

Однако за этимъ аппаратомъ во время работы нужно постоянно слѣдить, такъ какъ если во время не закрыть средній кранъ, соединяющій оба сосуда, то жидкость неизбежно попадаетъ въ нагнетающій газъ каучукъ и будетъ вытекать черезъ него.

Въ заключеніе рассмотримъ еще аспириаторъ-газо-

*метръ*, который обладает многими преимуществами сравнительно съ остальными аспираторами.

Онъ состоитъ (фиг. 18) просто изъ жестяного открытаго снизу газометра, который погружается въ немного больший, открытый сверху сосудъ, наполненный глицериномъ. Его вѣсъ приблизительно уравнивается грузомъ, привѣшеннымъ на шнуръ, прикрепленномъ къ срединѣ крышки газометра и перекинутомъ черезъ 2 блока. .



Фиг. 18.

Передъ наполненіемъ газомъ газометръ стоитъ на днѣ внѣшняго сосуда и погруженъ немного выше крышки въ глицеринъ. На крышкѣ находятся насосы и нагнетающая трубочки, которые должны имѣть достаточную длину, чтобы при самомъ низкомъ положеніи газометра онѣ всетаки выступали бы надъ краемъ внѣшняго сосуда. Нагнетающій каучукъ для плотнаго закрыванія снабженъ двумя зажимами. Сосущій каучукъ, который соединяется съ свинцовой трубкой ведущей къ дымоходу, снабжается винтовымъ зажимомъ для регулированія притока газа. Противовѣсъ состоитъ изъ двухъ частей, изъ которыхъ часть, собственно уравнивающая газометръ, немного легче его, такъ что онъ самъ собою погружается въ глицеринъ до дна.

Когда нужно насасывать топочный газъ, то на этотъ уравновѣшивающій грузъ накладываютъ еще второй, благодаря чему газометръ стремится подняться. Но онъ поднимается только по мѣрѣ проникновенія газа въ газометръ черезъ регулирующій зажимъ.

Поднятіе газометра или притокъ топочнаго газа здѣсь остается совершенно равномернымъ съ начала и до конца, несмотря на незначительное увеличеніе вѣса газометра вслѣдствіе поднятія его изъ глицерина. Прежде чѣмъ онъ поднимется надъ уровнемъ глицерина, уравновѣшивающій грузъ долженъ достигъ подставки.

Какъ видно, всѣ приспособленія въ этомъ приборѣ очень просты и кромѣ того здѣсь достигается всегда равномерный притокъ газа. Приборъ имѣетъ только одинъ недостатокъ: именно, что глицеринъ никогда не бываетъ насыщенъ углекислотой, потому что во внѣшнемъ цилиндрѣ глицеринъ на довольно значительной поверхности соприкасается съ атмосфернымъ воздухомъ, такъ что здѣсь углекислота можетъ отчасти опять улетучиваться. Чтобы возможно уменьшить этотъ недостатокъ, можно на внѣшнемъ сосудѣ на нѣсколько дюймовъ ниже верхняго края укрѣпить кольцо изъ жести такъ, чтобы между нимъ и газометромъ оставался лишь небольшой промежутокъ. Такимъ образомъ слой глицерина, находящійся надъ жестянымъ кольцомъ и соприкасающійся непосредственно съ воздухомъ, до нѣкоторой степени отдѣленъ отъ нижележащаго

слоя, почти насыщенного углекислотой, и смѣшиваніе обоихъ слоевъ затруднено <sup>1)</sup>).

Совершенно подобнымъ же образомъ устроены такъ называемый собиратель топочнаго газа Риддера <sup>2)</sup>, только внутри газометра устроены еще поплавокъ, покрывающій почти всю внутреннюю поверхность жидкости; благодаря чему углекислота внутри газометра соприкасается только съ узкой кольцеобразной поверхностью жидкости и поэтому ея поглощеніе значительно уменьшено.

Для каждаго котла слѣдуетъ поставить, собственно говоря, отдѣльный аспираторъ, благодаря чему получается большая увѣренность въ контролѣ отдѣльныхъ топокъ. Такъ какъ всетаки составъ топочнаго газа даже при очень хорошей топкѣ котла довольно значительно колеблется, то можно составить себѣ приблизительное понятіе о горѣннн по среднему составу топочнаго газа, если время отъ времени опредѣлять содержаніе углекислоты въ дымоходахъ или посредствомъ большого аспиратора въ газѣ изъ борова, конечно при томъ условіи, что обращено вниманіе на возможную плотность всѣхъ отверстій и отсутствіе трещинъ въ обмуровкѣ котла и борова.

Въ заключеніе рассмотримъ еще такіе контрольные топочные аппараты, которые автоматически

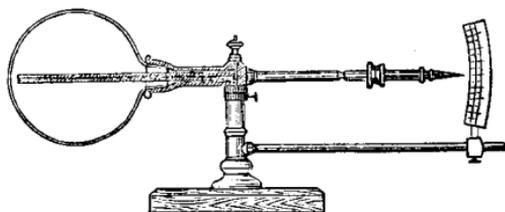
<sup>1)</sup> Проще на глицеринъ налить тонкій слой парфюмернаго минеральнаго масла или такъ называемаго жидкаго параффина.

*А. Лидовъ.*

<sup>2)</sup> Его можно приобрести черезъ фирму Boos & Co., Bonn a. Rh.

показываютъ содержаніе углекислоты въ каждый данный моментъ стрѣлкой на шкалѣ.

Самый старый изъ этихъ аппаратовъ—газовые вѣсы Люкса (фиг. 19), которые въ простѣйшей формѣ состоятъ изъ коромысла, качающагося на стальномъ остреѣ. На одномъ концѣ коромысла



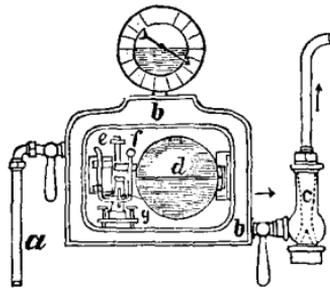
Фиг. 19.

находится шаръ изъ стекла или металла, черезъ который непрерывно пропускаютъ изслѣдуемый газъ. По другой половинѣ коромысла передвигается противовѣсъ, а конецъ ея вытянутъ въ острие, движущееся передъ шкалой. Преимущество этихъ газовыхъ вѣсовъ передъ описанными далѣе заключается главнымъ образомъ въ томъ, что здѣсь изслѣдуемый газъ отдѣляется отъ атмосфернаго воздуха ртутью.

Позднѣ появились *дазиметръ Зигерт'а и Дюрр'а* и *эконометръ Арндт'а*.

Въ первомъ топочные газы омываютъ шаръ, наполненный атмосфернымъ воздухомъ. Вслѣдствіе тяжести топочнаго газа шаръ поднимается и степень этого поднятія опредѣляетъ содержаніе угле-

кислоты. Фиг. 20 показываетъ устройство аппарата въ главныхъ чертахъ. Газы изъ дымохода, пройдя ватный фильтръ, протягиваются посредствомъ парового эжектора с черезъ трубу *a* въ стеклянный непроницаемый для воздуха ящикъ *b*, въ которомъ заключаются вѣсы, и направляются потомъ въ дымовую трубу; *d* — шаръ содержащій атмосферный воздухъ, *e*, *f* и *g* — части компенсационнаго аппарата, который служитъ для уравни-



Фиг. 20.

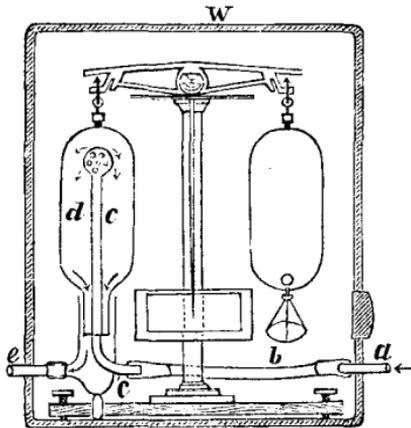
ванія колебаній давленія и температуры. Наверху на аппаратъ устроенъ измѣрительный приборъ. О примѣненіи этихъ газовыхъ вѣсовъ въ технику автору ничего не извѣстно.

Эконометръ Арндт'а (фиг. 21) состоитъ въ существенной части изъ точныхъ вѣсовъ, на коромысло которыхъ привѣшены съ одной стороны чашка съ гирями, съ другой — открытый стеклянный сосудъ *d*. Черезъ него протягивается изслѣдуемый газъ, который проходитъ черезъ трубку *a*, каучукъ *b*, колѣн-

чатую трубку *cc*, сосудъ *d* и вытягивается через *e*.

Всѣ эти газовые вѣсы безъ сомнѣнія очень удобны для опредѣленія содержанія углекислоты, хотя и стоятъ немного дорого; они имѣютъ также и свои недостатки.

Прежде всего они не вполне точно показываютъ содержаніе углекислоты въ присутствіи не вполне сгорѣвшихъ газовъ; кромѣ того они показываютъ



Фиг. 21.

содержаніе углекислоты конечно только въ опредѣленный моментъ и не даютъ возможности узнать, какъ много содержится излишняго кислорода за извѣстный періодъ работы топки, что очень важно. Далѣе при употребленіи газовыхъ вѣсовъ необходимо фильтровать газъ черезъ ватный фильтр и совершенно высушивать его хлористымъ кальціемъ, чтобы вѣсы не ржавѣли, почему хлористый кальцій

приходится часто замѣнять свѣжимъ. Кромѣ того сѣрнистый ангидридъ, содержащійся иногда въ топочныхъ газахъ, также вредно дѣйствуетъ на очень чувствительные вѣсы. Вообще ихъ слѣдуетъ содержать всегда очень чистыми, особенно часто чистить лезвья, а всѣ металлическія части черезъ извѣстные промежутки времени нужно покрывать тонкимъ лакомъ. Въ этомъ отношеніи газовые вѣсы Арндт'а по сообщенію проф. д-ра фонъ-Липмана представляются всетаки наиболѣе удобными.

*Анализаторъ топочныхъ газовъ* Крелл'я <sup>1)</sup> взвѣшиваетъ ихъ не непосредственно, а опредѣляетъ вѣсъ протекающихъ газовъ *гидростатическимъ* путемъ.

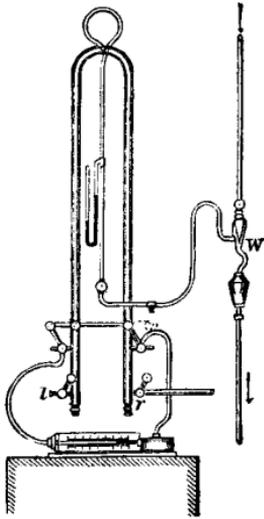
Онъ состоитъ изъ трехъ главныхъ частей: 1) системы трубокъ, 2) дифференціального манометра и 3) пишущаго прибора.

Обратно поставленная U-образная трубка (фиг. 22), оба колѣна которой одинаковы и по длинѣ и по ширинѣ, сообщается однимъ концомъ *l* съ окружающимъ воздухомъ, а другимъ концомъ *r*—съ дымоходомъ. Эта трубка въ самомъ высокомъ мѣстѣ, какъ разъ по срединѣ изгиба, соединяющаго оба колѣна, связана съ третьей трубкой, которая посредствомъ водяного инжектора *W* постоянно просасываетъ черезъ одно колѣно воздухъ, а черезъ другое—предварительно профильтрованные и охлажденные до комнатной температуры топочные газы.

---

<sup>1)</sup> Можно приобрести у G. A. Schulze, Berlin, Fabrik für technische Messinstrumente.

Дѣйствіе прибора заключается въ томъ, что разница въ вѣсѣ, а значитъ, и въ давленіи обоихъ равной величины столбовъ газа, съ одной стороны атмосфернаго воздуха, а съ другой—содержащихъ



Фиг. 22.

углекислоту топочныхъ газовъ, постоянно измѣняется и указывается очень чувствительнымъ манометромъ. Одинаковая скорость теченія газовъ въ обоихъ колѣнахъ регулируется при помощи очень остроумнаго приспособленія. Благодаря этому приспособленію увеличивается вліяніе сопротивленія движенію газовъ на микроманометръ съ обѣихъ сторонъ и измѣреніе производится такъ,

какъ и въ случаѣ совершеннаго покоя газовъ въ вертикальныхъ трубкахъ.

Если въ этомъ приборѣ сдѣлать нѣкоторыя измѣненія, то онъ можетъ также служить и для измѣренія скорости движенія газовъ.

Постоянная запись показаній анализатора Крелл'я производится такимъ образомъ: послѣдовательныя положенія жидкости микроманометра при помощи калильной лампочки и зеркала отражаются на кускѣ фотографической бумаги, укрѣпленной на барабанѣ,

приводимомъ во вращательное движеніе часовымъ механизмомъ. Весь аппаратъ помѣщается въ темной камерѣ, высота которой около 2,8 метра, а площадь основанія =  $1 \times 1,5$  метр.

Испытаніемъ этого прибора, произведеннымъ проф. Бунте въ механической лабораторіи высшаго технического училища въ Карлсруэ, установлено, что показанія его обладаютъ точностью, вполне достаточною для техническихъ цѣлей. У G. A. Schultze въ Берлинѣ этотъ приборъ стоитъ 600 марокъ.

На томъ же принципѣ гидростатическаго взвѣшиванія основывается *очень похожій, но значительно упрощенный* приборъ, тоже недавно выпущенный указанной фирмой (фиг. 23).

Онъ показываетъ содержаніе углекислоты въ покоящемся газѣ, засосанномъ въ приборъ, и поэтому его показаніе соответствуетъ только данному моменту<sup>1)</sup>.

Контроль, производимый при помощи газовыхъ



Фиг. 23.

<sup>1)</sup> Переводчику приходилось видѣть этотъ приборъ въ дѣйствиі; онъ оставляетъ желать лучшаго; дѣленія, отвѣчающія процентамъ углекислоты, очень малы и вообще показанія прибора слишкомъ приблизительны.

вѣсовъ, при нормальной работѣ топки дѣйствительно удобенъ. Но при ненормальномъ ходѣ газы вѣсы часто не дѣйствуютъ, даютъ несогласные съ дѣйствительностью результаты. Поэтому продолжительное насасываніе топочныхъ газовъ посредствомъ большого аспиратора и точное изслѣдованіе ихъ имѣетъ очень большія преимущества по сравненію съ газовыми вѣсами.

Въ сахарныхъ заводахъ, гдѣ во время производства всегда можно имѣть въ распоряженіи какое угодно разрѣженіе, можно удобно наполнять какой-нибудь сосудъ газомъ или протягивать черезъ него газъ, соединивъ его съ трубой отъ воздушнаго насоса; въ лабораторіи для этой цѣли можно пользоваться водянымъ инжекторомъ. Если роль такого сосуда, черезъ который протягивается газъ, исполняетъ, напримѣръ, стеклянка *B* описаннаго малаго аспиратора, то, закрывъ приводящую и сосущую газъ трубки, можно когда угодно перевести пробу газа въ мѣрную бюретку Гемпеля.

Отъ всѣхъ недостатковъ, присущихъ описаннымъ приборамъ, совершенно свободенъ методъ опредѣленія углекислоты посредствомъ аппарата, который автоматически химическимъ путемъ непрерывно опредѣляетъ и записываетъ содержаніе углекислоты въ топочныхъ газахъ; этотъ аппаратъ подъ названіемъ „измѣритель тепловаго эффекта Адосъ“ (патентъ Арндтъ) выпущенъ фирмою „Feuerungs-technische Gesellschaft, Aachen“.

Такъ какъ подробное описаніе не соотвѣтствуетъ

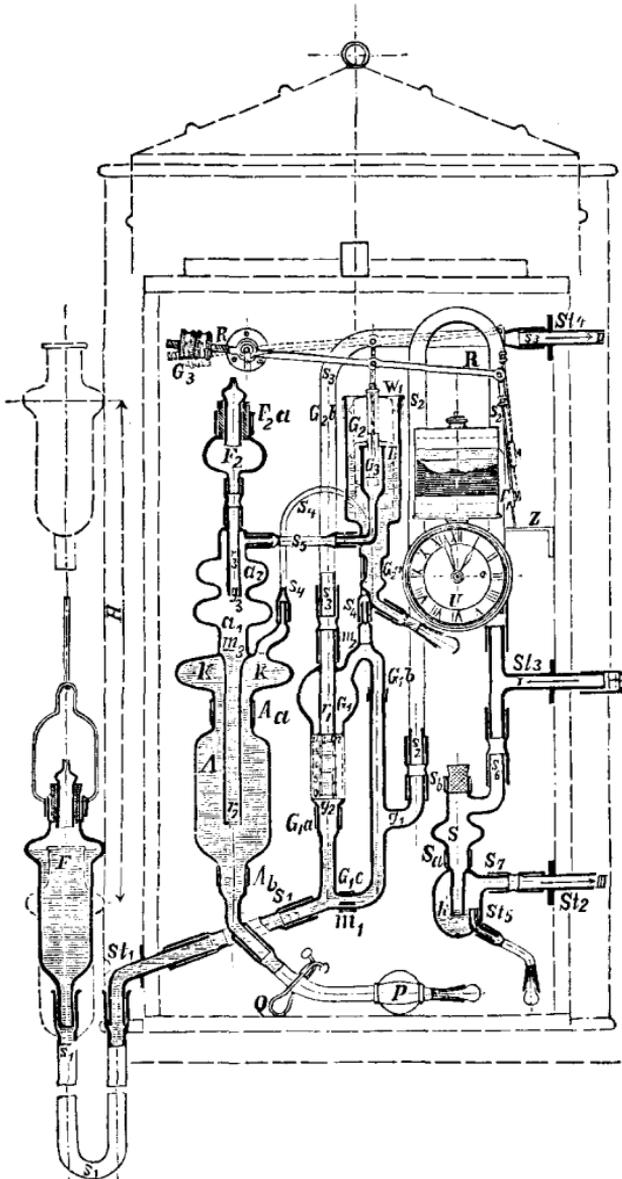
размѣрамъ этой книги, то я опишу только существенныя части этого аппарата <sup>1)</sup>):

Главную часть прибора составляет сосудъ  $G_1$  (фиг. 24), служащій для помѣщенія и измѣренія газа, который образуется изъ двухъ соединенныхъ вверху и внизу стеклянныхъ трубокъ  $G_1a$  и  $G_1b$ , на одной изъ которыхъ имѣется шарообразное расширение; этотъ сосудъ снабженъ мѣтками  $m_1$  и  $m_2$  и въ пространствѣ отъ  $g_2$  до  $m_2$  вмѣщаетъ 100 куб. см. изслѣдуемаго газа. Части прибора слѣдующія: поглотительный сосудъ  $A$ , наполненный растворомъ ѣдкаго кали; затѣмъ, вертикально перемѣщающаяся стеклянка  $F$ , наполненная глицериномъ, запирающимъ нижній конецъ мѣрнаго сосуда; наконецъ, колоколь  $T$ , плавающій въ глицеринѣ и приводимый въ движеніе остаткомъ изслѣдуемаго газа, вышедшимъ изъ поглотительнаго сосуда и несодержащимъ уже углекислоты; рычагъ  $R$ , перо  $F_1$  и часовой механизмъ  $U$ .

Автоматическій двигатель (фиг. 25) постоянно работающій, благодаря тягѣ въ дымовой трубѣ, приводитъ въ дѣйствіе весь приборъ и регулируетъ его работу; прежде всего онъ двигаетъ маленькій газовый насосъ двойнаго дѣйствія. Этотъ насосъ тянетъ изслѣдуемый газъ изъ дымохода черезъ фильтръ, устроенный около паровичной, и направ-

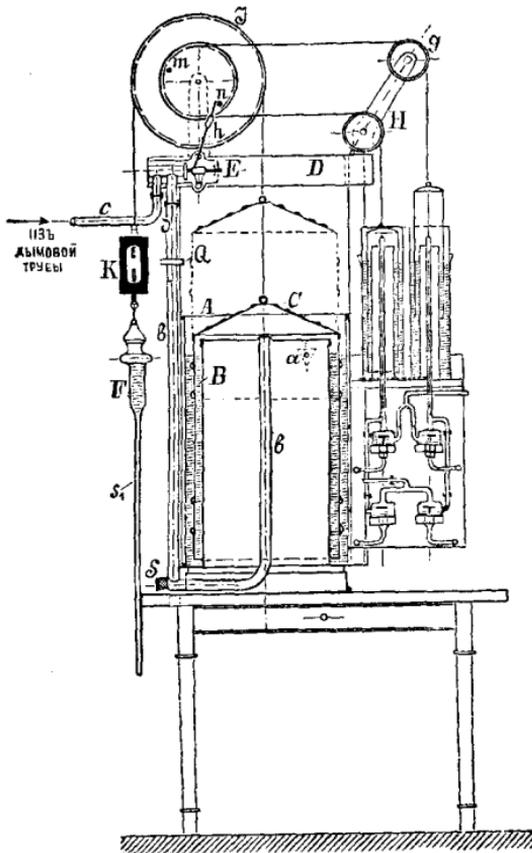
---

<sup>1)</sup> Для подробнаго знакомства съ приборомъ можно выписать брошюру съ полнымъ описаніемъ отъ «Ados, Feuerungs-technische Gesellschaft, G. m. b. H., Aachen».



Фиг. 24.

ляетъ его въ измѣрительный приборъ  $G_1$  по трубкамъ  $St_1$  и  $S_2$  (Фиг. 24). Этотъ маленькій стек-



Фиг. 25.

ленный измѣрительный сосудъ  $G_1a$   $G_1$   $G_1b$   $g_1$ , вмѣщающій въ пространствѣ отъ  $g_2$  (т. е. отъ нижняго

конца трубки  $r_1$ ) до мѣтки  $m_2$  ровно 100 куб. см. и содержащейъ внутри шкалу, показывающую до 20 объемныхъ процентовъ углекислоты, соединенъ своимъ нижнимъ концомъ посредствомъ каучука  $S_1$  съ двигающейся въ вертикальномъ направленіи стеклянкой  $F$ . Когда она поднимается, то глицеринъ входитъ въ сосудъ  $G_1$  и вытѣсняетъ изъ него 100 куб. см. газа черезъ соединительную трубку  $S_2$  въ поглотительный сосудъ  $A$ . Здѣсь топочные газы приходятъ въ тѣсное соприкосновеніе съ растворомъ ѣдкаго кали  $kk$  и углекислота, содержащаяся въ нихъ, жадно поглощается растворомъ.

Газы, оставшіеся непоглощенными, вытѣсняютъ калийный растворъ черезъ трубку  $r_2$  въ особыя воздушныя камеры  $a_1$ ,  $a_2$ , расположенныя надъ поглотительныхъ сосудовъ, и сжимаютъ находящійся тамъ воздухъ. Этотъ сжатый воздухъ, направляясь по трубкѣ  $S_3$ , поднимаетъ на большую или меньшую высоту погруженный въ глицеринъ колоколь  $T$ , который извѣстнымъ образомъ соединенъ съ пишущимъ рычагомъ  $B$ , который посредствомъ пера  $F_1$  записываетъ на барабанѣ, вращаемомъ часовымъ механизмомъ, процентное количество оставшагося не поглощеннымъ, свободнаго отъ углекислоты газа. Значить, чѣмъ меньшій процентъ углекислоты содержится въ анализируемой пробѣ газа, тѣмъ выше поднимается колоколь  $T$  и рычагъ, соединенный съ перомъ  $F_1$ .

Пока глицеринъ не достигъ еще мѣтки  $m_1$  и входа  $g_1$  въ мѣрительный сосудъ, топочные газы, протя-

гиваемые насосомъ, свободно циркулируютъ и выходятъ черезъ трубки  $r_1$ ,  $S_3$  и  $St_1$  въ атмосферу. Когда-же глицеринъ закроетъ путь при  $g_1$  и  $g_2$ , они должны искать выхода черезъ  $S_6$ , черезъ сосудъ съ гидравлическимъ запоромъ  $S$  и черезъ трубку  $St_2$ . Благодаря этому приспособленію является возможность отмѣривать для каждаго изслѣдованія опредѣленный объемъ газа, несмотря на безпрерывную работу газоваго насоса.

При самомъ низкомъ положеніи стеклянки  $F$ , двигающейся автоматически, глицеринъ въ трубкѣ  $S_1$  долженъ стоять какъ разъ на мѣткѣ  $m_1$ , а при самомъ высокомъ положеніи—на мѣткѣ  $m_2$ . Этого достигаютъ соотвѣтствующимъ наполненіемъ стеклянки  $F$  глицериномъ.

Растворъ ѣдкаго кали въ поглотительномъ сосудѣ  $A$  долженъ стоять на уровнѣ мѣтки  $m_3$  въ то время, когда глицеринъ въ трубкѣ  $S_1$  стоитъ противъ мѣтки  $m_1$ . Тогда наливаютъ черезъ  $F_2$  калийный растворъ, пока онъ не достигнетъ  $m_3$ . Каучуковый шаръ  $P$  служитъ для точной установки раствора на этой мѣткѣ; посредствомъ этого шара и зажима  $Q$  можно вгонять въ  $A$  или выпускать оттуда небольшія количества жидкости. Само собой разумѣется, что въ каучуковомъ шарѣ совсѣмъ не должно быть воздуха, т. е. онъ долженъ быть совершенно заполненъ растворомъ ѣдкаго кали.

Аппаратъ можетъ быть установленъ на какомъ угодно разстояніи отъ топки; при этомъ слѣдуетъ

только позаботиться о томъ, чтобы въ помѣщеніи, гдѣ онъ установленъ, была всегда возможно одинаковая температура.

Недостаточно точное выполненіе этого условія постоянной температуры влечетъ за собою по опытамъ автора большія ошибки. При измѣненіи температуры нулевой уровень калийнаго раствора постоянно измѣняется. Однако, если при установившейся высшей или низшей температурѣ снова установить калийный растворъ на нулевой пунктъ, то аппаратъ опять будетъ правильно показывать содержаніе углекислоты.

Аппаратъ этотъ пока еще очень дорогъ, но безъ сомнѣнія скоро сдѣлается болѣе доступнымъ<sup>1)</sup>). Конечно онъ можетъ служить для контроля только *одной* топки! Впрочемъ, если продолжить надъ всѣми котлами главную сосущую газы трубу съ устроенными, какъ было уже описано, отвѣтвленіями къ каждой топкѣ, то можно попеременно контролировать одинъ за другимъ всѣ котлы по-денно.

Замѣтимъ еще, что въ послѣднее время въ конструкціи аппарата Адосъ сдѣланы нѣкоторыя весьма существенныя улучшенія.

---

<sup>1)</sup> Переводчику приходилось видѣть аппаратъ Адосъ работающимъ на одномъ изъ нефтеперегонныхъ заводовъ въ Баку. По отзывамъ инженеровъ, завѣдывающихъ заводомъ, онъ работаетъ чрезвычайно исправно.

## XII.

**О составѣ топочныхъ газовъ и о зависимости между содержаніемъ углекислоты и температурой ихъ.**

Часто при ежедневныхъ изслѣдованіяхъ топочныхъ газовъ ограничиваются опредѣленіемъ только углекислоты или вмѣсто этого опредѣляютъ только содержаніе кислорода. Основаніе этого заключается въ слѣдующемъ:

При превращеніи атмосфернаго воздуха въ топочный газъ во время процесса сгорания топлива вмѣсто каждаго объема кислорода воздуха, служащаго для сгорания углерода, получается такой же объемъ углекислоты въ топочномъ газѣ, такъ какъ 1 объемъ кислорода при сгораніи съ [углеродомъ образуетъ 1 объемъ углекислоты. Сумма объемнаго содержанія въ процентахъ кислорода и углекислоты въ топочныхъ газахъ поэтому всегда остается равной объемному содержанію въ процентахъ кислорода въ атмосферномъ воздухѣ, поэтому она всегда должна составлять около 20 (содержаніе кислорода въ атмосферномъ воздухѣ подъ открытымъ небомъ составляетъ 20,9%). Разность между найденнымъ кислородомъ и этимъ числомъ даетъ значить приблизительно количество углекислоты въ топочныхъ газахъ и поэтому по содержанію въ нихъ кислорода, такъ-же какъ и по содержанію углекислоты можно приблизительно судить о процессѣ горѣнія.

По большей части конечно при сложении про-

центнаго содержанія углекислоты и кислорода получается меньше чѣмъ 20%, и само собою разумѣется, прежде всего въ случаѣ, если было неполное сгораніе, такъ что содержатся еще несгорѣвшіе газы, окись углерода и углеводороды; но это случается также и при полномъ сгораніи, потому что горючій матеріаль всегда показываетъ значительное содержаніе водорода, который сгораетъ также за счетъ кислорода воздуха, не образуя однако объема газа, равнаго объему кислорода, какъ при горѣніи углерода. Образующаяся при этомъ вода правда содержится въ газѣ въ видѣ пара, но она совсѣмъ не принимается во вниманіе при анализѣ топочнаго газа, какъ будетъ пояснено дальше.

Болѣе значительное содержаніе водорода въ топливѣ понижаетъ содержаніе кислорода въ топочныхъ газахъ и повышаетъ содержаніе азота на часть, соотвѣтствующую количеству воздуха, нужнаго для сгоранія водорода. Поэтому оцѣнка топочныхъ газовъ только по содержанію кислорода будетъ тѣмъ менѣе правильна, чѣмъ больше водорода содержится въ топливѣ.

Только что приведенное утвержденіе, что хотя пары воды и занимаютъ нѣкоторый объемъ, но при объемномъ газовомъ анализѣ не должны приниматься во вниманіе, кажется немного противорѣчивымъ, но тѣмъ не менѣе оно не оспоримо. Это можно доказать слѣдующимъ образомъ.

Пары воды, какъ таковыя, могутъ существовать

при атмосферномъ давленіи и при температурахъ, лежащихъ ниже точки сгущенія ихъ, только въ томъ случаѣ, если для нихъ имѣется достаточный объемъ, такъ какъ при опредѣленной температурѣ въ опредѣленномъ объемѣ можетъ содержаться только опредѣленное количество водяныхъ паровъ. Если этотъ объемъ находится въ соприкосновеніи съ водой, какъ это имѣетъ мѣсто въ мѣрительной бюреткѣ, то газъ, взятый для анализа, насыщенъ водяными парами и занимаемый водянымъ паромъ объемъ такъ относится къ общему объему влажнаго газа, какъ давленіе заключающихся въ этомъ объемѣ водяныхъ паровъ относится къ общему давленію газа.

Въ 100 куб. см. газа, взятаго для анализа, содержится сухого газа  $100 \cdot \frac{D-t}{D}$ , гдѣ  $D$  обозначаетъ общее давленіе газа и  $t$ —давленіе паровъ воды при температурѣ пространства содержащаго ихъ; съ другой стороны въ этихъ 100 сант. газа содержится водяныхъ паровъ  $100 - 100 \frac{D-t}{D} = 100 \frac{t}{D}$  куб. сант.

Если теперь изъ первоначальнаго объема въ 100 куб. сант.  $n$  % будетъ поглощено какимъ нибудь поглотителемъ, то будетъ

остатокъ газа въ влажномъ состояніи =  $100 - n$

$$\begin{array}{ccccccc} \text{„} & \text{„} & \text{„} & \text{сухомъ} & \text{„} & = & (100 - n) \frac{D-t}{D} \end{array}$$

поглощенный объемъ въ сухомъ состояніи

$$100 \frac{D-t}{D} - (100 - n) \frac{D-t}{D} = n \cdot \frac{D-t}{D}$$

и объемъ водяного пара, приходящійся на  $n$ :

$$n - n \frac{D-t}{D} = n \cdot \frac{t}{D}.$$

Такъ какъ соотвѣтствующій объемъ  $n$  сухой части газа послѣ поглощенія уже не содержится болѣе, то и этотъ объемъ водяныхъ паровъ тоже долженъ равняться нулю ( $=0,0$ ), по вышеприведенной формулѣ  $=0,0 \frac{t}{D}$ , поэтому онъ не можетъ болѣе существовать; эти водяные пары и конденсируются въ воду въ поглотительномъ сосудѣ.

Если мы далѣе процентное содержаніе сухой поглощенной части газа въ первоначальномъ общемъ количествѣ пересчитаемъ на сухую газовую смѣсь, то получимъ пропорцію:

$$100 \frac{D-t}{D} : n \frac{D-t}{D} = 100 : x,$$

отсюда  $x = n$ , поэтому объемное содержаніе поглощенной части газа  $n$ , полученное въ процентахъ влажной газовой смѣси, равняется также процентному содержанію ея въ сухомъ топочномъ газѣ.

Поэтому полученный при анализѣ процентъ газа прямо можно принимать въ расчетъ, какъ процентъ такъ называемаго *сухого топочнаго газа*.

Какое содержаніе углекислоты считать за наи-

болѣе выгодное для возможно полнаго использованія топлива, зависитъ конечно какъ отъ рода послѣдняго, такъ и отъ устройства топки. Вообще можно сказать, что всего лучше такое содержаніе углекислоты, при которомъ въ составъ газа входитъ извѣстный небольшой избытокъ кислорода, а окись углерода отсутствуетъ.

При очень бѣдныхъ газами бурыхъ угляхъ съ малымъ содержаніемъ водорода наивыгоднѣйшее содержаніе углекислоты можетъ быть довольно высокимъ, такъ что особенно при большой по отношенію къ расходу пара поверхности нагрѣва можно, уменьшая тягу, такъ регулировать горѣніе, что топочные газы будутъ содержать до 18% углекислоты и 1,5 до 2% кислорода. При богатыхъ газами бурыхъ угляхъ содержаніе углекислоты въ топочныхъ газахъ понижается уже само собою, вслѣдствіе болѣе высокаго содержанія водорода въ углѣ; кромѣ того въ этомъ случаѣ для полнаго использованія тепловой энергіи угля, даже при достаточно большой поверхности колосниковой рѣшетки и поверхности нагрѣва, необходимо усилить тягу и дать большій притокъ воздуха, чтобы достигъ высокой температуры горѣнія, такъ что здѣсь нормальное содержаніе углекислоты понижается до 15—16%, при содержаніи 2 до 3% кислорода.

Чтобы получить непосредственно подъ поверхностью нагрѣва котла наибольшій тепловой эффектъ, который при топкѣ бурымъ углемъ по боль-

шей части концентрируется на колосниковой рѣшеткѣ, при чемъ значительная часть тепла теряется черезъ обмуровку, устраиваютъ полу-газовое отопленіе, при которомъ топочные газы, еще не вполне сгорѣвшіе, проходятъ подъ котель и здѣсь, благодаря точно регулируемому притоку подогрѣтаго воздуха, происходитъ интенсивное горѣніе ихъ. Контроль содержанія кислорода въ топочныхъ газахъ въ этомъ случаѣ необходимо производить тщательнѣе, потому что при отсутствіи этого контроля слишкомъ сильный притокъ воздуха легко можетъ вызвать большія потери, напротивъ при точномъ регулированіи притока воздуха съ возможно малымъ избыткомъ воздуха въ топочныхъ газахъ можно достигъ наивысшаго теплого эффекта.

Приведемъ примѣръ дѣйствительно полученной на практикѣ начальной температуры при полу-газовомъ отопленіи:

Употреблявшійся бурый уголь обладалъ незначительнымъ тепловымъ эффектомъ въ 1949 калор. Притокъ воздуха во время опыта регулировали такимъ образомъ, что топочные газы содержали 13% углекислоты (содержаніе кислорода къ сожалѣнію не опредѣлялось). При этомъ опредѣленіе температуры на мѣстѣ наиболѣе интенсивнаго горѣнія дало около  $1300^{\circ}\text{C}$ .—температуру среднюю между точками плавленія никкеля ( $1400^{\circ}\text{C}$ .) и мѣди ( $1200^{\circ}\text{C}$ .).

При топкѣ каменнымъ углемъ для хорошаго горѣнія необходимъ большій избытокъ воздуха, по-

чему содержание углекислоты въ топочныхъ газахъ составляетъ только 11—12%.

Если топочные газы берутъ не изъ послѣдняго дымохода, а изъ борова при установкѣ нѣсколькихъ котловъ для контроля общаго хода топки, причемъ опускаютъ сосущую трубу до мѣста наибольшаго движенія газовъ, т. е. приблизительно до  $\frac{2}{3}$  высоты борова, то получаютъ конечно не чистый топочный газъ, къ нему черезъ трещины обмуровки и отверстіе для шибера примѣшивается холодный атмосферный воздухъ, такъ называемый *посторонній воздухъ*. Такія неплотности уничтожаютъ или по возможности уменьшаютъ, такъ какъ даже незамѣтныя маленькія трещины пропускаютъ всетаки еще значительное количество холоднаго воздуха. Но несмотря на всѣ старанія черезъ отверстіе для шибера обыкновенно проходитъ порядочное количество воздуха, такъ что можно считать, что благодаря этому содержание кислорода въ топочныхъ газахъ повышается на 1%, даже на 2%, соотвѣтственно притоку воздуха до 10% и повиженію содержанія углекислоты на  $1\frac{1}{2}$  %.

Напримѣръ, однимъ изслѣдованіемъ топочнаго газа изъ борова былъ установленъ слѣдующій составъ его:

$15,2\% \text{ CO}_2 + 2,2\% \text{ O} + 1,2\% \text{ CO} + 81,4\% \text{ N} + 0,0\%$   
углеводородовъ.

Здѣсь безъ сомнѣнія шиберъ былъ слишкомъ закрытъ. Кислородъ, содержащійся, несмотря на присутствіе окиси углерода, въ количествѣ 2,2%, могъ

проникнуть только позади области горѣнія черезъ неплотности въ шиберѣ и т. д.; это содержаніе кислорода соотвѣтствуетъ приблизительно 10,5% атмосфернаго воздуха (точнѣе  $2,2\% \times \frac{100}{20,9} = 10,53$ ). Кромѣ этого остается 89,5 объемовъ чистыхъ топочныхъ газовъ, которые содержатъ 15,2 объема  $CO_2$ , + 1,2 объема  $CO$ . Это отвѣчаетъ процентному составу:

$$17,0\% CO_2 + 1,35\% CO + 81,65\% N.$$

Такъ какъ при сгораніи 1 объема  $CO$  съ  $\frac{1}{2}$  объема  $O$  получается точно 1 объемъ  $CO_2$ , то при полномъ сгораніи угля безъ излишка воздуха топочные газы имѣли бы слѣдующій составъ: 1,35 объема  $CO$  требуютъ 0,67 объема  $O$  или круглымъ числомъ 0,7 объема  $O = 3,3$  объема атмосфернаго воздуха.

17,0 объем. $CO_2$ , + 1,35 объем. $CO$	
даютъ . . . . .	18,35 объем. $CO_2$ ,
81,65 объем. $N$ + (3,3—0,7)	
объем. $N$ . . . . .	= 84,25 „ $N$
Сумма 102,60 объем. топочныхъ газовъ, которые поэтому содержатъ въ процентахъ 17,9% $CO_2$ и 81,1% $N$ .	

Это было бы наиболѣе высокое процентное содержаніе углекислоты въ вышеприведенномъ газѣ, котораго можно было бы достигъ при сжиганіи бурыхъ углей, если было бы возможно работать

совершенно безъ избытка воздуха при полномъ сгораніи топочныхъ газовъ.

Этотъ расчетъ не вполне еще правиленъ вслѣдствіе того, что всѣ толки не даютъ совершенно одинаковыхъ газовъ, однѣ пропускаютъ больше, другія немного меньше атмосфернаго воздуха или вводятъ въ боровъ несгорѣвшую окись углерода, также и уголь горитъ не вполне одинаково на всѣхъ рѣшеткахъ. Однако уже изъ этого примѣра видно, что невозможно получить въ топочныхъ газахъ такое содержаніе углекислоты, какое получается при сгораніи чистаго углерода. Что касается до горѣнія на колосниковой рѣшѣткѣ, то при этомъ имѣетъ значеніе тотъ фактъ, что слишкомъ незначительный избытокъ атмосфернаго воздуха понижаетъ пирометрическій эффектъ топлива, т. е. степень жара въ сферѣ горѣнія, потому что въ присутствіи только необходимаго количества кислорода горѣніе происходитъ слишкомъ медленно; оно напоминаетъ тогда скорѣе тлѣніе, нежели энергичное горѣніе.

Въ этомъ случаѣ начальная температура падаетъ, тяжелые горючіе углеводороды переходятъ частью несгорѣвшими въ топочные газы и вслѣдствіе этихъ двухъ причинъ теряется въ сущности больше тепла бесполезно для котла, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе болѣе усиленной тяги вводится въ топку незначительный избытокъ воздуха. Если мы будемъ считать этотъ избытокъ въ 5 — 10%, (при хорошей топкѣ бурнымъ углемъ), что соотвѣт-

ствуеть 1—2% кислорода, если далѣе примемъ, что увеличеніе содержанія кислорода въ топочныхъ газахъ, благодаря неизбѣжнымъ неплотностямъ въ боровѣ, будетъ = 2%, то содержаніе углекислоты для вышеприведеннаго примѣрнаго анализа газовъ изъ борова при употребленіи бураго угля среднимъ числомъ составитъ отъ 14,5 до 15,5%  $CO_2$ .

Для подтвержденія этихъ выводовъ приводимъ здѣсь еще нѣсколько анализовъ газа изъ борова:

№ 1	— 14,2%	$CO_2$	+ 3,9%	$O$	+ 0,0%	$CO$	+ 81,9%	$N$
2	— 13,6	"	+ 4,2	"	+ 0,0	"	+ 82,2	"
3	— 14,2	"	+ 4,4	"	+ 0,0	"	+ 81,4	"
4	— 13,6	"	+ 4,4	"	+ 0,0	"	+ 82,0	"
5	— 14,2	"	+ 4,2	"	+ 0,0	"	+ 81,6	"
6	— 7,4	"	+ 12,3	"	+ 0,0	"	+ 80,3	"

Послѣдній анализъ показываетъ составъ пробы газа, которая была взята при почти закрытыхъ шибергахъ во время перерыва работы. Отсюда ясно видно вліяніе неплотностей обмуровки около шиберовъ при очень слабомъ въ то же время притока топочныхъ газовъ. Содержаніе азота изъ 5 первыхъ анализовъ въ среднемъ составляетъ 81,8% и во всѣхъ 5-ти случаяхъ превышаетъ содержаніе его въ атмосферномъ воздухѣ (79,1), на основаніи чего можно судить о болѣе или менѣе высокомъ содержаніи въ употреблявшемся углѣ углеводородовъ, значить соотвѣтственно и водорода.

Вмѣстѣ съ тѣмъ изъ приведенныхъ анализовъ видно, что для точнаго сужденія о правильности

топки котла нужно взять пробу газа изъ перваго дымохода и что на основаніи увеличенія содержанія кислорода въ топочныхъ газахъ, взятыхъ дальше въ боровѣ, можно судить о неплотностяхъ въ дымовомъ каналѣ, совершенно подобно тому, какъ мы видѣли это уже раньше на сатураціонномъ газѣ.

Въ слѣдующихъ анализахъ, произведенныхъ надъ газами при топкѣ каменнымъ углемъ, которыми я обязанъ любезности директора Стеффенса въ Любенѣ, газы взяты изъ перваго дымохода. Приводимыя числа даютъ возможность опредѣлить, какъ великъ избытокъ кислорода и соотвѣтственно воздуха при горѣннн каменнаго угля.

№ 1	— 12,0%	$CO_2$	+ 5,4%	$O$	+ 82,6%	$N$
2	— 10,8	"	+ 7,4	"	+ 81,8	"
3	— 10,0	"	+ 8,3	"	+ 81,7	"
4	— 11,0	"	+ 7,0	"	+ 82,0	"
5	— 8,3	"	+ 8,9	"	+ 82,8	"
6	— 7,2	"	+ 10,8	"	+ 82,0	"
7	— 9,7	"	+ 9,1	"	+ 81,2	"
8	— 12,2	"	+ 5,4	"	+ 82,0	"
9	— 13,6	"	+ 5,4	"	+ 81,0	"
10	— 14,2	"	+ 2,8	"	+ 83,0	"

Среднее . . 10,9%  $CO_2$  + 7,05%  $O$  + 82,05%  $N$ .

Д-ръ Драве въ своемъ уже упоминавшемся «Beitrag zur Kesselhauskontrolle» также приводитъ рядъ опредѣленій углекислоты въ топочныхъ газахъ при употребленіи каменнаго угля. Среднее содержаніе углекислоты за одну недѣлю, когда топка шла хорошо, составляетъ 11,3%. Къ сожалѣнію, при этомъ не опредѣлялось содержаніе кислорода.

Если въ топочномъ газѣ не содержится никакого несгорѣвшаго газа, то по избытку кислорода и по содержанію въ немъ азота можно высчитать избытокъ воздуха, введенный въ топку сверхъ необходимаго для горѣнія количества. Такъ какъ на 79 объемовъ  $N$  въ воздухѣ приходится 21 объемъ  $O$ , т. е. азота въ  $\frac{79}{21} = 3,765$  разъ больше, чѣмъ кислорода, то нужно только процентное содержаніе кислорода въ топочномъ газѣ, которое мы обозначимъ черезъ  $O$ , умножить на это число  $= 3,765 \cdot O = \frac{79}{21} \cdot O$  и это содержаніе азота въ топочномъ газѣ, вычисленное на основаніи содержанія кислорода, вычесть изъ найденнаго общаго содержанія въ немъ азота  $N$ ; остающійся послѣ этого азотъ входилъ въ составъ воздуха, употребленнаго для горѣнія. Этотъ остатокъ азота находится въ такомъ же отношеніи къ общему количеству азота, опредѣленному посредствомъ газоваго анализа, какъ количество воздуха, необходимое для горѣнія, которое мы будемъ считать  $= 100$ , къ общему количеству введеннаго въ топку воздуха, которое обозначимъ черезъ  $L$ .

Тогда мы получаемъ уравненіе:

$$\left( N - \frac{79}{21} \cdot O \right) : N = 100 : L$$

$$L = \frac{100 N}{N - \frac{79}{21} \cdot O} = \frac{100 N}{N - 3,765 \cdot O}$$

Избытокъ воздуха  $U$  выразится тогда въ процентахъ такъ:

$$L = 100 + U, \quad U = \frac{100 N}{N - 3,765 \cdot O} - 100$$

Если мы возьмемъ для примѣра вышеприведенныя среднія цифры изъ анализовъ топочныхъ газовъ при работѣ на каменномъ углѣ, то получимъ  $U = 48\%$  избыточнаго воздуха.

Если же напротивъ мы вычислимъ избытокъ воздуха на основаніи нѣсколькихъ анализовъ газа, набравшагося изъ борова при работѣ бурнымъ углемъ, то получимъ

- при анализѣ . . . 1.  $U = 21,9\%$ .  
2.  $U = 23,8\%$   
6.  $U = 136,2\%$ .

Если допустить, что все количество кислорода воздуха, поступившаго въ топку, поглощено топливомъ, причемъ въ топочномъ газѣ не осталось несгорѣвшихъ газовъ (такъ называемое *теоретическое горѣніе*), то въ этомъ случаѣ конечно получится наивысшее достижимое содержаніе углекислоты, такъ называемое *максимальное содержаніе углекислоты* въ топочныхъ газахъ для опредѣленнаго топлива. Для другихъ горючихъ матеріаловъ, анализъ которыхъ будетъ приведенъ въ главѣ „Теплота горѣнія“, эти величины будутъ по Бунте<sup>1)</sup> слѣдующія:

---

<sup>1)</sup> Stohmann und Kerls Encyklopädi. Handb. der techn. Chemie. 4. Aufl. Band IV, S. 314.

Максимальное содержаніе углекислоты и соотвѣтствующее содержаніе азота въ сухихъ топочныхъ газахъ въ объемныхъ процентахъ

для чистаго углерода . . . . .	21,0%	CO <sub>2</sub> —	79,0%	N
„ торфа . . . . .	20,0	„	„	—80,0 „ „
„ среднего бурого угля	18,7	„	„	—81,3 „ „
„ каменнаго угля . . . . .	18,6	„	„	—81,4 „ „
„ нефти . . . . .	15,0	„	„	—85,0 „ „
„ свѣтильнаго газа . . . . .	12,0	„	„	—88,0 „ „

Содержаніе углекислоты въ топочныхъ газахъ, какъ мы видѣли, зависитъ не только отъ качества топлива, но еще болѣе отъ силы тяги въ сферѣ горѣнія, которая, какъ извѣстно, регулируется положеніемъ шибера.

Сила тяги находится въ зависимости, какъ отъ сорта топлива, такъ и отъ обмуровки и другихъ частныхъ условій. Силу тяги можно опредѣлить, вставивъ въ дымоходъ желѣзную трубу и соединивъ ее съ U-образной стеклянной трубкой, наполненной подкрашенной водой. При топкѣ бурнымъ углемъ въ общемъ достаточно тяги, соотвѣтствующей 10—20 миллиметрамъ водяного столба, при топкѣ каменнымъ углемъ нужно до 25, даже 30 миллиметровъ. Труба, опущенная въ дымоходъ, должна быть срѣзана на нижнемъ концѣ подъ угломъ въ 45° и отверстіе должно быть обращено по направленію къ дымовой трубѣ, а не наоборотъ, какъ это имѣется въ виду и при набираниі топочныхъ газовъ; иначе правильности опредѣленія силы

тяги здѣсь мѣшали бы удары газа, направленные противъ отверстія трубы.

Для измѣренія тяги употребляются также металлическіе измѣрительные приборы, показывающіе до 30 миллиметровъ разрѣженія.

Упомянемъ здѣсь сухой тягомѣръ Гундлера, тягомѣръ Дюрра и вакуумметръ Альтмана <sup>1)</sup>).

Нужная сила тяги устанавливается въ зависимости, какъ отъ топлива, такъ и отъ устройства всей котельной установки; при сравненіи различныхъ топокъ ее измѣряютъ не въ боровѣ, а непосредственно позади колосниковой рѣшетки или въ концѣ перваго дымохода, потому что живая площадь колосниковъ представляетъ отверстіе, имѣющее вліяніе на тягу.

Здѣсь всегда достаточно незначительной тяги, которая, какъ извѣстно, на колосникахъ бываетъ меньше, нежели около шибера, и притомъ на величину, соответствующую сопротивленію движенію газовъ въ каналахъ и притоку посторонняго воздуха черезъ трещины обмуровки и т. д. При 13 миллим. тяги около шибера сила тяги позади колосниковой рѣшетки равняется примѣрно 5 миллим.

Мимоходомъ уже было замѣчено о зависимости между температурой получающихся топочныхъ газовъ и содержаніемъ въ нихъ углекислоты. Очевидно, что при сильной тягѣ, при одинаковыхъ

---

<sup>1)</sup> Первый можно получить отъ Steinle & Hartung in Quedlinburg, тягомѣръ Дюрра отъ G. A. Schultze in Berlin и вакуумметръ отъ Ad. Altmann in Berlin.

прочихъ условіяхъ, къ топочнымъ газамъ примѣшивается большее количество избыточнаго атмосфернаго воздуха и что при большей скорости движенія топочныхъ газовъ стѣнки котла могутъ поглотить меньшее количество тепла, нежели при слабой тягѣ и меньшей скорости газовъ. Поэтому при правильной загрузкѣ топлива на колосникахъ болѣе высокое содержаніе кислорода и низкое содержаніе углекислоты показываетъ на большое открытіе шибера и влечетъ за собою повышеніе температуры борова. Пониженіе температуры борова, а вмѣстѣ съ тѣмъ и пониженіе содержанія углекислоты можетъ въ свою очередь происходить благодаря неплотностямъ въ обмуровкѣ котла или благодаря тому, что часть колосниковой рѣшетки остается непокрытой углемъ и въ прозоры между колосниками устремляется много излишняго воздуха. Между прочимъ отсюда ясно, что для строгаго контроля топки кромѣ опредѣленія содержанія углекислоты и кислорода въ топочныхъ газахъ нужно еще опредѣлять температуру борова.

Чтобы лучше представить себѣ очень важную зависимость между содержаніемъ углекислоты и пониженіемъ температуры топочныхъ газовъ, а въ особенности начальной температурой при горѣніи, необходимо предварительно ближе разсмотрѣть нѣкоторыя термо-химическія отношенія горючихъ матеріаловъ и входящихъ въ ихъ составъ элементовъ. Этому вопросу посвящены XIV и XV главы.

При обработкѣ этихъ главъ я пользовался нѣ-

которыми таблицами изъ главы о топливѣ профессора д-ра Бунте въ „Stohmann u. Kerls Encyclopädisches Handbuch der Technischen Chemie“, сдѣлавъ нѣкоторыя дополненія къ выводамъ Бунте.

Несмотря на краткость теоретической части этого сочиненія, преслѣдующаго главнымъ образомъ практическую цѣль, я надѣюсь, что пишу довольно понятно даже для тѣхъ, кто не имѣлъ ранѣе случая познакомиться съ этими вопросами.

Согласно указаніямъ критики, сдѣланнымъ при выходѣ этой книги первымъ изданіемъ, я нахожу нужнымъ вставить здѣсь еще главу о зависимости состава топочныхъ газовъ отъ размѣровъ трубы и дымоходовъ.

### XIII.

**Дымовая труба и ея дѣйствіе въ связи съ топкою<sup>1)</sup>.**

Каждая труба имѣетъ цѣлью силою тяги доставлять въ топку необходимый для сгоранія топлива

---

<sup>1)</sup> Расчетъ поперечнаго сѣченія и высоты трубы авторъ заимствуетъ изъ сочиненія проф. Густава Лангъ: „Der Schornsteinbau“, отсюда же беретъ и главныя формулы и практическія данныя. Но по собственному опыту я позволю себѣ замѣтить, что детальное знакомство съ этой книгой чрезвычайно полезно и желательно (имѣется русскій переводъ).

**Примѣч. редактора:** Не смотря на всю выдающуюся важность соответствующихъ размѣровъ дымовой трубы, которая несомнѣнно является одной изъ главныхъ работающихъ частей котельныхъ установокъ нынѣшняго типа, тѣмъ не менѣе, основываясь на удачныхъ опытахъ работы топокъ при котлахъ безъ дымовыхъ

атмосферный воздухъ и притомъ такъ, чтобы въ топочныхъ газахъ уносилось черезъ трубу возможно меньше тепла. Большая или меньшая сила тяги трубы обуславливается слѣдующими причинами:

Вѣсь столба горячихъ топочныхъ газовъ, находящихся въ трубѣ, вслѣдствіе сильнаго расширенія ихъ отъ теплоты и уменьшенія, благодаря этому, удѣльнаго вѣса ихъ, несмотря даже на содержаніе углекислоты, меньше, чѣмъ вѣсь такого же столба чистаго атмосфернаго воздуха. Разница въ вѣсѣ обоихъ столбовъ газа обуславливаетъ разницу въ давленіи газа и воздуха у нижняго входнаго и верхняго выходнаго отверстія трубы; эта разница въ вѣсѣ главнымъ образомъ и вліяетъ на силу тяги въ трубѣ.

Благодаря постоянному образованію новыхъ количествъ горячихъ газовъ на колосниковой рѣшеткѣ и движенію ихъ къ трубѣ, поддерживается непрерывное теченіе газовъ и разница въ вѣсѣ обогрѣтыхъ различной плотности столбовъ-газа и воздуха.

Но это движеніе газовъ въ дымовой трубѣ ослабляется различными сопротивленіями. Прежде всего атмосферный воздухъ долженъ прососаться черезъ колосники и лежащій на нихъ слой топлива, затѣмъ газы должны преодолѣть хотя и незначительное сопротивленіе тренія при проходѣ черезъ ды-

---

трубъ, съ вентиляторами, можно съ большою вѣроятностью сказать, что устройство этихъ большихъ громоздкихъ и дорогихъ сооружений со временемъ будетъ оставлено.

*А. Лидовъ.*

моходы и черезъ боровъ и наконецъ сопротивленіе тренія въ самой трубѣ. Сила тяги, необходимая для нормальнаго горѣнія топлива, требуетъ опредѣленной высоты трубы  $H$ . Полезной высотой трубы называется та часть высоты, которая вызываетъ только движеніе газовъ; она получится, если изъ всей высоты трубы  $H$  вычесть высоту  $N$ , идущую на преодоленіе сопротивленій.

Суммарное сопротивленіе  $N$  обуславливается, во-первыхъ, сопротивленіемъ топлива  $N_1$ , зависящимъ отъ рода его и отъ высоты слоя  $s$ , во-вторыхъ, сопротивленіемъ тренія  $N_2$  въ дымоходахъ, въ боровѣ и въ самой трубѣ.

Значеніе  $N$ , для хорошихъ каменныхъ углей = 5,6 — 6,75 — 8 метр., при высотѣ слоя  $s = 0,10$  — 0,11 — 0,12 метр.; для спекающихся каменныхъ углей эта величина еще больше. Величина  $N_1 + N_2 = N$  можетъ измѣняться въ предѣлахъ отъ 6 до 20 метр. и въ хорошихъ котельныхъ установкахъ въ среднемъ  $N = 9$  метр.

Можно принять, что всѣ эти сопротивленія уменьшаютъ скорость движенія газовъ при выходѣ изъ трубы  $v_n$  приблизительно на  $\frac{1}{3}$ . Высота трубы  $H$ , конечно, всегда, даже при самыхъ неблагоприятныхъ условіяхъ тяги, должна значительно превышать величину  $N$ .

По большей части уже въ холодной трубѣ существуетъ болѣе или менѣе сильная тяга, образующаяся вслѣдствіе того, что въ воздухѣ, окружающемъ трубу извнѣ, почти всегда существуютъ

теченія, которыя вызываютъ легкое разрѣженіе въ воздухѣ, лежащемъ въ верхней части трубы, почему и создаются условія, вызывающія внутреннія теченія въ трубѣ снизу вверхъ.

Когда только что начинаютъ растопку, при совершенномъ отсутствіи вѣтра, этой тяги часто бываетъ недостаточно, особенно лѣтомъ, когда воздухъ, находящійся внутри трубы, холоднѣе наружнаго. Тогда приходится вызвать тягу въ трубѣ, зажигая солому или дрова прямо въ боровѣ или въ трубѣ. Иногда, въ особенности если труба долго бездѣйствовала, случается, что несмотря на вѣтеръ, въ трубѣ не удается вызвать тяги вслѣдствіе того, что внутри или у отверстія ея образовалось нѣсколько слоевъ паутины<sup>1)</sup>. Далѣе, случается, что на половину сгорѣвшіе и смѣшавшіеся съ избыточнымъ воздухомъ газы, образовавшіеся при горѣннн соломы или дровъ въ боровѣ, сразу загораются со взрывомъ и выбрасываютъ холодный воздухъ изъ трубы. Этотъ случай особенно часто имѣетъ мѣсто при началѣ работы новой трубы, при началѣ растопки; тогда нужно быть осторожнымъ, потому что, благодаря большой тратѣ тепла на испареніе влаги изъ свѣжей кирпичной кладки, образуется холодный тяжелый воздухъ, который представляетъ значительное сопротивленіе движенію газовъ.

---

<sup>1)</sup> Авторъ наблюдалъ это явленіе надъ трубою костокальни; она начала работать только послѣ удаленія паутины.

Теперь мы перейдемъ къ расчету высоты трубы и необходимаго поперечнаго сѣченія ея въ свѣту.

*Приблизительный расчетъ размѣровъ дымовой трубы по величинѣ общей площади колосниковой рѣшетки.*

Для опредѣленія высоты дымовой трубы слѣдуетъ исходить изъ извѣстныхъ допущеній и практическихъ данныхъ, безъ которыхъ невозможно вычислить размѣры трубы.

Основное правило этого расчета заключается въ томъ, что необходимая скорость движенія топочныхъ газовъ при выходѣ изъ трубы  $v_n$  должна составлять по меньшей мѣрѣ 3—4 метр. въ секунду, чтобы противный вѣтеръ не могъ вдувать ихъ обратно. Если одна общая труба должна обслуживать нѣсколько топокъ, которыя по временамъ могутъ работать и не всѣ, то въ расчетъ принимаютъ скорость газовъ болѣе 3 или 4 метр., а именно до 8 метр. въ секунду при полной работѣ, чтобы въ случаѣ, когда работаетъ только половина топокъ, всетаки можно было бы достигнуть необходимой скорости вытекания газовъ изъ трубы; при самой тихой работѣ скорость газовъ всетаки должна быть не менѣе 2 метр. въ секунду.

Собственно говоря, всегда должна работать не менѣе чѣмъ  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  часть общаго числа топокъ. При постройкѣ новой трубы всегда дѣлаютъ поперечное сѣченіе ея возможно большимъ, чтобы потомъ, въ случаѣ увеличенія числа топокъ, имѣть въ распоряженіи нѣкоторый запасъ.

Приблизительно площадь поперечнаго сѣченія трубы въ свѣту  $F_0$  можно опредѣлить въ зависимости отъ общей площади колосниковой рѣшетки  $R$  всѣхъ топокъ, для которыхъ предназначается труба, по формулѣ

$$I. F_0 = \frac{R}{\varphi},$$

по Штруплер'у для  $F_0$  можно принять слѣдующія практическія величины, какъ наименьшія:

при 1, 2, 3, 4—5, 6—7, 8—9, 10—12 котлахъ  
 $\frac{1}{4}$   $\frac{1}{5}$   $\frac{1}{6}$   $\frac{1}{7}$   $\frac{1}{8}$   $\frac{1}{9}$   $\frac{1}{10}$  всей по-  
 верхности колосниковой рѣшетки въ случаѣ отоп-  
 ленія каменнымъ углемъ; а при отопленіи исклю-  
 чительно бурымъ углемъ—отъ  $\frac{2}{3}$  до  $\frac{3}{4}$  поверхности  
 колосниковъ.

Высоту трубы можно также приблизительно вы-  
 числить по Штруплер'у съ помощью формулы:

$H = 6 \sqrt[3]{\text{поверхности нагрѣва}}$ , при чемъ получа-  
 ются соотвѣтствующія дѣйствительности наимень-  
 шія допустимыя при обыкновенныхъ условіяхъ ве-  
 личины.

Прежде часто пользовались формулою Навье:

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2gh(T-t)}{273+t}}, \text{ гдѣ } v \text{ обозначаетъ скорость}$$

движенія газовъ въ трубѣ въ секунду,  $g$ —число  
 9,81, выражающее ускореніе силы тяжести,  $h$ —вы-  
 сота столба воздуха въ трубѣ въ метрахъ,  $T$ —  
 температура въ трубѣ,  $t$ —температура наружнаго

воздуха,  $\varphi$ —коэффициентъ, выражающій величину сопротивленій движенію газовъ, который обыкновенно принимаютъ  $= 1/3$ , тогда какъ въ дѣйствительности эта величина колеблется въ широкихъ предѣлахъ и можетъ достигать  $7/8$ .

Въ случаѣ большого числа котловъ при расчетѣ необходимыхъ размѣровъ трубы всего цѣлесообразнѣе брать въ основаніе расчета вѣсъ топлива  $V$ , который нужно сжечь въ 1 часъ.

*Приблизительный расчетъ размѣровъ дымовой трубы на основаніи количества сжигаемаго топлива.*

#### А. Поперечное сѣченіе трубы.

Основываясь на томъ, что скорость движенія дымовыхъ газовъ при выходѣ изъ трубы  $v_n$  должна составлять по меньшей мѣрѣ 3—4 метра въ секунду, мы получимъ слѣдующее уравненіе для верхняго сѣченія трубы  $F_0$  въ квадр. метрахъ:

$$\text{II.} \quad F_0 = \frac{B. G. (1 + \alpha t_0)}{\gamma. \delta. 3600. v_n}, \text{ гдѣ}$$

$B$ — количество топлива, сжигаемаго въ 1 часъ, въ килогр.

$G$ — количество газовъ, образующихся при горѣніи 1 килогр. топлива, въ килогр.

$\alpha = \frac{1}{273} = 0,003665$ —коэффициентъ расширенія газовъ.

$t_0$ — температура газовъ, выходящихъ изъ трубы.

$\gamma = 1,29$  килогр. — вѣсъ 1 куб. метра воздуха

средней влажности при 0°Ц. и при 760 миллим. ртутного столба.

$\delta$  — плотность топочныхъ газовъ по отношенію къ воздуху.

Для бурого угля при употребленіи для сжиганія теоретическаго количества воздуха  $\delta = 1,012$ , а для каменнаго угля при томъ же условіи  $\delta = 1,022$ .

Примемъ, что въ топку вводится количество воздуха вдвое большее теоретическаго (приблизительно такъ и бываетъ на практикѣ); положимъ далѣе, что  $G$  и  $\delta$  для хорошаго каменнаго угля = 22,30 и 1,022, для хорошаго бурого угля = 13,56 и 1,012, для землистаго бурого угля = 10,55 и 1,002; а температуру выходящихъ изъ трубы газовъ примемъ = 200° Ц.; тогда, замѣнивъ всѣ множители при  $B$  черезъ  $\eta$ , мы получимъ формулы:

$$F_0 = \frac{d_0^2 \pi}{4} = \eta B \quad \text{и} \quad d_0 = 2 \sqrt{\frac{\eta}{\pi} B} = 2 \sqrt{\frac{\eta}{\pi}} \sqrt{B},$$

гдѣ  $d_0$  обозначаетъ верхній діаметръ трубы. Вычисливъ, получимъ для  $\eta$  и  $d_0$  слѣдующія значенія.

Названія углей.	$\eta$ при $v_n = 3$ метр. въ сек.	$\eta$ при $v_n = 4$ метр. въ сек.	$\eta$ при $v_n = 3,5$ метр. въ сек.	$d_0$ при $v_n = 3,5$ метр. въ сек.
Каменный уголь .	0,00271	0,00225	0,00235	$0,055 \sqrt{B}$
Хорошій бурый уголь . . . . .	0,00166	0,00127	0,00145	$0,043 \sqrt{B}$
Землистый бурый уголь . . . . .	0,00131	0,00098	0,00112	$0,038 \sqrt{B}$

Значенія для  $G$  можно вычислить прямо по анализу горючаго матеріала; въ XVI главѣ объяснено, какъ это сдѣлать. Выше приведенное значеніе  $G=10,55$  для землистаго бураго угля получено такимъ образомъ: вычислены объемы газовъ, получающихся при горѣніи угля, и пересчитаны на вѣсовыя единицы (по таблицѣ V, глава XIV).

### В. Высота дымовой трубы.

Высоту можно опредѣлить по слѣдующей приблизительной формулѣ:

$$\text{III. } H = \left\{ 20d_0 + 5 + 0,05 (l - 20) \right\} \cdot \frac{700 - t_m}{200 + t_m}$$

$l$  обозначаетъ длину дымоходовъ и борова.

Въ случаѣ нѣсколькихъ котловъ слѣдуетъ сложить длины всѣхъ дымоходовъ и прибавить сюда длину всего борова; полученная величина и будетъ  $= l$ .

$t_m$  — средняя температура газовъ въ трубѣ.

Если принять  $t_m = 250^\circ$ , то послѣдній множитель въ вышеприведенной формулѣ  $\frac{700 - t_m}{200 + t_m}$  будетъ  $= 1$ .

Однако эта величина при различныхъ температурахъ выражается очень различными числами, такъ на примѣръ, при  $400^\circ$  она  $= 0,5$ .

*Точное вычисленіе размѣровъ дымовой трубы и скорости выхода газовъ изъ нея.*

Точная дѣйствующая высота трубы  $H_r$  представляетъ высоту ея надъ колосниковой рѣшеткой; она

по большей части равна  $H$ —высотѣ трубы надъ уровнемъ почвы, такъ что формула III для  $H$  можетъ также примѣняться и для опредѣленія  $H_r$ .

Чтобы вычислить точно высоту  $H_r$  при опредѣленной скорости  $v_n$ , наприм. = 3 или 4 метр. въ сек. или при большомъ числѣ котловъ въ полномъ ходу = 8 метр. въ сек., намъ нужно знать, кромѣ величинъ уже указанныхъ отдѣльныхъ сопротивленій  $N_1$  и  $N_2$ , еще нѣкоторыя практическія данныя.

Высота  $N_1$ , компенсирующая сопротивление при проходѣ воздуха черезъ слой топлива, опредѣляется по Грасгофу для хорошихъ сортовъ каменнаго угля, при высотѣ топлива  $s = 0,1$  метр., такъ:

$$\text{IV.} \quad N_1 = 25 \cdot G \cdot s^2,$$

Если  $G$ —вѣсъ газовъ, какъ уже принято раньше, = 22,3 килогр., то  $N_1 = 5,6$  метр., т. е. сопротивление при проходѣ воздуха черезъ слой угля уравнивается давленіемъ столба воздуха въ 5,6 метр. высоты.

Соотвѣтствующая высота слоя загрузки для другихъ горючихъ матеріаловъ, при одинаковомъ значеніи  $N_1 = 5,6$  метр., выразится такимъ образомъ:

для спекающагося или порошкообразнаго каменнаго угля. . . . .	$s = 0,08$ метр.
„ тощаго угля въ кускахъ съ орѣхъ. . . . .	$s = 0,12$ „
„ бураго угля въ кускахъ . . . . .	$s = 0,10$ „
„ порошкообразнаго бураго угля. . . . .	$s = 0,05$ до $0,08$ м.

Если взять  $\gamma$  больше, напр., для хорошаго каменнаго угля = 0,11 или 0,12, то соответствующія значенія для  $N_1$  будутъ 6,75 м. и 8,0 м. Отсюда ясно видно, какъ сильно зависитъ сила тяги отъ высоты слоя топлива и отъ степени измельченія его.

Высота  $N_1$ , компенсирующая сопротивленіе при проходѣ воздуха черезъ дымоходы и боровъ, меньше чѣмъ  $N_1$ , и зависитъ главнымъ образомъ отъ средней скорости газовъ въ дымоходахъ и боровъ  $v_c$ , которая опредѣляется по формулѣ:

$$V. \quad v_c = \frac{B \cdot G \cdot (1 + \alpha t_c)}{\gamma \cdot \varepsilon \cdot 3600 \cdot F_c},$$

гдѣ кромѣ прежнихъ обозначеній введены еще слѣдующія:

$t_c$  — средняя температура топочныхъ газовъ въ дымоходахъ и боровъ.

$F_c$  — среднее поперечное сѣченіе дымоходовъ и борова. Поперечное сѣченіе борова и послѣдняго дымохода принимается обыкновенно =  $F_m$  — среднему поперечному сѣченію трубы въ свѣту.

Величину  $t_c$  обыкновенно находятъ, какъ среднее арифметическое изъ температуры продуктовъ горѣнія въ топкѣ  $t_f$  и температуры ихъ при входѣ въ трубу  $t_u$ . Если принять  $t_f = 1300^\circ\text{Ц.}$ , а  $t_u = 200^\circ\text{Ц.}$ , то получаемъ среднее  $t_c = 750^\circ\text{Ц.}$  Если боровъ имѣетъ большую длину или если устроены подогрѣватели, то температура  $t_c$  бываетъ ниже вычисленной средней, тогда ее можно уменьшить даже на  $100^\circ\text{Ц.}$

Такъ какъ скорость  $v_c$  не можетъ быть болѣе, чѣмъ  $v_n$ , то зная начальную температуру  $t_u$ , удѣльный вѣсъ топочныхъ газовъ, опредѣленный по содержанию въ нихъ углекислоты, и другія величины, опредѣляемыя по анализу топлива, можно опредѣлить необходимое сѣченіе  $F_c$  по формулѣ II, данной для  $F_o$ . Такимъ образомъ мы получимъ:

$$\text{Va.} \quad F_c = \frac{B \cdot G (1 + \alpha t)}{\gamma \cdot \delta \cdot 3600 \cdot v_n}$$

это будетъ площадь средняго поперечнаго сѣченія борова и дымоходовъ. Обыкновенно это сѣченіе берутъ для борова и послѣдняго дымохода, а второй и первый дымоходы дѣлаютъ съ соотвѣтственно большими сѣченіями, второй на  $\frac{1}{4}$ , а первый на  $\frac{1}{2}$ , для того чтобы сѣченіе ихъ соотвѣтствовало объему болѣе горячихъ газовъ, находящихся здѣсь.

Послѣ опредѣленія  $v_c$ , вычисляютъ высоту сопротивленія въ дымоходахъ и боровахъ по формулѣ:

$$\text{VI.} \quad N_2 = \frac{v_c^2}{2 \gamma (1 + \alpha t_c)} (\rho_c \cdot l \cdot \frac{U_c}{F_c} + \Sigma \xi);$$

$\rho_c = 0,0085$ —средняя величина сопротивленія тренія топочныхъ газовъ о стѣнки,

$l$ —сумма длинъ дымоходовъ+длина всего борова,

$U_c$ —перимѣтръ средняго поперечнаго живого сѣченія дымоходовъ и борова,

$F_c$ —площадь его,

$\Sigma \xi$ —сумма сопротивленій вслѣдствіе перемѣны направленія и поперечнаго сѣченія дымовыхъ каналовъ.

Приведемъ здѣсь различныя значенія для  $\xi$ :

Сопротивленіе при переменнѣмъ направленіи дымоходовъ . . . . .

для прямоугольнаго колѣна . . . . .	$\xi = 1,5$
„ прямоугольнаго колѣна съ закругленными ребрами . . . . .	$\xi = 1,0$
„ колѣна въ $135^\circ$ . . . . .	$\xi = 0,6$
„ постепеннаго измѣненія направленія . . . . .	$\xi = 0,15$
„ рѣзкаго измѣненія направленія . . . . .	$\xi = 2,0$

Величина  $l \frac{U_c}{F_c}$  представляетъ собою сумму значеній для отдѣльныхъ частей дымохода

$$l \frac{U_c}{F_c} = \left( \frac{U_1}{F_1} l_1 + \frac{U_2}{F_2} l_2 + \frac{U_3}{F_3} l_3 + \dots \right),$$

причемъ для круга, квадрата и всѣхъ правильныхъ многоугольниковъ  $\frac{U}{F} = \frac{4}{d}$ , гдѣ  $d$  обозначаетъ диаметръ вписаннаго круга.

Для приближительнаго расчета можно принять въ среднемъ  $N_1 + N_2 = N = 9$  метр.

Точное вычисленіе полезной высоты трубы  $H_r$  можно произвести по формулѣ:

$$\text{VII.} \quad H_r = \frac{2gN(1 + \alpha t_m) + v_n^2}{2g\alpha \frac{t_m - t}{1 + \alpha t} - v_n^2 \rho \frac{U}{F}}$$

а дѣйствительная скорость газовъ при выходѣ изъ трубы  $v_e$  опредѣляется по формулѣ:

$$\text{VIII. } v_e = \sqrt{\frac{2g \left\{ H_r \alpha \cdot \frac{t_m - t}{1 + \alpha t} - N(1 + \alpha t_m) \right\}}{1 + \rho \frac{U}{F} \cdot H_r}},$$

причемъ эта формула выводится изъ основнаго уравненія для тяги трубы:

$$\text{IX. } H_d - N = \frac{v_m^2}{2g(1 + \alpha t_m)}(1 + n).$$

$H_d$  обозначаетъ высоту тяги, т. е. разность давленій наружнаго воздуха и нагрѣтыхъ дымовыхъ газовъ въ трубѣ.

$v_m$ —скорость, соотвѣтствующая средней температурѣ въ трубѣ  $t_m$ .

$n$ —сумма сопротивленій въ трубѣ.

Обыкновенно принимаютъ  $n = \rho \frac{U_m}{F_m} H$ .

Такъ какъ подробный выводъ формулъ не соотвѣтствуетъ цѣлямъ этой книги, то мы не можемъ привести здѣсь формулъ и опытныхъ данныхъ для всѣхъ условій и отдѣльныхъ системъ котловъ (корнвалійскихъ, трубчатыхъ и т. д.), а также и для различныхъ горючихъ матеріаловъ.

Для точнаго расчета различныхъ системъ топокъ и дымовыхъ трубъ необходимы, конечно, болѣе подробныя свѣдѣнія, однако и съ помощью вышеприведенныхъ формулъ вполне возможно провѣрить

уже существующую котельную установку или готовый проект.

Въ заключеніе приведемъ общій ходъ разчета при помощи данныхъ выше формулъ:

Прежде всего опредѣляютъ приблизительно площадь поперечнаго сѣченія трубы  $F$  по уравненію II, принимая  $v_n = 3 - 4$  метр. въ сек., а для большого числа котловъ въ полномъ ходу —  $v_n$  до 8 метр. въ сек.; затѣмъ вычисляютъ діаметръ  $d = 2 \sqrt{\frac{F}{\pi}}$ , а также и отношеніе  $\frac{U}{F} = \frac{4}{d}$ . Потомъ опредѣляютъ приблизительно высоту дымовой трубы  $H$  по уравненію III.

Для точнаго вычисленія средней скорости газовъ  $v_n$  подставляютъ полученныя значенія въ формулу V и такимъ образомъ прежде всего получаютъ величину  $v_c$ . Затѣмъ опредѣляютъ сумму сопротивленій  $N = N_1 + N_2$ , вычисляя  $N_1$  по формулѣ IV,

а  $N_2$  — по формулѣ VI. Отношеніе  $\frac{U_c}{F_c}$  устанавливаютъ въ зависимости отъ большей или меньшей длины бора отъ 1,2 до 1,4. Сумма сопротивленій въ дымоходахъ  $\Sigma \xi$  опредѣляется въ зависимости отъ системы обмуровки котла по вышеприведенной таблицѣ.

Наконецъ, подставивъ найденныя величины въ формулы VII и VIII, получаютъ дѣйствительную высоту трубы  $H_r$  и достижимую скорость газовъ  $v_e$ .

Введя это значеніе для  $v_n$  въ формулу II, полу-

чаютъ величину площади поперечнаго сѣченія трубы или діаметра ея, соотвѣтствующаго вычисленной высотѣ  $H_r$ .

*Зависимость между расходомъ топлива, средней температурой дымовыхъ газовъ, скоростью движенія ихъ и содержаніемъ углекислоты.*

Можно думать, что при низкомъ содержаніи углекислоты вслѣдствіе избытка вступающаго въ топку воздуха, температура отходящихъ газовъ  $t_u$  всегда должна быть ниже, чѣмъ при меньшемъ избыткѣ воздуха. Но на практикѣ по большей части наблюдается обратное.

Именно, въ случаѣ, если вслѣдствіе большого расхода пара или вслѣдствіе слабого горѣнія, обусловливаемаго излишнимъ прикрытіемъ дымохода, давленіе въ котлѣ сильно падаетъ, кочегаръ старается опять поднять давленіе, открывая шиберъ какъ можно больше.

Большее открытіе дымохода, конечно, вызываетъ болѣе сильную тягу, особенно, если нѣсколько топокъ соединены съ однимъ и тѣмъ же боровомъ. Тогда черезъ уголь начинаетъ проходить больше воздуха и въ опредѣленный промежутокъ времени сгораетъ больше угля, такъ что увеличивается количество  $B$  и вѣсъ газа  $G$ , образующагося изъ 1 килогр. угля. Послѣдняя величина увеличивается вслѣдствіе того, что черезъ одинъ и тотъ же слой угля проходитъ больше избыточнаго воздуха.

Итакъ, значить при слишкомъ сильной тягѣ содержаніе углекислоты падаетъ, а объемъ газа  $G$  превышаетъ нормальный. Поэтому при одномъ и томъ же поперечномъ сѣченіи дымоходовъ  $F_c$  черезъ нихъ проходитъ объемъ газа  $G$  съ большей скоростью  $v_c$ . Но при увеличившейся скорости движенія топочныхъ газовъ  $v_c$  они уже не успѣваютъ въ опредѣленный промежутокъ времени передать стѣнкамъ котла то-же количество теплоты, поэтому при одной и той же начальной температурѣ  $t_f$ , которая для одного и того же угля остается постоянною, использование теплоты  $t_f - t_u$  уменьшается, а температура отходящихъ газовъ  $t_u$  должна повыситься.

При усиленной тягѣ, конечно, стѣнки котла въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени получаютъ больше единицъ теплоты, такъ что давленіе пара постепенно поднимается; однако слѣдуетъ принять во вниманіе, что при этомъ повышается температура отходящихъ дымовыхъ газовъ.

При помощи аппарата Адосъ можно очень хорошо прослѣдить всѣ описанныя измѣненія, если въ то-же время наблюдать давленіе пара и степень открытія шибера. Конечно, при недостаткѣ угля на колосникахъ падаетъ и содержаніе углекислоты и температура отходящихъ газовъ.

Но во всякомъ случаѣ при меньшемъ содержаніи углекислоты всегда увеличивается расходъ угля; и поэтому выгодно поощрять кочегаровъ преміями за высокое содержаніе углекислоты въ газахъ.

Кромѣ того слѣдуетъ приказать кочегарамъ, чтобы они уже при незначительномъ пониженіи давленія пара въ котлѣ немного открывали шиберъ для усиленія тяги и горѣнія, не дожидаясь пока давленіе сильно упадетъ, такъ какъ тогда пришлось бы широко раскрыть шиберъ и сжигать много угля съ большой потерей тепла.

#### XIV.

##### О теплотѣ горѣнія.

Теплотой горѣнія или теплотворной способностью называется видимое выдѣленіе тепла при процессахъ окисленія. Если при этомъ выдѣляется свѣтъ, то этотъ процессъ называется просто горѣніемъ.

Измѣреніе количества тепла, выдѣляющагося при горѣніи какого-нибудь горючаго вещества (калориметрія), состоитъ въ томъ, что производятъ сжиганіе въ сосудѣ, окруженномъ водой, температуру которой измѣряютъ до и послѣ горѣнія. Количество тепла, которое нужно для нагрѣванія 1 килограмма воды отъ 0 до 1° Ц., называется единицей теплоты (калорія).

Количества теплоты горѣнія нѣкоторыхъ тѣлъ съ кислородомъ или воздухомъ, имѣющія значеніе для топочныхъ газовъ, опредѣленные вышеизложеннымъ способомъ, приведены въ слѣдующей таблицѣ. Значеніе чиселъ въ отдѣльныхъ графахъ объяснено вверху таблицы. Количества теплоты въ калоріяхъ, соответствующія молекулярнымъ вѣсамъ

тѣль—значить не равнымъ въсовымъ частямъ ихъ—  
приведены въ пятомъ вертикальномъ столбцѣ и по-  
лучены умноженіемъ килограммъ-калорій (въ треть-  
емъ столбцѣ) на молекулярный вѣсъ въ граммахъ  
и дѣленіемъ полученныхъ чиселъ на 1000.

ТАБЛИЦА I.

*Теплота горѣнія (W) въ некоторыхъ тѣлахъ въ кислородѣ  
или воздухѣ.*

Сжигаемое тѣло	Продукты горѣ- нія	W = единицы теплоты на 1 килогр.	Молекулярный вѣсъ въ грам- махъ = грамм- молекулы	Единицы тепло- ты на грамм мо- лекулу
Углеродъ C въ видѣ древеснаго угля.	Углекислота, CO <sub>2</sub> .	8100 <sup>2)</sup>	12 гр. C	96,96
Углеродъ C въ видѣ обугленнаго сахара.	Углекислота, CO <sub>2</sub> .	8040	12 • C	96,48
Окись углерода, CO.	Углекислота, CO <sub>2</sub> .	2403	28 • CO	67,28
Древесный уголь, C.	Окись угле- рода CO.	2473	12 • C	29,70
Водородъ, H <sub>2</sub> .	Вода, H <sub>2</sub> O, жидкая.	34220	2 • H <sub>2</sub>	68,4
Водородъ, H <sub>2</sub> .	Вода H <sub>2</sub> O парооб- разн. <sup>1)</sup> .	28800 <sup>1)</sup> въ сред- немъ	2 • H <sub>2</sub>	57,4 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Stohmann u. Kerl, Encyclopädisches Handbuch der Techn. Chemie, 4. Aufl., Bd. IV, S. 203—206.

<sup>2)</sup> По новѣйшимъ изслѣдованіямъ Бертелло 8137,4 калор.

Сжигаемое тѣло	Продукты горѣ- нія.	W = единицы теплоты на 1 килогр.	Молекулярный вѣсъ въ грам- махъ = грамм- молекулы.	Единицы тепло- ты на грамм-мо- лекулу.
Метанъ, $CH_4$ .	$CO_2$ и $H_2O$ парообраз- ная.	11996 <sup>1)</sup>	16 · $CH_4$	191,9
Ацетиленъ, $C_2H_2$ .	$CO_2$ и $H_2O$ парообраз- ная.	11527	26 · $C_2H_2$	299,7
Этиленъ, $C_2H_4$ .	$CO_2$ и $H_2O$ парообраз- ная.	11293	28 · $C_2H_4$	316,2
Алкоголь, $C_2H_6O$ .	$CO_2$ и $H_2O$ жидкая.	7184	46 · $C_2H_6O$	330,5
Виноградный сахаръ, $C_6H_{12}O_6$ .	$CO_2$ и $H_2O$ жидкая.	3743	180 · $C_6H_{12}O_6$	673,7
Тростниковый сахаръ, $C_{12}H_{22}O_{11}$ .	$CO_2$ и $H_2O$ жидкая.	3955	342 · $C_{12}H_{22}O_{11}$	1352,6
Глицеринъ, $C_3H_8O_3$ .	$CO$ и $H_2O$ жидкая.	4316	92 · $C_3H_8O_3$	397,1
Сѣра, $S$ .	$SO_2$ , газо- образн.	2220	32 · $S$	71,0
Сѣра, $S$ .	$SO_2$ , жидкй.	3226	32 · $S$	103,2

При данныхъ съ примѣчаніемъ „жидкая“ при-  
считана теплота конденсаціи образовавшейся при  
горѣніи воды; напротивъ въ данныхъ съ примѣча-  
ніемъ „парообразная“ <sup>2)</sup> принято во вниманіе только

<sup>1)</sup> По Thomson (Winklers Techn. Gasanalyse, 2. Aufl., S. 184).

<sup>2)</sup> Stohmann u. Kerl, Encyclopädisches Handbuch der Techn. Chemie, 4. Auflage, Bd. IV, S. 203—206.

образование водяного пара и поэтому въ счетъ не включена теплота испаренія (при  $0^\circ = 606,5$  калорій; для 9 килогр. = 5459 калор. или круглымъ числомъ 5400 калор.; для 1 грамм.-молекулы (18 гр.) = 10,92 калор.).

Газообразные продукты горѣнія, какъ мы видѣли при газовомъ анализѣ, опредѣляются не по вѣсу, а по объему. Поэтому гораздо проще принять во вниманіе для дальнѣйшихъ расчетовъ полученныя изъ анализа топочныхъ газовъ объемныя отношенія и соотвѣтствующія количества теплоты горѣнія и т. д. всѣ пересчитать на 1 куб. метръ газа. Теплоту горѣнія, приходящуюся на 1 куб. метръ, можно получить, если вышеприведенныя килограмм-калоріи помножить на вѣсъ 1 куб. метра газа въ килограммахъ, для чего здѣсь даѣе и приведены вѣсовые и объемныя отношенія.

ТАБЛИЦА II <sup>1)</sup>.

*Вѣсовые и объемныя отношенія нѣкоторыхъ газовъ.*

Г А З Ъ.	1 килогр. при $0^\circ$ и 760 милл. давленія занимаетъ объемъ въ куб. метр.	1 куб. метръ при $0^\circ$ и 760 милл. давленія вѣситъ въ килограмм.
Атмосферный воздухъ . . . . .	0,7728	1,2939
Кислородъ . . . . . ( $O_2$ )	0,6993	1,4300
Азотъ . . . . . ( $N_2$ )	0,7956	1,2552
Водородъ . . . . . ( $H_2$ )	11,1600	0,0896

<sup>1)</sup> Stohmann u. Kerl, Bd. IV, S. 301

Г А З Ъ.	1 килогр. при 0° и 760 миллим. давленія занимаетъ объемъ въ куб метр.	1 куб. метръ при 0° и 760 миллим. давленія вѣситъ въ килограмм.
Углекислота. . . . . ( $CO_2$ )	0,5084	1,9663
Окись углерода . . . . . ( $CO$ )	0,7987	1,2515
Метанъ. . . . . ( $CH_4$ )	1,3962	0,7155
Этиленъ . . . . . ( $C_2H_4$ )	—	1,2520
Пары воды при 100° Ц. . . . . ( $H_2O$ )	1,2430	0,8046
Пары воды при 100° Ц. при низкомъ давленіи . . . . .	—	0,8147
Сѣрнистый ангидридъ. . . . . ( $SO_2$ )	—	2,8634

Какъ каждому химику извѣстно, химическія формулы кромѣ вѣсовыхъ отношеній выражаютъ въ то же время и непосредственно объемы, причемъ знаки различныхъ элементовъ обозначаютъ всегда равные объемы ихъ въ газообразномъ состояніи. Далѣе мы выведемъ, что въ одинаковыхъ объемахъ газообразныхъ тѣлъ при одинаковомъ давленіи и температурѣ содержится всегда одинаковое число молекулъ. Молекула водорода состоитъ изъ 2 атомовъ или 2 объемныхъ единицъ =  $H_2$ . Такъ какъ въ равныхъ объемахъ всѣхъ газовъ содержится всегда равное число молекулъ, то на примѣръ 1 молекула водяного пара также должна занимать пространство двухъ объемныхъ единицъ. Но вода ( $H_2O$ ) состоитъ изъ 2 объемовъ водорода и 1 объема

кислорода; значить эти 3 объема въ видѣ водяного пара должны сконденсироваться въ 2 объема. По этому доказанному на предыдущемъ примѣрѣ закону, обязательному для всѣхъ газовъ, получаются слѣдующія объемныя отношенія для газовъ, имѣющихъ здѣсь значеніе:

ТАБЛИЦА III.

ПРОДУКТЫ ГОРѢНІЯ.	Горючее вещество.	Кислородъ.
1 куб. метръ водяного пара ( $H_2O$ ) состоитъ изъ . . . . .	1 куб. метра $H_2$ и $1/2$ к. метр. $O_2$	
1 куб. метръ углекислоты ( $CO_2$ ) состоитъ изъ . . . . .	1 куб. метра $CO$ и $1/2$ „ „ „	
1 куб. метръ углекислоты ( $CO_2$ ) состоитъ изъ . . . . .	0,5363 килогр. $C$ и 1 „ „ „	
1 куб. метръ окиси углерода ( $CO$ ) состоитъ изъ . . . . .	0,5363 килогр. $C$ и $1/2$ „ „ „	
1 куб. метръ сѣрнистаго ангидрида ( $SO_2$ ) состоитъ изъ . . . . .	$1/2$ куб. метр. паробразной $S$ и . . . . .	1 „ „ „

Число 0,5363 килогр.  $C$  въ 1 куб. метр.  $CO_2$  найдено такимъ образомъ:

1 куб. метръ углекислоты вѣситъ 1,9663 килогр., въ немъ содержится 1 к. м. кислорода = 1,4300 „ значитъ остается вѣсъ углерода = 0,5363 килогр. въ 1 куб. метр.  $CO_2$ .

Соотвѣтствующимъ образомъ сдѣланъ расчетъ и для окиси углерода.

Съ помощью послѣднихъ трехъ таблицъ можно

опредѣлить теплоту горѣнія для *C*, *H* и нѣкоторыхъ горючихъ газовъ, помѣщенныхъ въ таблицахъ. Такъ, напримѣръ, теплота сгорания 1 куб. метра водорода въ водяной паръ получается умноженіемъ  $0,0896 \times 28800 = 2580$  единицъ теплоты; теплота образованія 1 куб. метра углекислоты изъ углерода:  $0,5363 \times 8100 = 4344$  единицъ теплоты.

ТАБЛИЦА IV.

Сжигаемое тѣло.	Продукты горѣнія.	Теплота горѣнія.
1 к. метръ водорода ( $H_2$ ) въ . . . . .	1 к. метръ водяного пара ( $H_2O$ ) . . . . .	2580 кал.
1 к. метръ водорода ( $H_2$ ) въ . . . . .	жидкую воду ( $H_2O$ ) . . . . .	3064 »
1 к. метръ окиси углерода ( $CO$ ) въ . . . . .	1 к. метръ углекислоты ( $CO_2$ ) . . . . .	3007 »
0,5363 килогр. углерода ( $C$ ) въ . . . . .	1 к. метръ углекислоты ( $CO_2$ ) . . . . .	4344 »
0,5363 килогр. углерода ( $C$ ) въ . . . . .	1 к. метръ окиси углерода ( $CO$ ) . . . . .	1326 »
1 к. метръ метана ( $CH_4$ ) въ . . . . .	1 к. метръ $CO_2$ и 2 куб. метра водяного пара . . . . .	8583 »
1 к. метръ метана ( $CH_4$ ) въ . . . . .	1 к. метръ $CO_2$ и жидкую воду . . . . .	9548 »
1 к. метръ этилена ( $C_2H_4$ ) въ . . . . .	2 к. метра $CO_2$ и 2 куб. метра водяного пара . . . . .	14139 »
1,4315 килогр. сѣры ( $S$ ) въ . . . . .	1 к. метръ сѣрнистаго ангидрида . . . . .	3178 »

Не всё тѣла нагрѣваются однимъ и тѣмъ же количествомъ теплоты до одинаковой степени, напротивъ повышение температуры при поглощеніи одинаковыхъ количествъ теплоты зависитъ отъ рода тѣла. *Удельной теплотой* или *теплоемкостью* называется число единицъ теплоты, которое нагрѣваетъ 1 килограммъ тѣла на  $1^{\circ}$  Ц.

Поэтому удѣльная теплота воды конечно равняется 1, такъ какъ единицей теплоты называется то количество ея, которое нужно, чтобы нагрѣть 1 килогр. воды отъ 0 до  $1^{\circ}$  Ц. Если имѣется  $G$  килограммовъ какого нибудь вещества, теплоемкость котораго  $= s$ , то для нагрѣванія его на  $t^{\circ}$  Ц. нужно  $G \cdot s \cdot t$  единицъ теплоты. Теплоемкость нѣкоторыхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ слѣдующая:

$s$ для воды	$= 1,000$
” ” алкоголя	$= 0,700$
” ” чугуна	$= 0,130$
” ” стали	$= 0,117$
” ” латуни	$= 0,094$
” ” ртути	$= 0,033$
” ” платины	$= 0,032$
” ” угольной золы	$= 0,250$

Такимъ образомъ для нагрѣванія на  $1^{\circ}$  Ц. килограмма ртути или платины нужно только 0,033 единицы теплоты, тогда какъ для желѣза 0,13 единицы теплоты; поэтому для нагрѣванія желѣза требуется теплоты въ 4 раза, а для воды въ 30 больше, чѣмъ для ртути.

ТАБЛИЦА V<sup>1)</sup>.

Теплоемкость газовъ и паровъ, принимая теплоемкость воды = 1,0.

Г А З Ъ.	Указываемая теплоемкость можетъ считаться правильной при температурѣ	Теплоемкость при постоянномъ давленіи 1 килограмма.	Вѣсъ 1 куб. метра въ килограммахъ.	Теплоемкость 1 к. м. при постоян. давленіи въ килогр.-калоріяхъ.
Атмосферн. воздухъ.	отъ 1 до 100° С.	0,2374	1,2939	0,307
Кислородъ. . . . .	» 13 » 206° »	0,2175	1,4300	0,311
Азотъ. . . . .	» 0 » 200° »	0,2438	1,2552	0,306
Водородъ. . . . .	» 21 » 100° »	3,4100	0,0896	0,3055
Окись углерода. . .	» 23 » 99° »	0,2425	1,2513	0,3035
Углекислота. . . . .	» 11 » 214° »	0,2169	1,9663	0,4265
Пары воды. . . . .	» 128 » 217° »	0,4805	0,8046	0,387
Пары воды при низкомъ давленіи. . . . .		0,4750	0,8147	0,387
Метанъ. . . . .	» 18 » 208° »	0,5930	0,7155	0,424
Этиленъ. . . . .	» 24 » 100° »	0,3880	1,2518	0,486
Сѣрнистый ангидридъ	» 16 » 202° »	0,1544	2,8630	0,442

Указаніе „теплоемкость 1 килограмма при постоянномъ давленіи“ обозначаетъ, что газы, рас-

<sup>1)</sup> Stohm. u. Kerl, Bd. IV, 187/188.

ширяющіеся при нагрѣваніи во время опредѣленія теплоемкости, находились подѣ постояннымъ давленіемъ въ 760 миллим. ртутнаго столба. Умножая эти полученные опытнымъ путемъ числа (вторая графа) на вѣсъ 1 куб. метра газа въ килограммахъ, получимъ теплоемкость одного куб. метра газа. Теплоемкость первыхъ 5 помѣщенныхъ въ таблицѣ трудно сгущаемыхъ газовъ почти одинакова; ее можно считать для всѣхъ этихъ газовъ = 0,307 или круглымъ числомъ 0,31. Числа, данныя для легче сгущающихся газовъ: углекислоты и водяного пара, можно также округлить и считать для чистой углекислоты — 0,43 и 0,39 для паровъ воды.

## XV.

**Зависимость между содержаніемъ углекислоты въ топочныхъ газахъ и температурой ихъ.**

Болѣе высокая или низкая температура дымовыхъ газовъ изъ одной и той же топки находится въ извѣстной связи съ содержаніемъ въ нихъ углекислоты и кислорода и соотвѣтствующимъ содержаніемъ избыточнаго атмосфернаго воздуха; она во-первыхъ зависитъ отъ начальной температуры въ области горѣнія, которая обусловливается главнымъ образомъ топливомъ; во-вторыхъ—отъ количества атмосфернаго воздуха, въ избыткѣ притекающаго къ топливу и топочнымъ газамъ, вліяющаго также на начальную температуру, и въ-третьихъ—отъ величины поверхности нагрѣва, погло-

щающей большую или меньшую часть образующейся теплоты.

Последняя причина для данной топки составляет постоянную величину. Напротивъ, притокъ воздуха и соотвѣтственный избытокъ его въ топочныхъ газахъ часто мѣняется въ зависимости отъ нагрузки колосниковъ и силы тяги въ дымоходахъ и оказываетъ наибольшее вліяніе на начальную температуру.

Чѣмъ больше избытокъ воздуха или содержаніе кислорода въ дымовыхъ газахъ, тѣмъ болѣе конечно должно понизиться содержаніе углекислоты, а также и температура газовъ, потому что одинаковое количество образующихся единицъ тепла распредѣляется на большій объемъ газа.

Для даннаго топлива при притокѣ воздуха въ количествѣ какъ разъ достаточномъ для полного его сгорания получается *наивысшее или такъ называемое максимальное содержаніе углекислоты*, которое никогда не можетъ увеличиться ни при большемъ противъ взятаго, ни при меньшемъ доступѣ воздуха, напротивъ оно можетъ только понизиться благодаря примѣси или несгорѣвшихъ газовъ, или избыточнаго атмосфернаго воздуха.

Обыкновенно имѣеть мѣсто послѣдній случай и тогда можно легко *вычислить начальную температуру газовъ по содержанію въ нихъ углекислоты*. Если кромѣ того извѣстна *конечная температура* ихъ при выходѣ въ трубу или въ боровъ, то по содержанію углекислоты можно вычислить также потерю тепла въ дымовыхъ газахъ.

Для вычисления потери теплоты въ дымовыхъ газахъ необходимо прежде всего знать теплоемкость сухого топочнаго газа. Она зависитъ отъ содержанія въ газѣ углекислоты, которое колеблется приблизительно между 8 и 18%. Сухой топочный газъ при различномъ содержаніи углекислоты имѣеть слѣдующую теплоемкость:

ТАБЛИЦА VI.

Содержаніе углекислоты въ %.	Теплоемкость 1 куб. метра.	Содержаніе углекислоты въ %.	Теплоемкость 1 куб. метра.
1	0,308	11	0,320
2	0,310	12	0,322
3	0,311	13	0,323
4	0,312	14	0,324
5	0,313	15	0,325
6	0,314	16	0,326
7	0,315	17	0,327
8	0,316	18	0,328
9	0,318	19	0,329
10	0,319	20	0,330

Теперь, зная теплоемкость сухихъ дымовыхъ газовъ, соотвѣтствующую каждому 1% повышенія содержанія углекислоты, можно вычислить начальную температуру при сгораніи чистаго углерода:

Если все количество выдѣляющейся теплоты =  $W$ , теплоемкость продуктовъ горѣнія =  $S_v$ , то начальная температура  $T$  будетъ слѣдующая:  $T = \frac{W}{S_v}$ .

Такъ что при содержаніи 1% углекислоты рассчитываютъ такимъ образомъ:  $\frac{4344 \times 0,01}{0,308} = 141^\circ \text{C.}$ ; а

при содержаніи 20% углекислоты:  $\frac{4344 \times 0,20}{0,330} = 2633^\circ \text{C}$ .

При этомъ предполагается, что вся выдѣляющаяся теплота расходуется на нагрѣваніе продуктовъ горѣнія. На самомъ же дѣлѣ это не вполне справедливо, такъ какъ часть теплоты поглощается окружающими тѣлами—золой, обмуровкой и т. д. Но относительное повышеніе температуры при этомъ приблизительно пропорціонально вычисленному по формулѣ.

Данныя, полученные по этой формулѣ, ближе всего отвѣчаютъ дѣйствительности при сжиганіи почти чистаго углерода, значить, на примѣръ, древеснаго угля. Для горючихъ матеріаловъ, содержащихъ водородъ, кислородъ и воду, вычисленіе теплотемкости дымовыхъ газовъ, состоящихъ не изъ чистой углекислоты, конечно сложнѣе. Но всетаки для нѣкоторыхъ изъ читателей этой книжки можетъ быть желательно ознакомиться съ этимъ вычисленіемъ и выводомъ нужныхъ для этого формулъ.

## XVI.

**Вычисленіе начальной температуры горѣнія на основаніи анализа топлива и содержанія углекислоты въ топномъ газѣ.**

Общее количество выдѣляющейся теплоты составляетъ изъ единицъ теплоты, получающихся при горѣніи углерода, водорода и сѣры, содержащихся въ углѣ, причемъ предполагается, что кислородъ топлива связанъ съ эквивалентнымъ количе-

ствомъ водорода въ видѣ воды; такъ что изъ общаго содержанія водорода слѣдуетъ вычесть эту связанную часть и принимать въ расчетъ только остающееся количество свободнаго водорода.

$$\text{Отсюда } W = 8100 C + 34220 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S.$$

Здѣсь  $W$  обозначаетъ число калорій, выдѣляемыхъ 1 килограммомъ вещества, а буквы  $C$ ,  $H$ ,  $O$  и  $S$  обозначаютъ процентное содержаніе соответствующихъ элементовъ. Сѣра, сгорая, образуетъ не только сѣрнистую кислоту, но отчасти и сѣрную, поэтому считаютъ, что она даетъ 2500 единицъ теплоты, а не 2200, что соответствовало бы образованію  $SO_2$ .

Это общее количество теплоты, полученное по формулѣ, нѣсколько больше того, которое дѣйствительно образуется при горѣніи; потому что вода, содержащаяся въ топливѣ, поглощаетъ часть теплоты, уже не способствующей повышенію температуры. Скрытая теплота водяныхъ паровъ составляетъ 536 калорій, температура ихъ при 760 миллим. ртутнаго столба =  $100^{\circ}C.$ , а общее количество заключающейся въ нихъ теплоты = 636 калорій. Отсюда вычитается измѣримая теплота, которая нужна для нагрѣванія водянаго пара до  $100^{\circ}C.$ , =  $100 \times \text{теплоемкость} = 100 \times 0,475$ . Такъ что изъ количества теплоты, образующейся при горѣніи, по формулѣ для  $W$  нужно еще вычесть:

$$-(9H + W) \times (636 - 0,475 \times 100).$$

Теплоемкость  $S_v$  газообразныхъ продуктовъ горѣнія въ формулѣ  $T = \frac{W}{S_v}$  составляется изъ коэф-

фиціентовъ теплѣмкости отдѣльныхъ газовъ, умноженныхъ на количества ихъ, содержащіяся въ 1 килограммѣ сжигаемаго вещества.

Количество кислорода, нужное для сгоранія топлива, составляетъ для углерода: 8 частей *O* на 3 вѣсовыхъ части *C*, или  $\frac{8}{3} C$ ; для водорода: 8 *H*; для сѣры 1 *S*. Отсюда слѣдуетъ вычесть количество кислорода, содержащееся въ горючемъ матеріалѣ. Значитъ для полного сгоранія нужно еще кислорода изъ воздуха:

$$\frac{8}{3} C + 8H + S - O.$$

Если вводится избытокъ воздуха, значитъ больше напримѣръ въ *n* разъ, чѣмъ требуется теоретически количество, принимаемое за единицу, то поступаетъ кислорода =  $n \left( \frac{8}{3} C + 8H + S - O \right)$ .

А избытокъ кислорода, остающійся въ топочныхъ газахъ, тогда =  $(n - 1) \left( \frac{8}{3} C + 8H + S - O \right)$ .

Количество азота, приходящееся на кислородъ, вводимый въ топку въ атмосферномъ воздухѣ, составляетъ всегда 77 гр. *N* на 23 гр. *O*. Поэтому изъ воздуха, вводимого въ топку, на долю азота приходится:

$$\frac{77}{23} n \left( \frac{8}{3} C + 8H + S - O \right).$$

Въ газообразныхъ продуктахъ только отъ сгоранія топлива получается: изъ 3 вѣсовыхъ частей

С 11 вѣсовыхъ частей  $CO_2$ , или  $= \frac{11}{3} C$  углекислоты; изъ 1 вѣсовой части  $H$  9 вѣсовыхъ частей паровъ воды  $= 9H$ , къ этому нужно прибавить количество  $W$  воды, содержащейся въ самомъ горючемъ матеріалѣ; далѣе изъ 1 вѣсовой части  $S$  2 вѣсовыхъ части сѣрнистаго ангидрида или  $= 2S$ ; наконецъ, еще содержавшееся въ углѣ количество азота  $N$ . Общій вѣсъ топочныхъ газовъ будетъ такимъ образомъ слѣдующій:

$$\frac{11}{3} C + 2S + N + (n - 1) \left( \frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) + \frac{77}{23} n \left( 8H + \frac{8}{3} C + S - O \right) + 9H + W.$$

Эти газы при нагрѣваніи на  $1^\circ$  поглощаютъ столько единицъ теплоты, сколько соотвѣтствуетъ ихъ теплоемкости. Кромѣ того въ золѣ топлива теряется еще опредѣленное количество тепла, которое мы еще присчитываемъ къ теплу, содержащемуся въ топочныхъ газахъ.

Итакъ, если эти отдѣльные вѣса помножить на соотвѣтствующіе коэффициенты теплоемкости, то въ суммѣ получится то количество калорій, которое нужно для повышенія на  $1^\circ$  Цельсія температуры всѣхъ топочныхъ газовъ и золы. Если затѣмъ изъ количества теплоты, выдѣленнаго 1 килограммомъ топлива, вычестъ скрытую теплоту испаренія воды, образовавшейся при горѣніи или гипотетически уже содержавшейся въ видѣ кислорода

и водорода, и полученное такимъ образомъ число раздѣлить на число калорій, полученное прежде, то въ результатѣ получимъ въ градусахъ повыше- ніе температуры газовъ и золы.

Вычисленная такимъ образомъ температура  $T$  обозначала бы начальную температуру, если бы введенный въ топку воздухъ и топливо имѣли бы первоначальную температуру  $0^{\circ}\text{Ц}$ . Въ дѣйствительности же вводимый воздухъ по большей части имѣ- етъ болѣе высокую температуру, такъ что къ теп- лотѣ, образовавшейся при горѣннн, прибавляется еще теплота, содержащаяся въ введенномъ воз- духѣ. Пусть его температура  $= t^{\circ}\text{Ц}$ ., тогда число калорій содержащихся въ немъ  $= tn \left\{ \left( \frac{8}{3} C + 8 H + \right. \right.$   
 $\left. + S - O \right) \times \text{теплоемкость кислорода} + \frac{77}{23} \left( \frac{8}{3} C + \right.$   
 $\left. + 8 H + S - O \right) \times \text{теплоемкость азота} \left. \right\}$ .

Если введемъ коэффициенты теплоемкости, ука- занные въ таблицѣ V, то получимъ для  $T$  такое выраженіе:

$$T = \left[ \frac{8100 C + 34220 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S +}{\text{Теплота горѣннн}} \right.$$

$$tn \left\{ \left( \frac{8}{3} C + 8 H + S - O \right) \cdot 0,2175 + \frac{77}{23} \left( \frac{8}{3} C + 8 H + S - O \right) \cdot 0,2438 \right\} -$$

$$\frac{\text{Теплота, введенная съ воздухомъ}}{\left( 9 H + W \right) \left( 636 - 0,475 \cdot 100 \right)} \left[ \frac{0,25 A + 0,2169 \frac{11}{3} C +}{\text{Зола} \quad \text{Углекислота}} \right]$$

Скрытая теплота испар. воды

$$\begin{array}{c}
 \underbrace{0,1544 \left( 2S \right)}_{\text{Сѣрист. анг.}} + \underbrace{0,2438 N}_{\text{Азотъ}} + \underbrace{0,2175 \left( n-1 \right) \left( \frac{8}{3} C + 8H + S - O \right)}_{\text{Избыточный кислородъ}} + \\
 \left. \underbrace{0,2438 \frac{77}{23} n \left( \frac{8}{3} C + 8H + S - O \right)}_{\text{Азотъ воздуха}} + \underbrace{0,475 \left( 9H + W_1 \right)}_{\text{Пары воды}} \right]
 \end{array}$$

Преобразовавъ это выраженіе, получаемъ слѣдующее значеніе для  $T$ :

$$\begin{aligned}
 T = & \left[ 8100 C + 34220 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S + tn \left( 2,7565 C + \right. \right. \\
 & \left. \left. 8,2696 H + 1,0337 S - 1,0337 O \right) - 5296,5 H - 588,5 W_1 \right]; \\
 & \left[ 0,25 A + 0,2153 C + 2,535 H + 0,0913 S + 0,2175 O + 0,2438 N + \right. \\
 & \left. n \left( 8,2696 H + 2,7565 C + 1,0337 S - 1,0337 O \right) + 0,475 W_1 \right].
 \end{aligned}$$

Для сравненія двухъ различныхъ углей необходимо, конечно, уничтожить вліяніе температуры вводимаго въ топку воздуха, приравнявъ ее  $0^\circ \text{Ц.}$ , благодаря чему выраженіе  $tn \left\{ \dots \dots \dots \right\}$  отпадаетъ. Такимъ именно образомъ вычислены начальные температуры, приводимыя дальше.

Для вычисленія начальной температуры  $T$  по

<sup>1)</sup> Смотри также: „Technische und gewerbliche Mitteilungen des Magdeburger Vereins für Dampfkessel-Betrieb“; Jahrgang 1877, Heft 6; Abhandlung von Direktor R. Weinling, S. 33—40.

данному анализу угля у насъ имѣются всѣ данныя за исключеніемъ значенія коэффиціента  $n$ , показывающаго, во сколько разъ больше введено въ топку воздуха по сравненію съ теоретически необходимымъ. Этотъ коэффиціентъ  $n$  мы уже раньше научились вычислять, зная объемное содержаніе въ топочныхъ газахъ азота и избыточнаго кислорода. Полагая теоретически нужное для горѣнія количество воздуха = 100, мы получаемъ для  $L$ , обозначающаго все количество введеннаго воздуха, такое значеніе:  $L = \frac{100 N}{N - \frac{79}{21} O}$ . Поставимъ въ этой фор-

мулѣ вмѣсто  $L$  знакъ  $n$  и примемъ теоретически нужное количество воздуха = 1, тогда мы получимъ выраженіе:  $n = \frac{N}{N - \frac{79}{21} O}$ , или преобразуемъ

его въ наиболѣе употребительную формулу:

$$n = \frac{21}{21 - \frac{79 \times O}{N}}, \text{ причеиъ въ этомъ случаѣ знаки}$$

$O$  и  $N$  обозначаютъ *объемные* проценты кислорода и азота въ *сухихъ* топочныхъ газахъ, т. е. не принимая во вниманіе содержащейся въ нихъ воды, именно такъ, какъ опредѣляютъ содержаніе кислорода и азота въ топочныхъ газахъ съ помощью прибора Гемпеля.

Если мы захотимъ вычислить начальную температуру  $T$  при горѣніи извѣстнаго угля, но при

различномъ содержаніи углекислоты въ топочныхъ газахъ — значить при различномъ избыткѣ воздуха,—то мы должны брать величину  $n$  въ зависимости отъ опредѣленнаго содержанія углекислоты въ топочныхъ газахъ. Это вычисленіе лучше всего выясняется на примѣрѣ:

Одинъ сортъ бураго угля имѣлъ слѣдующій составъ:

1 килограммъ его содержаль:	{	$C = 0,3301$ килогр.
		$H = 0,0304$ "
		$O = 0,1178$ "
		$S = 0,0086$ "
		$N = 0,0027$ "
		$H_2O = 0,4476$ "
		$Зола = 0,0628$ "
		1,0000 килогр.

Подставляя эти величины въ выведенную нами формулу для  $T$ , получимъ: углекислоты  $\frac{11}{3} C$  килограммъ  $= \frac{11}{3} \times 0,3301 = 1,21037$  кил. 1 литръ  $CO_2$  вѣситъ 1,9663 гр. Поэтому  $\frac{1,21037 \times 1000}{1,9663} = 615,5$  литр.  $CO_2$ .

Для сгорания  $C$  употреблено кислорода

$$\frac{8}{3} \times 0,3301 = 0,88027 \text{ кил. } O.$$

Количество свободного сгорающаго  $H$  составляетъ:  $\left( H - \frac{O}{8} \right) = 0,0304 - \frac{0,1178}{8} = 0,015675$  кил.

свободнаго *H*. Свободный водо-  
 родъ употребляетъ *O* изъ воздуха 0,125400 кил.  
*O* (= 8 *H*); въ результатъ полу-  
 чается . . . . . 0,141075 кил.  
 воды изъ свободнаго *H*.

Кислородъ требуетъ:

$$\frac{O}{8} H = \frac{0,1178}{8} H = 0,014725 \text{ кил. } H$$

связаннаго съ . . . . . 0,117800 „ *O* въ углѣ.

Такимъ образомъ въ углѣ  
*H*, связанный съ *O*, обра-  
 зуется . . . . . 0,132525 кил. воды.

Кромѣ того изъ свобод-  
 наго *H* образуется . . . 0,141075 „ „

и содержится въ углѣ ги-  
 гроскопической . . . . . 0,447600 „ „

Въ топочныхъ газахъ уно-  
 сится всего . . . . . 0,721200 кил. воды.

1 литръ водяного пара вѣситъ 0,8147 гр.,

поэтому  $\frac{0,7212 \times 1000}{0,8147} = \underline{885,2}$  литра водяного пара.

1 часть сѣры требуетъ

$$\frac{16}{16} \cdot O \text{ частей} = 0,0086 \text{ кил. } O,$$

связаннаго съ . . . . . 0,0086 „ *S*,

образуется . . . . . 0,0172 кил.  $SO_2$ .

1 литръ  $SO_2$  вѣситъ 2,8634 гр.

поэтому  $\frac{0,0172 \times 1000}{2,8634} = \underline{6,0}$  литр.  $SO_2$ .

Отъ атмосфернаго воздуха требуется  
 для сгоранія . . . . .  $C = 0,88027$  кил.  $O$   
 ” ” свободнаго .  $H = 0,12540$  ”  $O$   
 ” ” . . . . .  $S = 0,00860$  ”  $O$

---

сумма . . . =  $1,01427$  кил.  $O$ .

1 литръ  $O$  вѣситъ =  $1,43000$  гр.,

отсюда  $\frac{1,01427 \times 1000}{1,4300} = \underline{709,3}$  литр. атмосферн.  $O$ .

На 21 литръ  $O$  въ воздухѣ приходится 79 литр.  $N$ ;  
 поэтому на 709,3 литр.  $O$  приходится  
 $x = \underline{2668,3}$  литр.  $N$  изъ воздуха.

1 литръ  $N$  вѣситъ  $1,2552$  гр., отсюда

$2668,3$  лит.  $N = \frac{2668,3 \cdot 1,2552}{1000} = 3,3492$  кил.  $N$ .

Къ этому прибавляется еще  
 азотъ, содержащийся въ углѣ . . =  $0,0027$  кил.  $N$

Въ топочныхъ газахъ уносится  $3,3519$  кил.  $N$ .

Объемъ его составляетъ

$\frac{3,3519 \times 1000}{1,2552} = \underline{2670,5}$  литр.  $N$ .

Сухіе топочные газы состоятъ

изъ  $1,21037$  кил.  $CO_2 = 615,5$  литр.  $CO_2$

$3,35190$  ”  $N = 2670,5$  ”  $N$

и  $0,01720$  ”  $SO_2 = 6,0$  ”  $SO_2$

---

сумма =  $4,57947$  кил. =  $3292,0$  литр. газа.

Сюда приба-

вляется паровъ

воды . . . . .  $0,72120$  ” =  $885,2$  ”

---

Влажные то-  
почные газы со-  
ставляют въ

суммѣ: 5,30067 кил. = 4177,2 литр. газа.

Если составъ сухихъ топочныхъ газовъ выра-  
зить въ процентахъ, то получимъ:

$$\begin{array}{r} 615,5 \text{ литр.} = 18,7\% \text{ } CO_2 \\ 2670,5 \text{ " } = 81,1 \text{ " } N \\ 6,0 \text{ " } = 0,2 \text{ " } SO_2 \\ \hline 3292,0 \text{ литр.} = 100,0\% \end{array}$$

Если совсѣмъ нѣтъ избытка воздуха, какъ на-  
примѣръ при этомъ составѣ топочныхъ газовъ, то  
соотвѣтствующее содержаніе 18,7%  $CO_2$  есть наи-  
высшее возможное, *максимальное содержаніе угле-*  
*кислоты*. Въ этомъ случаѣ содержаніе кислорода =  
нулю, поэтому и значеніе  $n = 1$ , такъ какъ

$$n = \frac{21}{21 - \frac{79 \times 0}{N}} = \frac{21}{21} = 1.$$

Но если нужно вычислить значеніе для  $n$  при  
какомъ-нибудь болѣе низкомъ содержаніи угле-  
кислоты въ топочныхъ газахъ, напримѣръ при  
8%  $CO_2$ , то количество углекислоты, образовав-  
шееся изъ 1 кил. топлива, равняющееся въ нашемъ  
случаѣ 615,5 лит., составитъ 8% отъ общаго коли-  
чества топочныхъ газовъ (сухихъ) и мы получимъ  
пропорцію:

$$y : 615,5 = 100 : 8,$$

откуда

$y = 7693,75$  литр. топочного газа,  
но продуктовъ горѣ-  
нія мы получили .  $3292,00$  „  
 $4401,75$  литр. излишняго атмо-  
сфернаго воздуха введено въ топку.

Это составляетъ  $\frac{4401,75 \times 21}{100} = \frac{924,3675 \text{ литр. } O}{\text{и } 3477,3825 \text{ „ } N}$   
сумма  $4401,7500$  литр.

Поэтому въ топочные газы при-  
бавляется еще . . . . .  $3477,3825$  литр. *N*  
Въ продуктахъ горѣн. содержалось  $2670,5000$  „ „

Такимъ образомъ всего  $6147,8825$  литр. *N*.

Слѣдовательно, въ этомъ второмъ случаѣ (при  $8\% CO_2$ ) топочные газы имѣють слѣдующій составъ:

азотъ	$= 6147,8825$ литр.	$= 79,9075\%$
кислородъ	$= 924,3675$ „	$= 12,0145$ „
углекислота	$= 615,5000$ „	$= 8,0000$ „
сѣрнистый ангидридъ	$= 6,0000$ „	$= 0,0780$ „
	<u>сумма <math>7693,7500</math> литр.</u>	<u><math>= 100,0000\%</math>.</u>

Въ сухихъ топочныхъ газахъ изъ бураго угля  
указаннаго выше состава при  $8\% CO_2$  мы полу-  
чаемъ такое значеніе для  $n$ :

$$n = \frac{21}{21 - \frac{79 \times 12,0145}{79,9075}} = 2,3023243.$$

Такимъ путемъ по данной для  $T$  формулѣ вы-  
числяется начальная температура при каждомъ  
процентномъ содержаніи углекислоты въ сухихъ

топочныхъ газлахъ изъ бураго угля (въ слѣд. табл.). Начальныя температуры для другихъ указанныхъ горючихъ матеріаловъ заимствованы изъ много разъ упоминавшагося сочиненія проф. Бунте „Die Heizstoffe“ въ „Stohmann und Kerls Encyclopädie“.

ТАБЛИЦА VII.

*Зависимость между содержаніемъ углекислоты въ дымовыхъ газлахъ и начальной температурой при нѣкоторыхъ горючихъ матеріалахъ.*

Процентное содержаніе углекислоты въ топочныхъ газлахъ.	Начальныя температуры при сжиганіи <sup>1)</sup>					
	Чистаго углерода °Цельсія.	Каменнаго угля °Ц.	Торфа °Ц.	Нефти °Ц.	Свѣтильнаго газа °Ц.	Бураго угля °Ц.
1	141	167	141	221	283	143
2	280	331	276	436	552	281
3	418	493	407	644	808	412
4	556	652	533	845	1052	538
5	693	808	655	1040	1285	659
6	829	961	773	1230	1509	775
7	964	1112	887	1414	1722	887
8	1098	1261	997	1590	1927	994
9	1227	1407	1110	1770	2123	1097
10	1359	1550	1210	1940	2311	1197
11	1490	1692	1310	2100	2492	1293
12	1616	1830	1400	2260	2659	1385
13	1745	1968	1500	2420	—	1475
14	1874	2102	1590	2570	—	1561
15	2001	2237	1680	2710	—	1644
16	2128	2366	1760	—	—	1724
17	2254	2494	1850	—	—	1802
18	2380	2621	1930	—	—	1878
19	2504	—	2010	—	(18,7% CO <sub>2</sub> ) =	1929
20	2630	—	2090	—	—	—
21	2750	—	—	—	—	—

<sup>1)</sup> Таблица изъ «Stohmann и Kerls Encyclopädie», Bd. IV, S. 312.

Вычисленіе этой таблицы основано на слѣдующемъ составѣ горючихъ матеріаловъ:

Каменный уголь.	Торфъ.	Нефть $C_n H_n$	Бурый уголь.	Свѣтильный газъ.
В ѣ с о в ы е п р о ц е н т ы .				Объемн. %
$C=84,45\%$	$C=44,29\%$	$C=85,7\%$	$C=33,01\%$	$H_2=50\%$
$H= 5,43 \text{ \textgreater}$	$H= 4,57 \text{ \textgreater}$	$H=14,3\%$	$H= 3,04 \text{ \textgreater}$	$CH_4=30 \text{ \textgreater}$
$O= 8,18 \text{ \textgreater}$	$O=29,20 \text{ \textgreater}$		$O=11,78 \text{ \textgreater}$	$CO= 9 \text{ \textgreater}$
$S= 0,78 \text{ \textgreater}$	зола= 0,88		$S= 0,86 \text{ \textgreater}$	$C_n H_n= 5 \text{ \textgreater}$
$N= 1,16 \text{ \textgreater}$	вода=21,06		$N= 0,27 \text{ \textgreater}$	$CO_2= 3 \text{ \textgreater}$
			зола= 6,28	$O=0,5 \text{ \textgreater}$
			вода=44,76	$N=2,5 \text{ \textgreater}$
100,00%	100,00%	100,0%	100,00%	100,0%

При сравненіи чиселъ бросаются въ глаза почти одинаковыя начальныя температуры для торфа и для бурога угля. Это могло бы показаться страннымъ, потому что содержаніе углерода и водорода вмѣстѣ въ торфѣ составляетъ 48,86%, а въ буромъ углѣ только 36,05%. Кромѣ того содержаніе воды въ углѣ вдвое больше, чѣмъ въ торфѣ. Причина близости начальныхъ температуръ ихъ заключается въ необыкновенно высокомъ содержаніи кислорода въ торфѣ, которое здѣсь ровно въ  $2\frac{1}{2}$  раза больше, чѣмъ въ буромъ углѣ, такъ что благодаря происшедшему уже отчасти окисленію углерода и водорода въ торфѣ его тепловой эффектъ очень понижается.

## XVII.

### Вычисленіе коэффициента полезнаго дѣйствія топокъ.

На основаніи *начальной температуры* топочныхъ газовъ  $T$  и *конечной температуры*  $t$  при выходѣ ихъ въ боровъ, можно опредѣлить *полезное дѣйствіе топокъ*  $U$ , такъ какъ производимая топливомъ теплота  $W$  такъ относится къ теплотѣ  $w$ , теряющейся въ отходящихъ топочныхъ газахъ, какъ  $T$  къ  $t$ ; *полезная теплота*, воспринимаемая топками и котлами, тогда  $= W - w$  и соотвѣтствуетъ  $T - t$ .

Какъ мы видѣли, начальная температура при одномъ и томъ же топливѣ возрастаетъ съ увеличеніемъ содержанія углекислоты въ топочныхъ газахъ, и поэтому въ данномъ случаѣ величина  $W - w$  находится въ непосредственной связи съ содержаніемъ углекислоты въ топочныхъ газахъ. Если положимъ общее количество образуемой топливомъ теплоты  $W = 100$ , то *использованіе теплоты или полезное дѣйствіе*  $U = 100 - w$ . Тогда мы получаемъ слѣдующія уравненія:

$$W : (W - w) = T : (T - t)$$

$$100 : (100 - w) = T : (T - t)$$

$$100 - w = U = \frac{(T - t) 100}{T} \left. \begin{array}{l} \text{въ процентахъ все-} \\ \text{го количества об-} \\ \text{или потеря теплоты } w = 100 - \frac{t}{T} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{разующейся те-} \\ \text{плоты.} \end{array}$$

Если примемъ, что температура топочныхъ газовъ на  $300^{\circ}$  Ц. выше температуры воздуха, и что

работаютъ на каменномъ углѣ, составъ котораго, если и не вполнѣ, то близко отвѣчаетъ составу угля изъ Заарскаго каменно-угольнаго бассейна, для котораго были приведены выше начальныя температуры горѣнія при различномъ % содержаніи углекислоты въ топочныхъ газахъ, мы получимъ слѣдующее полезное дѣйствіе топокъ:

ТАБЛИЦА VIII.

*Полезное дѣйствіе топокъ, работающихъ каменнымъ углемъ, вычисленное для различнаго содержанія углекислоты.*

Содержаніе углекислоты въ топочныхъ газахъ въ объемныхъ %.	Температура отходящихъ газовъ минусъ температура воздуха $t$ въ ° Ц.	Начальная температура топочныхъ газовъ $T$ въ ° Ц.	Использование теплоты $U$ .	Потеря теплоты въ дымовыхъ газахъ $w = \frac{t \cdot 100}{T}$
18	300	2621	88,6%	11,4%
16	300	2366	87,3 ,	12,7 ,
14	300	2102	85,7 ,	14,3 ,
12	300	1830	83,6 ,	16,4 ,
10	300	1550	80,7 ,	19,3 ,
8	300	1261	76,2 ,	23,8 ,
6	300	961	68,8 ,	31,2 ,

Какъ видно, даже при такъ называемомъ теоретическомъ горѣннн, значить безъ всякаго избытка воздуха и при максимальномъ содержанн въ газахъ углекислоты = 18%  $CO_2$ , неизбежна потеря теплоты = 11,4% въ отходящихъ дымовыхъ газахъ. Въ дѣйствительности, особенно при употребленн каменнаго угля, невозможно топить безъ избытка воздуха, если не хотятъ потерять значительную часть тепловой энергнн, благодаря уходу въ дымовую трубу несгорѣвшихъ топочныхъ газовъ, въ особенности углеводородовъ, дающихъ большой жаръ. На это мы уже раньше обращали вниманн.

Изъ анализовъ топочныхъ газовъ, представленныхъ въ мое распоряженн директоромъ Стеффенсъ, а также изъ анализовъ, опубликованныхъ докторомъ Драве, видно, что содержанн углекислоты въ среднемъ около 11%  $CO_2$  въ топочныхъ газахъ при топкѣ каменнымъ углемъ можно считать хорошимъ. Тогда при принятой выше разности температуръ дымовыхъ газовъ и воздуха въ 300° Ц. получается слѣдующая величина полезнаго дѣйствн:

$$U = \frac{(T-t) 100}{T} = \frac{(1692-300) 100}{1692} = 82,3\% \text{ или потеря тепла} = 17,7\%.$$

Зигертъ предложилъ слѣдующую приблизительную формулу для опредѣленн потери тепла въ дымовой трубѣ:  $w = 0,65 \frac{t-t_1}{CO_2}$ , гдѣ  $t$ —температура топочныхъ газовъ, выходящихъ изъ трубы,  $t_1$ —

температура наружнаго воздуха,  $CO_2$ , — процентное содержаніе углекислоты въ газахъ. Для вышеприведеннаго примѣра получимъ при  $t_1 = 20^\circ$ :  
 $w = 0,65 \cdot \frac{300 - 20}{11} = 16,5\%$  или  $U = 83,5\%$ , что хорошо согласуется съ полученнымъ выше результатомъ 82,3%.

Такимъ образомъ можно, конечно, только приблизительно вычислить величину потери; потому что для каждаго угля, сообразно съ его составомъ, существуетъ особенно благоприятное количество избыточнаго притекающаго воздуха, при которомъ достигается температура, необходимая для сгоранія тяжелыхъ углеводородовъ, причемъ этотъ избытокъ не на столько великъ, чтобы дѣйствовать охлаждающимъ образомъ.

Теплота, теряющаяся черезъ обмуровку и благодаря лучеиспусканію топки, конечно еще увеличиваетъ потерю, вычисленную въ вышеприведенномъ примѣрѣ, но для каждой существующей топки эта потеря составляетъ почти неизмѣняющуюся постоянную величину, такъ что при оцѣнкѣ процесса горѣнія она не имѣетъ существеннаго значенія.

Въ приведенномъ вычисленіи для отходящихъ дымовыхъ газовъ съ очень различнымъ содержаніемъ углекислоты принята одинаковая температура, чтобы сдѣлать очевидной прямую зависимость между содержаніемъ углекислоты и величиной потери

тепла въ дымовыхъ газахъ. Но въ дѣйствительности температура отходящихъ газовъ не остается одинаковой, такъ какъ при усиленномъ притока воздуха—и уменьшающемся вслѣдствіе этого содержаніи углекислоты—горѣніе происходитъ быстрѣе, общее количество теплоты, образующееся въ секунду, увеличивается, а вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается также и скорость движенія газовъ въ дымоходахъ (тяга). Вслѣдствіе этого стѣнки котла не въ состояніи поглотить то же количество тепла, что и при болѣе умѣренной тягѣ; значитъ, несмотря на пониженіе содержанія углекислоты, температура отходящихъ газовъ можетъ повышаться, пока избыточное количество притекающаго воздуха не будетъ расхолаживать топку. Чѣмъ больше поверхность нагрѣва котла при одинаковомъ устройствѣ топки, тѣмъ ниже будетъ температура отходящихъ газовъ и тѣмъ выше полезное дѣйствіе. Поэтому лучшимъ средствомъ для сбереженія угля всегда будетъ возможно большая поверхность нагрѣва по отношенію къ поверхности колосниковой рѣшетки.

При топкѣ бурымъ углемъ и разности температуръ отходящихъ дымовыхъ газовъ и воздуха въ  $300^{\circ}\text{C}$ . получаютъ слѣдующія величины полезнаго дѣйствія и потерь (см. табл. IX).

Соображаясь съ температурой дымовыхъ газовъ во время набирания ихъ для анализа, всякій можетъ самъ при помощи таблицы VI и формулы для  $U$  вычислить полезное дѣйствіе и соответствующую потерю теплоты въ топочныхъ газахъ.

ТАБЛИЦА IX.

*Величины полезнаго дѣйствія при топкѣ бурмы угля, вычисленныя для различнаго содержанія углекислоты.*

Содержаніе углекислоты въ топочныхъ газахъ въ объемныхъ %.	Температура отходящихъ газовъ минусъ температура воздуха $t$ въ ° Ц.	Начальная температура топочныхъ газовъ $T$ въ ° Ц.	Использование теплоты $U$ .	Потеря теплоты въ дымовыхъ газахъ $w = \frac{t \cdot 100}{T}$
18	300	1881	84,05	15,95
16	300	1727	82,6	17,4
14	300	1563	80,8	19,2
12	300	1387	78,4	21,6
10	300	1199	75,0	25,0
8	300	996	69,9	30,1
6	300	776	61,3	38,7

Въ какой степени дѣйствительно температура  $t$  отходящихъ дымовыхъ газовъ зависитъ отъ силы притока воздуха и соотвѣтствующаго различнаго содержанія углекислоты въ газахъ, показываютъ 4 опыта топки коксомъ, произведенные на опытной топочной станціи въ Мюнхенѣ <sup>1)</sup> при совершенно одинаковыхъ прочихъ условіяхъ. Результаты слѣдующіе:

<sup>1)</sup> См. «Stohmann u. Kerls Encyclopädie», Bd. IV, S. 319, 320.

	I	II	III	IV
Содержаніе углекислоты въ газахъ . . . . .	14,9%	13,8%	10,2%	8,8%
Температура при выходѣ дымовыхъ газовъ $t$ въ °Ц. . . . .	174°	192°	203°	218°
Дѣйствительно опредѣленная потеря теплоты въ % всего количества теплоты . . . . .	10%	12%	15%	21%
Вычисленная потеря теплоты въ топочныхъ газахъ . . . . .	8,7%	14,4%	14,6%	20%

Слѣдовательно, дѣйствительно опредѣленная потеря теплоты довольно хорошо согласуется съ вычисленной и по найденнымъ числамъ можно судить о пользѣ, которую приносить строгій контроль работы паровичной, состоящей въ постоянномъ изслѣдованіи топочныхъ газовъ. Кромѣ того, изъ опытовъ совершенно ясно видно, какъ съ пониженіемъ содержанія углекислоты повышается температура отходящихъ газовъ  $t$ , просто потому, что при усиленномъ притокѣ воздуха горѣніе происходитъ сильнѣе, быстрѣе и скорость движенія газовъ дѣлается больше, такъ что стѣнки котла не успѣваютъ такъ сильно охладить газы, какъ при болѣе слабомъ горѣніи. Чѣмъ меньше поверхность нагрѣва по отношенію къ расходу пара, тѣмъ очевиднѣе эта потеря.

При работѣ на каменномъ и буромъ угляхъ въ котлахъ съ жаровыми трубами наиболѣе благоприятная для практики температура отходящихъ дымовыхъ газовъ лежитъ между 225 и 275° Ц.

### XVIII.

**Объ опредѣленіи достоинства топлива на основаніи элементарнаго анализа.**

Выше было указано, какъ можно вычислить начальную температуру на основаніи анализа угля, а также и полезное дѣйствіе топки по анализу и температурѣ отходящихъ дымовыхъ газовъ.

Сравнительное достоинство двухъ углей можно непосредственно опредѣлить, только зная составъ углей и на основаніи приведеннаго въ одной изъ предыдущихъ главъ закона, что общее количество теплоты горѣнія топлива приблизительно равняется суммѣ теплотъ горѣнія отдѣльныхъ составныхъ частей его. Если топливо за исключеніемъ содержащейся въ немъ гигроскопической воды, значить въ совершенно сухомъ состояніи, содержитъ водородъ и кислородъ, то при расчетѣ теплоты горѣнія прежде всего принимаютъ, что кислородъ, содержащійся въ топливѣ, связанъ съ водородомъ, какъ было уже замѣчено ранѣе; избыточный, такъ называемый неокисленный водородъ, углеродъ и сѣру, выраженные въ процентахъ, умножаютъ на теплоты горѣнія ихъ, указанныя въ таблицѣ I, послѣ чего сумма полу-

ченныхъ чиселъ и даетъ общую теплоту горѣнія топлива.

Такъ какъ при горѣнии образуются водяные пары, а не жидкая вода, то слѣдуетъ принимать въ расчетъ теплоту горѣнія водорода въ водяной паръ = 28800 калорій (см. табл. I). Скрытая теплота водяного пара = 606,5 калорій, пересчитанная на 1 килогр. водорода = 9 килогр. воды, круглымъ числомъ составляетъ  $9 \times 600 = 5400$  калорій, которыя прибавляются къ указаннымъ выше 28800 калорій; въ результатъ получается 34200 калорій—данная въ табл. I теплота горѣнія водорода въ жидкую воду. Теплота горѣнія углерода была дана = 8100 кал., а сѣры 2220 кал. ( $SO_2$ , газообразн.) и 3226 кал. ( $SO_3$ ). Было уже упомянуто, что для сѣры вообще принимаютъ 2500 кал., такъ какъ вмѣстѣ съ  $SO_2$  образуется отчасти и  $SO_3$ .

Если въ топливѣ кромѣ  $C$ ,  $H$  и  $O$  содержится еще гигроскопическая вода, то она при горѣнии конечно испаряется, и изъ общаго количества образовавшейся при горѣнии теплоты слѣдуетъ вычесть процентное содержаніе воды  $W_1$ , умноженное на скрытую теплоту водяного пара = круглымъ числомъ 600 кал.

Формула, соотвѣтствующая этому выводу, предложена Дюлонгомъ; она выражается такъ:

$$W = 8080 C + 28800 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S - 600 W_1;$$

формула даетъ теплоту горѣнія топлива, исключая

скрытую теплоту водяныхъ паровъ; эта величина можетъ быть названа *общей теплотворной способностью* или еще лучше *аналитической теплотворной способностью*.

При вычисленіи, конечно, слѣдуетъ раздѣлить на сто данныя анализомъ числа, выраженные въ процентахъ.

Такъ какъ новыя опредѣленія теплоты горѣнія водорода дали число 29100 калорій (по Фавру и Зильберману), то Общество Нѣмецкихъ Инженеровъ и Союзъ Обществъ надзора за паровыми котлами выработали <sup>1)</sup> слѣдующую формулу:

$$W = 8100 C + 29000 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S - 600 W_1,$$

причемъ отдѣльныя числа округлены.

Согласованіе вычисленной по аналитическимъ даннымъ теплотворной способности съ достигаемой на практикѣ доказывается опытами, произведенными на опытной станціи въ Мюнхенѣ надъ большимъ числомъ образцовъ каменныхъ углей; по вышеприведенной формулѣ получается въ среднемъ теплота горѣнія на  $\frac{1}{2}\%$  меньше дѣйствительной. Такъ напримѣръ Заарскій уголь, содержащій 70,33% C—4,67% H—11,39% O—1,05% S—4,82% W<sub>1</sub>—7,74% золы, даетъ при горѣнии 6663 калоріи, тогда какъ по формулѣ вычисляется 6636 калорій, что составляетъ всего на 0,4% меньше. Нынѣ по

<sup>1)</sup> «Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing.» 1900. Bd. 44 № 14.

большей части опредѣляютъ теплотворную способность при помощи калориметра, такъ какъ не всѣ горючіе матеріалы въ отношеніи ихъ теплотворной способности подчиняются вышеприведенной формулѣ, и отклоненія тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше содержится въ топливѣ кислорода. Для бурого и въ особенности для каменнаго угля эта формула вполнѣ примѣнима. Торфъ, содержащій много кислорода, и еще болѣе дрова обладаютъ въ дѣйстви-тельности значительно высшей теплотворной способностью, чѣмъ получается при вычисленіи по формулѣ. Но теплотворную способность угля можно очень хорошо вычислить съ помощью данныхъ анализа по вышеприведенной формулѣ.

Конечно, при этомъ еще заботятся, чтобы изслѣдуемая проба угля представляла *дѣйствительно средній образецъ* употребляемаго угля; это достигается тѣмъ, что измельчаютъ равномерно нѣсколько большихъ пробъ, хорошо перемѣшиваютъ и небольшую среднюю пробу еще болѣе измельчаютъ, опять перемѣшиваютъ и отсюда берутъ образецъ для изслѣдованія, причемъ во все время изслѣдованія этотъ образецъ долженъ сохраняться въ непроницаемой для воздуха стеклянкѣ.

Проба, взятая изъ какого-нибудь одного слоя угля изъ шахты, конечно не представляетъ средней всего содержащагося въ ней угля, такъ какъ этотъ слой долженъ былъ бы для этого содержать различные пласты угля, которые могли бы обладать

совершенно различной теплотворной способностью. Если ведется дневная разработка, какъ это имѣетъ мѣсто въ копяхъ бураго угля Нахтерштедтъ и Фрозе, то можно доставать пробы изъ различныхъ слоевъ и по анализамъ ихъ превосходно судить о различіи теплотворной способности лучшихъ, среднихъ и плохихъ углей.

Доброкачество каменныхъ углей, которые покупаются всегда по вѣсу, сравнивается прямо по теплотворной способности, определенной на основаніи анализа.

Сравненіе среднихъ бурыхъ углей, покупаемыхъ и принимаемыхъ, какъ извѣстно, по объему, на гектолитры, при очень различномъ содержаніи въ нихъ воды, непосредственно на основаніи теплотворной способности, вычисленной по вѣсовому анализу, — недопустимо. Содержаніе воды въ нихъ колеблется, если исключить твердые богемскіе или подобные имъ бурые угли, между 42 и 52%. Испареніе лишннихъ 10% воды влечетъ за собой пониженіе теплотворной способности на  $0,10 \times \times 600 = 60$  калорій, что составляетъ 2,2% общей теплотворной способности, если принять ее въ среднемъ для бурыхъ углей = 3700 калорій. Напротивъ, при одномъ и томъ же углѣ различное содержаніе воды въ сильной степени вліяетъ на процентное содержаніе *C* и *H*, а значитъ и на теплотворную способность, вычисленную по анализу, какъ показываетъ слѣдующій примѣръ:

Данные, полученные  
изъ анализа бурога  
угля.

Составъ его, вы-  
численный при при-  
бавкѣ 10% воды.

	I.		II.
	33,01% C		30,01% C
$\left\{ \begin{array}{l} 1,57\% \text{ свободнаго, не связаннаго съ кислородомъ } H. \end{array} \right\}$	3,04 " H	$\left\{ \begin{array}{l} 1,42\% \text{ свободнаго } H. \end{array} \right\}$	2,76 " H
	11,78 " O		10,71 " O
	0,27 " N		0,25 " N
	0,86 " S		0,78 " S
	6,28 " зола		5,71 " зола
	44,76 " воды		49,78 " воды
	<hr/> 100,00%		<hr/> 100,00%

Теплотворная, способность вычисленная по формуль, будетъ соотвѣтственно:

2882 калоріи.

2563 калоріи.

Такимъ образомъ, пересчитывая на 100 данные анализа угля съ 10% воды (или 110 частей) видно, что получающаяся разница въ 5% содержанія воды въ угль, въ остальномъ совершенно одинаковомъ по составу, влечетъ за собой пониженіе теплотворной способности на 319 калор., т. е. на 11,07% общей теплотворной способности. Между тѣмъ пониженіе теплотворной способности, обусловливаемое только испареніемъ лишнихъ 5% воды, составило бы всего лишь  $0,05 \times 600 = 30$  калор. или 1,1%.

Столь большая разница происходит только вслѣдствіе того, что въ первомъ случаѣ процентный составъ разсчитывается на 100 частей сухого угля, а во второмъ — на 100 частей влажнаго угля; само собой разумѣется, что по анализу I можно вычислить также теплотворную способность II угля, такъ какъ 110 частей второго угля имѣютъ теплотворную способность ста частей перваго минусъ теплота испаренія 10 частей воды, или  $2882 - 60 = 2822$ , а на 100 частей это составитъ  $\frac{2822 \cdot 100}{110} = 2563$  калоріи. Такимъ образомъ при по-

купкѣ угля по объему, какъ по большей части и покупаются бурые землистые угли, немного большее содержаніе воды не вредитъ и, если только оно не слишкомъ велико, то не оказываетъ особенно значительнаго вліянія на его рыночное достоинство; но при покупкѣ на вѣсъ болѣе высокое содержаніе воды, конечно, всегда уменьшаетъ цѣну угля.

На основаніи практическаго опыта при обслуживаніи паровичныхъ топокъ считаютъ, что при работѣ на ступенчатой рѣшеткѣ нужно предварительно смочить довольно сухой бурый уголь, потому что иначе онъ слишкомъ быстро, не вполне сгорѣвъ, спускается внизъ. Очень сухой рудничный уголь, кромѣ того, уже передъ погрузкой сильно смачиваютъ, чтобы онъ не рассыпался и не вывѣтривался на воздухъ, такъ какъ вслѣдствіе окисляющаго вліянія воздуха въ немъ значительно

уменьшается содержаніе углеводовъ <sup>1)</sup>). Значить немного болѣе высокое содержаніе воды въ буромъ углѣ не вредить и если оно не слишкомъ высоко, то не оказываетъ вліянія на его рыночную цѣну.

Но опредѣленіе теплотворной способности угля производится съ цѣлью опредѣлить, соответствуетъ ли требуемая цѣна теплотворной способности даннаго угля, другими словами говоря, пропорціональна ли она приблизительно ей. Поэтому при сравненіи теплотворной способности различныхъ пробъ средняго бурога угля, о цѣнности которыхъ хотятъ составить себѣ понятіе, не слѣдуетъ основываться на вѣсовомъ анализѣ углей разной степени влажности, потому что эти угли продаются не по вѣсу. Слѣдовательно, для такого сравненія нужно данныя анализа пересчитывать *на одинаковое содержаніе воды*.

Можно также пересчитать анализы на совершенно сухое вещество, чтобы получить сравнимыя числа. Противъ этого однако говорить то обстоятельство, что полученное такимъ образомъ число единицъ теплоты не даетъ представленія о теплотворной способности угля по сравненію съ другими горючими матеріалами.

Далѣе слѣдуетъ принять во вниманіе также тотъ

---

<sup>1)</sup> Теплотворная способность образчика каменнаго угля по Файоль (см. сообщеніе Брендель въ Zeitschr. d. V. d. Rüb. - Ind. 1894, S. 767), свободнаго отъ угольной пыли и хранившагося долгое время, понизилась съ 8300 кал. до 7852 кал., содержаніе кислорода увеличилось съ 10,8% до 15,0%.

фактъ, что около 4—6% содержащейся въ буромъ углѣ воды связаны физически или химически прочнѣе, чѣмъ остальная часть воды, которую можно назвать просто влажностью угля. Эти 4—6% начинаютъ испаряться только при температурахъ, лежащихъ гораздо выше 100° Ц., но не могутъ быть извлечены концентрированной сѣрной кислотой; напротивъ, гигроскопическая вода можетъ быть вполне удалена при температурѣ около 100° Ц., или при храненіи угля надъ сѣрной кислотой. Таковую болѣе прочно связанную воду называютъ *конституціонной водой*. Количество ея, однако, не вполне точно установлено, такъ какъ, если даже нагревать уголь при 110° Ц. въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, то всетаки никогда нельзя достигъ постоянно вѣса, потому что подъ конецъ все же улетучивается часть болѣе летучихъ углеводородовъ. Чтобы достигъ вообще сравнимыхъ результатовъ, условились производить опредѣленіе воды въ бурыхъ угляхъ такимъ образомъ, что послѣ удаленія главной массы воды сушатъ еще или надъ сѣрной кислотой въ разрѣженномъ пространствѣ, или при 105° въ струѣ углекислоты, которая препятствуетъ окисленію угля<sup>1)</sup> и содержащагося въ углѣ колчедана. Оба метода даютъ одинаковые результаты.

Относительно послѣдняго способа слѣдуетъ еще

---

<sup>1)</sup> По Зейффарту содержаніе углерода даже въ костяномъ углѣ начинаетъ немного уменьшаться уже при температурѣ въ 105°. «Z. d. V. d. D. Rübenz.-Ind.» 1872, Bd. XXII, S. 675.

прибавить, что при этомъ всего лучше пробу угля отвѣшивать въ маленькій стаканчикъ, закрывающійся деревянной пробкой съ двумя отверстіями, въ которыя вставляютъ стеклянныя трубки, выходящія изъ сушильнаго шкафа; черезъ эти трубки и пропускаютъ высушенный углекислый газъ.

Изъ выше сказаннаго видно, что вычисленіе теплотворной способности бурыхъ углей на 100 частей сухого вещества при сравненіи съ другими сортами каменныхъ углей неудобно, почему мы этого и не рекомендуемъ. Напротивъ, лучше принять въ нихъ среднее содержаніе воды въ 50% и на это содержаніе воды перечислять данныя анализа. Впрочемъ, указанный % воды немного выше средняго; однако, оно удовлетворяетъ требованіямъ, какъ простое и близко подходящее къ среднему числу.

При вычисленіи теплотворной способности богемскихъ и другихъ подобныхъ углей, которые содержатъ приблизительно 25% влаги и продаются большей частью по вѣсу, а не по объему, принимаютъ во вниманіе конечно прямо данныя анализа, безъ всякихъ измѣненій.

Чтобы дать нѣкоторое понятіе о составѣ и теплотворной способности различныхъ углей, а также и нѣкоторыхъ другихъ горючихъ матеріаловъ, въ послѣдней главѣ этой книжки приведено большое число анализовъ и вычисленныя по нимъ величины теплотворной способности. Для среднихъ бурыхъ

углей въ соотвѣтствующей таблицѣ, сообразно съ вышеизложеннымъ, кромѣ анализовъ и вычисленной по нимъ теплотворной способности, приведены также эти величины, пересчитанныя на содержаніе 50% воды.

Какъ можно видѣть изъ сравненія этихъ величинъ теплотворной способности, пробы угля изъ одной и той же копи сильно разнятся. Отсюда слѣдуетъ, что по даннымъ, полученнымъ при изслѣдованіи *одной* пробы, особенно если она взята произвольно или случайно, нельзя судить о среднемъ достоинствѣ угля цѣлой копи. Несмотря на такое ограниченіе значенія единичнаго изслѣдованія, сообщаемыя числа могутъ пожалуй служить опорнымъ пунктомъ при оцѣнкѣ угля для тѣхъ, у кого уже есть средній анализъ употребляемаго ими угля.

Замѣтимъ еще здѣсь, что очень трудно произвести точно элементарный анализъ, на основаніи данныхъ котораго вычисляютъ теплотворную способность. Вслѣдствіе высокой температуры горѣнія водорода содержаніе его оказываетъ существенное вліяніе на общій результатъ. Всѣ ошибки элементарнаго анализа, которыя отражаются на содержаніи кислорода, получаемомъ вычитаніемъ суммы опредѣленныхъ составныхъ частей изъ ста, переносятся опять таки на вычисленіе свободного водорода, несвязаннаго съ кислородомъ, потому что изъ общаго количества водорода при этомъ вычитаютъ количество, равное восьмой части содержанія кислорода.

Такъ на примѣръ, при дважды произведенномъ анализѣ бураго угля было найдено:

C	— 34,22 —	34,54
H	— 3,59 —	3,46
S	— 1,40 —	1,50
N	— 0,18 —	0,22
H <sub>2</sub> O	— 47,07 —	47,86
зола	— 5,15 —	5,03
дополненіе до 100 (O)	— 8,39 —	7,39.

Разности отдѣльныхъ чиселъ этихъ двухъ анализовъ суммируются здѣсь при вычисленіи кислорода въ исключительно высокій итогъ = 1,00%, и даютъ при вычисленіи теплотворной способности изъ обоихъ анализовъ разницу въ 3277 — 3254 = 23 калоріи.

Относительно выше приведенной формулы для вычисленія теплотворной способности слѣдуетъ еще замѣтить, что вычисленная по ней теплота горѣнія не вполне точно соотвѣтствуетъ дѣйствительной теплотворной способности, благодаря тому, что при вычисленіи принимаютъ, что кислородъ, содержащійся въ горючемъ матеріалѣ, связанъ съ эквивалентнымъ количествомъ водорода въ воду, и что остальная часть водорода предполагается сгорающей нѣкоторымъ образомъ въ свободномъ состояніи. Разумѣется, въ дѣйствительности этого нѣтъ. Напротивъ, водородъ связанъ съ углеродомъ въ видѣ различныхъ химическихъ соединений, и эти соединенія отчасти содержатъ кислородъ. Они об-

дають каждое своей особой теплотой горѣнія; для нѣкоторыхъ углеводовъ эти количества теплоты, выдѣляемая при горѣніи, приведены въ таблицѣ I; при горѣніи этихъ соединений происходитъ разложеніе ихъ, сопровождающееся поглощеніемъ теплоты. Количество тепла, выдѣлившееся въ результатѣ этихъ реакцій, можетъ, конечно, не вполне точно согласоваться съ величиной общей теплотворной способности, вычисленной въ предположеніи, что отдѣльные элементы этихъ соединений находятся въ свободномъ состояніи.

Непосредственныя опредѣленія теплоты горѣнія для горючихъ матеріаловъ, не слишкомъ богатыхъ кислородомъ, даютъ результаты довольно согласныя съ вычисленными по формулѣ; при каменномъ углѣ разница не превышаетъ 2 — 3%<sup>1)</sup>, а при буромъ углѣ она уже гораздо больше.

Очень немногія заводскія лабораторіи имѣютъ приспособленія для элементарнаго анализа; кромѣ того выполненіе анализа, если его производить точно и тщательно, требуетъ много времени и не такъ-то просто. Поэтому для тѣхъ, кто съ меньшимъ трудомъ и хлопотливостью, чѣмъ требуетъ элементарный анализъ, хотятъ въ короткое время составить себѣ приблизительное понятіе о сравнительномъ достоинствѣ какой-нибудь пробы угля, мы предлагаемъ еще другой способъ опредѣленія

---

<sup>1)</sup> Bunte въ Stohmann u. Kerls Encykl. IV, S. 281—315.

достоинства угля, который и опишемъ въ слѣдующей главѣ.

## XIX.

**Приблизительная оцѣнка углей посредствомъ пробнаго коксованія.**

Это испытаніе сравнительно просто. Пробу угля (въ случаѣ каменнаго угля не болѣе 1 гр.) нагрѣваютъ въ закрытомъ тиглѣ около 3 сант. высокою на платиновомъ треугольникѣ посредствомъ большой горѣлки постепенно до ярко-краснаго каленія, пока между крышкой и тиглемъ не перестануть выдѣляться газы. Теплотворная способность каменнаго угля приблизительно тѣмъ выше, чѣмъ больше выходъ кокса. Для хорошаго угля онъ составляетъ около 80%. Если предварительно опредѣлили воду, а потомъ оставшійся коксъ сожгли для опредѣленія золы, то мы знаемъ количество воды, золы, летучихъ горючихъ веществъ и нелетучаго углерода (коксъ минусъ зола); по этимъ даннымъ можно до нѣкоторой степени судить о достоинствѣ двухъ различныхъ образцовъ каменнаго угля.

Что касается бурыхъ углей, то ихъ теплотворная способность гораздо менѣе соразмѣрна съ количествомъ остающагося кокса, нежели въ каменныхъ угляхъ, такъ какъ они содержатъ въ среднемъ почти одинаковыя процентныя количества твердаго углерода и летучихъ горючихъ веществъ;

кромѣ того вообще бурый уголь тѣмъ лучше, чѣмъ больше содержитъ газообразныхъ веществъ по отношенію къ общему количеству горючихъ веществъ. Изслѣдованіе производится здѣсь слѣдующимъ образомъ:

Производятъ всегда 2 контрольныхъ изслѣдованія, причемъ для cadaго отвѣшиваютъ 10 гр. измельченнаго въ порошокъ угля и помѣщаютъ въ тонкостѣнный фарфоровый тигель или въ *тонкостѣнный* же латунный тигель вѣсомъ около 38 гр., имѣющій приблизительно 45 миллим. высоты, 40 миллим. нижній и 55 миллим. верхній діаметръ. Если латунный тигель уже употреблялся нѣсколько разъ и покрылся внутри слоемъ окиси, то его вѣсъ остается почти неизмѣннымъ, измѣненіе въ вѣсѣ при каждомъ новомъ опредѣленіи не превышаетъ нѣсколькихъ миллиграммовъ. Конечно, можно пользоваться и платиновымъ тиглемъ, но онъ очень портится отъ золы, содержащей сѣру и желѣзо.

Прежде всего опредѣляютъ содержаніе воды, высушивая уже ранѣе описаннымъ образомъ, причемъ при 105° сушатъ до тѣхъ поръ, пока убыль въ вѣсѣ за  $\frac{1}{2}$  часа не будетъ превышать 1 сантиграмма. Послѣ опредѣленія сухое вещество въ совершенно закрытомъ тиглѣ нагрѣваютъ медленно и постепенно на большой газовой или спиртовой горѣлкѣ, дающей возможно слабый жаръ. Если въ началѣ не достаточно осторожно поднимать температуру, то легкія частички углерода будутъ увлекаться выдѣляющимся изъ угля газомъ; это замѣчается

по тому, что выдѣляющійся изъ подъ крышки газъ загорается свѣтящимся пламенемъ и притомъ тѣмъ болѣе свѣтящимся, чѣмъ менѣе богатъ кислородомъ и значить чѣмъ лучше уголь.

Поэтому передъ нагрѣваніемъ слѣдуетъ позаботиться о томъ, чтобы крышка плотно закрывала тигель, для чего края ея должны дѣйствительно плотно охватывать его, потому что въ противномъ случаѣ воздухъ легко примѣшивается къ находящимся въ тиглѣ газамъ и отчасти сжигаетъ коксъ. Фарфоровые тигли никогда не закрываются вполне плотно и поэтому менѣе пригодны, чѣмъ хорошо сдѣланные латунные. Можно также передъ нагрѣваніемъ вытѣснить изъ тигля находящійся въ немъ воздухъ азотомъ или чистымъ углекислымъ газомъ, которые вводятъ черезъ маленькое отверстіе въ крышкѣ, закрываемое обыкновенно латунной пластинкой; азотъ приэтомъ получаютъ безъ труда съ помощью кислородной пипетки Гемпеля и переводятъ въ тигель изъ мѣрной пипетки извѣстнымъ образомъ.

Когда при нагрѣваніи угля прекратится выдѣленіе газовъ, тигель оставляютъ еще 2—3 минуты при слабо-красномъ каленіи, затѣмъ слегка остывшій переносятъ въ эксикаторъ и наконецъ взвѣшиваютъ. Потеря въ вѣсѣ равняется количеству газообразныхъ продуктовъ горѣнія угля. Слѣдующее затѣмъ полное сжиганіе угля съ цѣлью опредѣленія золы происходитъ въ случаѣ бураго угля довольно легко, но еще лучше, если по указанію

Мукк'а <sup>1)</sup> остатокъ послѣ перваго несовершеннаго прокаливанія увлажнить спиртомъ, потомъ зажечь спиртъ и наконецъ все снова прокалить, а въ случаѣ нужды повторить эту операцію еще разъ. Контрольныя опредѣленія газообразныхъ составныхъ частей при одинаковой работѣ даютъ разницу до  $\frac{1}{2}\%$ , въ исключительныхъ случаяхъ даже и больше. Среднее изъ обоихъ опредѣленій и при повтореніи контрольнаго опредѣленія остается довольно постояннымъ.

Содержаніе газообразныхъ горючихъ веществъ а также и нелетучаго углерода въ обыкновенныхъ среднихъ угляхъ приведено въ прилагаемой таблицѣ X. Изъ этой таблицы можно вмѣстѣ съ тѣмъ видѣть, какъ различны могутъ быть угли изъ одной и той же копи.

Примѣрами довольно плохихъ и очень хорошихъ бурыхъ углей могутъ служить два послѣдніе изъ приведенныхъ анализовъ. Домсдорфскій уголь, несмотря на высокое содержаніе воды, по наружному виду казался не сырѣе, чѣмъ средняго качества сырые бурые угли на копяхъ, поэтому онъ очень рыхлъ, обладаетъ меньшимъ удѣльнымъ вѣсомъ и меньшей теплотворной способностью, по сравненію съ средними бурыми углями; одинаковый вѣсъ его занимаетъ большій объемъ. При такихъ низкосортныхъ угляхъ, также какъ и при богемскихъ угляхъ, отличающихся бѣльшимъ удѣльнымъ вѣ-

---

<sup>1)</sup> Muck. «Chemie der Steinkohle».

# Т А Б Л И Ц А X.

*Анализы<sup>1)</sup> бурных углей посредством пробного коксованія.*

ПРОБЫ УГЛЯ ВЪ 1892 ГОДУ.	Двойные анализы.					Средние анализы, пересчитанные на 50% воды.				
	Вола.	Газъ	Коксѣ.	Газъ + коксѣ.	Зола.	Вола.	Газъ.	Коксѣ.	Газъ + коксѣ.	Зола.
Копи Нахтерштедтъ, изъ вагона.	44,32	24,61	25,15	49,76	5,92	50,0	22,40	22,32	44,72	5,28
	44,36	25,25	24,55	49,80	5,84					
взяты прямо изъ старой шахты	45,60	22,90	26,08	48,98	5,42	50,0	21,00	24,00	45,00	5,00
	45,52	22,83	26,19	49,02	5,46					
изъ дневной выработки, верхніе слои . . . . .	46,70	21,17	26,26	47,43	5,87	50,0	19,50	24,93	44,43	5,57
	46,37	20,54	27,04	47,58	6,05					
Выбранный спекающійся уголь.	42,94	31,01	19,37	50,38	6,68	50,0	27,26	16,94	44,20	5,80
	42,30	31,54	19,52	51,06	6,64					
Средній изъ дневной вы- ботки . . . . .	45,55	23,43	25,79	49,22	5,23	50,0	21,54	23,62	45,16	4,84
	45,54	23,49	25,65	49,14	5,32					
Копи Фрозе изъ вагона . . . .	49,81	22,37	21,75	44,12	6,57	50,0	22,06	21,46	43,52	6,48
	46,83	23,12	24,21	47,33	5,84					
взяты прямо изъ шахты . . .	47,18	21,96	24,04	46,00	6,82	50,0	20,53	23,00	43,53	6,47
	47,18	21,42	24,57	45,99	6,83					
Копи Эддеритцъ изъ вагона . .	47,00	24,65	22,65	47,30	5,70	50,0	23,41	21,18	44,59	5,41
	46,98	24,99	22,27	47,26	5,76					
взяты прямо изъ шахты . . .	47,91	25,66	21,50	47,16	4,90	50,0	24,32	20,89	45,21	4,72
	48,11	24,92	21,88	46,80	5,05					
Копи Унзебургъ выбранные куски, спекающійся уголь свѣтлобур. .	36,35	34,36	19,99	54,65	9,01	—	—	—	—	—
Копи Домсдорфъ при Либенверда.	56,44	17,20	23,31	40,51	3,05	—	—	—	—	—
	56,21	17,77	22,97	40,74	3,05					
Богемскій уголь отъ Дуксѣ. . .	21,94	29,43	46,05	75,48	2,58	—	—	—	—	—
	21,82	28,74	46,74	75,48	2,70					

<sup>1)</sup> Эти анализы были сдѣланы безъ введенія въ тигель  $CO_2$  или  $N$ .

сомъ, перичисленіе анализа на 50% содержанія воды даетъ результаты несравнимые съ средними бурыми углями; такіе исключительнаго состава угли можно приблизительно сравнивать съ остальными бурыми углями только на основаніи непосредственнаго вѣсового анализа.

## XX.

### Калориметрическое опредѣленіе теплотворной способности.

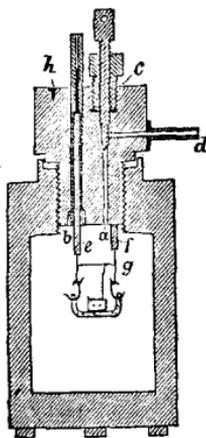
Описанные до сихъ поръ способы опредѣленія теплотворной способности неудобны отчасти вслѣдствіе изрядной хлопотливости ихъ выполненія, а отчасти также и нѣкоторой неточности.

Всего точнѣе производится опредѣленіе теплотворной способности съ помощью *калориметра для сжиганія подъ давленіемъ*, впервые конструированнаго Бертелло и состоящаго изъ толстаго желѣзнаго, совершенно плотно закрывающагося сосуда, такъ называемой бомбы, въ которомъ испытываемая проба угля быстро и вполне сжигается въ чистомъ кислородѣ, находящемся подъ высокимъ — до 25 атмосферъ — давленіемъ. Этотъ сосудъ во время сжиганія пробы помѣщается въ водяномъ калориметрѣ, поглощающемъ выдѣляющуюся при горѣніи теплоту; повышеніе температуры воды, наполняющей калориметръ, точно измѣряется.

Для техническихъ цѣлей предложено нѣсколько недорогихъ бомбъ для сжиганія, каковы конструи-

рованные Гемпелем<sup>1)</sup>, Малером<sup>2)</sup>, Крекером<sup>3)</sup> и Лангбейном<sup>4)</sup> \*).

Способъ калориметрическаго опредѣленія по Гемпелю, описанный далѣе, удобенъ, точенъ и быстръ. Употребляемая при этомъ бомба, изображенная на фиг. 26, сдѣлана изъ одного куска самага мягкаго литого желѣза и внутри покрыта эмалью.



Фиг. 26.

Сосудъ закрывается крышкой, снабженной винтовой нарѣзкой, причѣмъ для совершенной плотности служитъ прокладка изъ каучука или свинца. Въ крышкѣ просверлены два вертикальныхъ канала *a* и *b*. Первый изъ нихъ закрывается непроницаемымъ для газовъ винтовымъ вентиляемъ *c*. Для совершенной плотности гайки вентиля служитъ опять таки каучуковая прокладка. Какъ разъ отъ конца вентиля идетъ горизонтальный каналъ наружу, оканчивающійся трубкой *d*. Во второй слегка

<sup>1)</sup> «Z. f. angewandte Chemie» 1892, S. 327, (также «Z. f. d. Zuckerind. d. D. Reiches» 1896, S. 177, и 1896, S. 608).

<sup>2)</sup> Тамъ же 1894, S. 757.

<sup>3)</sup> «Z. d. V. d. D. RübENZ.-Ind.» Bd. 46, S. 177.

<sup>4)</sup> «Z. f. ang. Ch.» 1900, Heft 49/50.

\*) *Примѣч. редактора:* Въ настоящее время для техническихъ цѣлей имѣетъ большое значеніе американскій калориметръ Паара, въ которомъ топливо сжигается не съ кислородомъ, а съ перекисью натрія.

коническій книзу каналъ *b* плотно вставляется слабо коническій желѣзный штифтъ *e*, окруженный каучуковой трубкой, толщина стѣнокъ которой=2 миллим. и діаметръ въ свѣту=2 миллим.

Штифтъ *e* вставляется слѣдующимъ образомъ: въ каналъ въ 4 миллим. діаметромъ вкладываютъ каучукъ, въ нижній конецъ каучука вставляютъ желѣзный штифтъ около 3 миллим. діаметромъ и затѣмъ тянутъ за верхній конецъ каучука, ударяя въ то же время по желѣзному штифту, пока онъ не войдетъ достаточно далеко. Тогда опускаютъ верхній конецъ каучука и получаютъ такимъ образомъ совершенно плотное соединеніе.

Чтобы конецъ каучуковой прокладки въ бомбѣ не загорѣлся во время работы, изъ нижняго, немного расширяющагося конца канала удаляютъ каучукъ и наполняютъ это пространство азбестомъ, а сверху покрываютъ его каплей растворимаго стекла.

Верхній конецъ каучука обрѣзаютъ приблизительно на высотѣ 2 сантиметровъ надъ крышкой бомбы и наполняютъ посредствомъ капилляра до половины ртутью. Изолированный штифтъ *e* такъ же, какъ и прикрѣпленный непосредственно къ крышкѣ желѣзный штифтъ *f*, оканчиваются платиновыми проволоками около 1 миллим. толщиною; эти проволоки около самыхъ концовъ желѣзныхъ штифтовъ соединяются между собою посредствомъ очень тонкой платиновой проволоки *g*. Нижніе

концы обѣихъ толстыхъ платиновыхъ проволокъ крючкообразно изогнуты; на эти крючки вѣшаютъ маленькую коробочку изъ шамота посредствомъ двухъ укрѣпленныхъ въ ней платиновыхъ крючковъ.

Въ крышкѣ бомбы находится еще маленькое углубленіе *h*, которое наполняютъ нѣсколькими каплями ртути. Въ это углубленіе и въ конецъ каучука, наполненный ртутью, и погружаютъ концы проводовъ отъ полюсовъ опускной батареи Бунзена<sup>1)</sup> для зажиганія угля. Ртутный контактъ можно замѣнить удлинненнымъ выступающимъ изъ каучука стержнемъ съ зажимомъ.

Передъ употребленіемъ бомбы Гемпеля пробуютъ, на сколько глубоко нужно опустить электроды батареи въ жидкость, чтобы тонкая платиновая проволока *g* раскалилась, но не плавилась, и при дальнѣйшемъ употребленіи батареи для зажиганія не переходятъ этого предѣла.

Сырой рудничный уголь для калориметрическаго опредѣленія слѣдуетъ предварительно высушить на

---

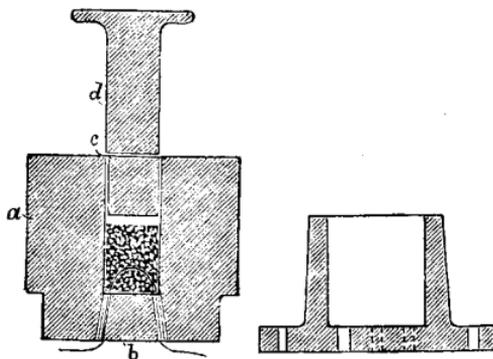
<sup>1)</sup> Возбуждающая жидкость для батареи Бунзена, въ которую погружаются пластинки изъ цинка и угля, готовится слѣдующимъ образомъ: 0,765 килогр. продажнаго измельченнаго въ порошокъ двухромовокислаго калия высыпаютъ понемногу, помѣшивая, въ 832 куб. сант. сѣрной кислоты уд. в. 1,836. Когда эта каша превратится въ хромовую кислоту и сѣрнокислый калий, приливаютъ, тщательно перемѣшивая, 9,2 литра воды струей толщиной въ палецъ. Масса, горячая уже и раньше, при этомъ нагрѣвается еще больше и наконецъ совершенно растворяется.

воздухъ. Для этой цѣли и для одновременнаго опредѣленія испаряющейся при этомъ воды прежде всего хорошую среднюю пробу влажнаго угля измельчаютъ по возможности быстро на куски величиною съ орѣхъ, причемъ производятъ эту операцію въ прохладномъ мѣстѣ, гдѣ нѣтъ тяги воздуха, затѣмъ хорошо перемѣшиваютъ, отвѣшиваютъ на хорошихъ вѣсахъ 5 килогр., рассыпаютъ уголь на большомъ листѣ бумаги и время отъ времени взвѣшиваютъ. Когда уже больше не будетъ замѣтно потери въ вѣсѣ, измельчаютъ уголь возможно быстро въ порошокъ, берутъ значительную часть всего количества, взвѣшиваютъ и оставляютъ сохнуть на воздухъ до постоянного вѣса. Полученный угольный порошокъ сохраняютъ въ плотно закрывающейся стеклянкѣ безъ доступа воздуха и употребляютъ и для элементарнаго анализа и для калориметрическаго опредѣленія.

Но этотъ воздушно-сухой уголь въ видѣ порошка не можетъ вполне сгорѣть въ бомбѣ. Поэтому изъ угольнаго порошка формуютъ маленькіе брикеты и употребляютъ ихъ для сжиганія. Если при этомъ употребляютъ прямо сырой рудничный уголь, то во время прессованія вытекаетъ нѣкоторое количество воды, почему это и не допускается. Чтобы избѣжать такой потери въ вѣсѣ и употребляютъ совершенно высушенный на воздухъ уголь. Чтобы такой брикетъ можно было зажечь въ бомбѣ посредствомъ батареи, въ него впрессовываютъ бѣлую нитку около 10 сант. длиною, которую и связы-

вають съ тонкой платиновой проволокой; при накаливаніи проволоки нитка загорается и зажигаетъ брикетъ.

Для прессованія брикетовъ употребляютъ маленькую стальную форму *a*, изображенную на прилагаемомъ рисункѣ (фиг. 27). Цилиндрическая выемка этого пресса оканчивается внизу коническимъ расширеніемъ, въ которое вкладывается кусокъ *b*, имѣющій форму усѣченного конуса. На наружной



Фиг. 27.

Фиг. 28.

поверхности послѣдняго сдѣланы двѣ лежащія другъ противъ друга плоскія выемки, черезъ которыя вкладывается нитка, впрессовываемая въ брикетъ, какъ это объясняетъ рисунокъ.

Поверхъ куска *b*, вложеннаго въ прессъ и придержаемаго пальцемъ, насыпаютъ около 1,2 гр. угольного порошка, на него кладутъ маленькій стальной цилиндръ *c* и затѣмъ стальной пестикъ

d. Затѣмъ ставятъ все на большую желѣзную пластинку и помѣщаютъ въ обыкновенный винтовой лабораторный прессъ.

Когда умѣреннымъ давленіемъ спрессуютъ уголь, то немного приподнимаютъ винтъ пресса и стальную форму на столько, чтобы выпала вставка *b*, которую тогда вынимаютъ, послѣ чего вторичнымъ легкимъ нажиманіемъ пресса заставляютъ брикетъ выпасть изъ формы.

Для этой-же цѣли конструировано нѣсколько маленькихъ винтовыхъ прессовъ, посредствомъ которыхъ приготовленіе брикетовъ еще легче.

Полученный такимъ образомъ брикетъ обмахиваютъ отъ приставшей угольной пыли помощью тонкой волосяной кисточки, взвѣшиваютъ между часовыми стеклами и затѣмъ кладутъ въ шамотную коробочку, причемъ берутъ брикетъ за концы впрессованной въ него нитки. При этомъ изъ предосторожности ставятъ подъ ящичекъ одно изъ часовыхъ стеколъ, употреблявшихся для взвѣшивания, чтобы собрать частички угля, которые могутъ отпасть отъ него. Одинъ конецъ нитки простымъ узломъ привязывается къ тонкой платиновой проволоцѣ *g*, затѣмъ всѣ лишніе куски нитки обрѣзаются и взвѣшиваются обратно.

Бомбу осторожно закрываютъ, стараясь по возможности не встряхивать шамотную коробочку, чтобы отъ угля не отпадали мелкія частицы, которые могли бы остаться несгорѣвшими, затѣмъ

еще сильно завертываютъ крышку бомбы съ помощью возможно длиннаго ключа, чтобы она могла держаться совершенно плотно при 15 атмосферахъ внутренняго давленія.

Чтобы во время этого завертыванія крышки бомба имѣла совершенно твердое положеніе, ее укрѣпляютъ въ цилиндрической подставкѣ, плотно привинченной къ столу (фиг. 28); дно этой подставки снабжено 3 отверстиями, которыя расположены такимъ образомъ, что въ нихъ совершенно точно входятъ 3 выступа, находящіеся на днѣ бомбы. Когда бомба закрыта, то соединяють имѣющійся на крышкѣ ея небольшой патрубокъ съ трубкой, снабженной манометромъ и свинцовой прокладкой; эта трубка идетъ къ стальному цилиндру, наполненному сжатымъ кислородомъ. Открываютъ вентиль *c* на бомбѣ для сжиганія, повертывая винтъ на приблизительно нужное число оборотовъ, и даютъ подняться давленію въ сосудѣ до 5 атмосферъ. Когда это достигнуто, закрываютъ кислородную бомбу и, ослабляя одинъ изъ винтовъ на флянцѣ соединительной трубки, даютъ опуститься давленію въ бомбѣ, вытѣсняя такимъ образомъ находящійся въ ней атмосферный воздухъ.

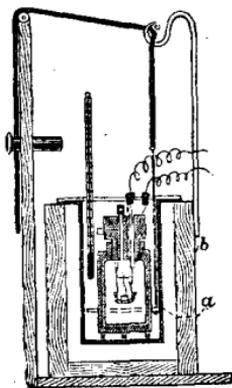
Затѣмъ опять завертываютъ винтъ и медленно открываютъ бомбу съ кислородомъ, пока давленіе не достигнетъ 15 атмосферъ. Тогда закрываютъ обѣ бомбы, разъединяють ихъ, и бомбу для сжиганія ставятъ въ стаканъ съ водой, чтобы убѣдиться, что она закрыта плотно. Въ случаѣ, если

черезъ вентиль или черезъ прокладку между бомбой и крышкой проникають пузырьки газа. слѣдуетъ сильнѣе затянуть соотвѣтствующіе винты до совершенной плотности.

Если затягиваніе ключемъ не помогаетъ, то нужно перемѣнить прокладки, предварительно пришлифовавъ вентиль.

Когда въ бомбѣ уже не замѣчается больше никакихъ неплотностей, то ее вытирають отъ приставшей воды съ помощью фильтровальной бумаги и помѣщаютъ въ калориметръ.

Калориметръ (см. фиг. 29) представляетъ собою чистый металлическій сосудъ всего лучше изъ посеребренной или никкелированной мѣди и такой величины, что свободно вмѣщаетъ бомбу для сожженія и 1 литръ воды. Широкій загнутый верхній край этого сосуда лежитъ на деревянномъ цилиндрѣ *b*. Крышка калориметра, состоящая изъ двухъ отдѣльныхъ половинокъ, снабжена 5 отверстиями: одно для термометра, два для проводовъ отъ полюсовъ электрической батареи и два для мѣшалки *a*. Прежде накладываютъ половинку крышки съ 2 отверстиями для электрическихъ проводовъ, въ отверстия вставляютъ цилиндрическіе изоляторы изъ твердаго каучука и черезъ нихъ проводятъ про-



Фиг. 29.

волокни къ мѣстамъ контакта. Затѣмъ наливаютъ въ калориметръ точно 1 литръ дистиллированной воды, температура которой на  $1\frac{1}{2}$ — $2^{\circ}$  ниже температуры окружающаго воздуха, накладываютъ другую половинку крышки и наконецъ вставляютъ термометръ.

Мѣшалку слѣдуетъ двигать вверхъ и внизъ до тѣхъ поръ, пока термометръ не будетъ показывать постоянной температуры; онъ долженъ быть раздѣленъ по меньшей мѣрѣ на  $\frac{1}{50}$  градуса, причемъ, какъ и во время всего опыта, слѣдуетъ записывать показанія термометра каждую минуту, чтобы получить точное представленіе о колебаніяхъ температуры. Для отсчитыванія температуры пользуются лупой. Приэтомъ рекомендуется, чтобы наблюдатель для задержанія лучистой теплоты его тѣла былъ отдѣленъ отъ калориметра деревянной или стеклянной стѣнкой; для этого лупу помещаютъ въ двигающейся части этой стѣнки на подходящемъ мѣстѣ.

Когда въ калориметрѣ установится постоянная температура, погружаютъ на короткое время—на 1 секунду—электроды батареи въ жидкость до опредѣленной заранее глубины. Тотчасъ начинается повышеніе температуры, причемъ до тѣхъ поръ двигаютъ мѣшалку, пока не будетъ достигнута максимальная температура, и термометръ начнетъ снова падать. Если всѣ манипуляціи произведены правильно, причемъ повышеніе температуры идетъ очень быстро и кончается въ 2—3 минуты, то

уголь совершенно сгораетъ, оставляя только маленькіе шарики шлака. Коксъ и антрацитъ передъ прессованіемъ смѣшиваютъ съ  $\frac{1}{4}$  —  $\frac{1}{8}$  частью уже испытаннаго калориметрически хорошо прессующагося спекающагося угля.

Такъ какъ выдѣляющаяся теплота передается не только водѣ, но также и бомбѣ, деревянному цилиндру, термометру и т. д., то необходимо предварительно установить это количество теплоты, называемое *поглотивительной способностью калориметра* или его водянымъ числомъ, и при каждомъ опредѣленіи принимать въ расчетъ.

Съ этой цѣлью предварительно опредѣляютъ повышеніе температуры при сжиганіи какого-нибудь тѣла, теплотворная способность котораго извѣстна. По предложенію Гемпеля для этой цѣли пользуются древеснымъ углемъ, который освобождаютъ отъ газообразныхъ продуктовъ, прокаливая его въ формѣ маленькихъ цилиндровъ, засыпанныхъ порошкомъ древеснаго угля въ закрытомъ гессенскомъ тиглѣ на сильнѣйшемъ огнѣ. Не совсѣмъ охлажденные цилиндры переносятъ въ эксикаторъ, гдѣ и сохраняютъ. Въ нѣсколькихъ изъ этихъ цилиндровъ опредѣляютъ содержаніе золы и пересчитываютъ вѣсь взятаго древеснаго угля на чистый углеродъ.

Водяное число или поглотивительная способность калориметра, т. е. число калорій, поглощаемыхъ въ суммѣ всѣмъ калориметромъ при повышеніи температуры на  $1^{\circ}$ , вычисляется, принимая тепло-

ту горѣнія чистаго углерода = 8100 калорій на килограммъ или 8,100 калорій на граммъ, какъ это видно на слѣдующемъ примѣрѣ:

Вѣсъ цилиндра изъ древеснаго угля = 0,7248 гр.

Содержаніе золы = 0,72%, слѣд.

чистаго углерода = 99,28%.

Значить взято для опыта углерода = 0,7195 гр.

Повышеніе температуры при сжиганіи = 4,070° С.

Сгорѣвшій углеродъ

выдѣлилъ . . . . .  $0,7195 \times 8,100 = 5,82860$  кал.

а водою поглощено только = 4,07000 „

(1 кил. = 4,010° С.)

Значить для нагрѣванія кало-

риметра пошло . . . . . = 1,75860 кал.

а на 1° повышенія температуры  $\frac{1,7586}{4,070} = 0,432$  кал.;

это число и есть *водяное число калориметра*.

Для болѣе точной установки средней поглотительной способности это опредѣленіе повторяють нѣсколько разъ.

Если, напримѣръ, при изслѣдованіи пробы угля будетъ найдено, что горѣніе 1,0354 гр. его вызываетъ повышеніе температуры въ 4,230° С., то калориметру передается  $4,230 \times 0,432$  калоріи, а водѣ 4,230 калоріи, въ общемъ, значить, выдѣлилось теплоты:

$(1,0 + 0,432) \cdot 4,230 = 1,432 \times 4,230 = 6,05736$  кал.

На 1 гр. угля приходится значить  $\frac{6,05736}{1,0354} = 5,852$  кал., или на 1 килогр. угля = 5852 калоріи;

это число слѣдуетъ еще пересчитать на влажный уголь по количеству содержащейся въ немъ воды.

Если въ этихъ вычисленіяхъ вмѣсто принятой теплоты горѣнія угля 8100 калорій взять, согласно позднѣйшимъ изслѣдованіямъ, болѣе точное число 8137 калорій, то для нашего примѣра получимъ поглотительную способность калориметра  $= 0,4385$  калорій вмѣсто 0,432 к., а теплоту горѣнія 1 килогр. воздушно-сухого угля  $= 5877$  калорій вмѣсто найденныхъ раньше 5852 калорій.

Найденное такимъ образомъ число калорій представляетъ *калориметрическую теплоту горѣнія* сырого угля, не получаемую на практикѣ, какъ мы увидимъ позднѣе.

Описанная, калориметрическая метода по Гемпелю, требующая, кромѣ приобрѣтенія необходимаго навыка, для каждаго опредѣленія только около 1 часа времени, включая сюда и приготовленія, даетъ замѣчательно согласные результаты для одной и той же пробы угля. При всѣхъ такихъ опредѣленіяхъ слѣдуетъ главнымъ образомъ позаботиться, чтобы взятая для опредѣленія проба дѣйствительно соотвѣтствовала среднимъ качествамъ изслѣдуемаго угля, для чего достаточно обратить немного вниманія на правильность взятія пробы, что никогда не можетъ особенно затруднить.

Кромѣ того рекомендуется производить изслѣдованія въ комнатѣ, обращенной на сѣверъ, чтобы температура ея оставалась по возможности постоянной.

Но такъ какъ этого трудно достигнуть, и при сжиганіи всегда происходитъ потеря теплоты черезъ лучеиспусканіе, то, наблюдая температуру каждую минуту до опыта и послѣ него, по разности температуръ для каждой минуты, пользуясь формулой Реньо-Пфаундлера, можно ввести поправку <sup>1)</sup> въ число, полученное наблюдениемъ, однако величина этой поправки рѣдко достигаетъ  $\frac{1}{2}\%$  на общее количество выдѣлившейся при опытѣ теплоты.

Эта поправка является излишней (тѣмъ болѣе, что трудно получить дѣйствительно среднюю пробу угля), если при опредѣленіи поглотительной способности калориметра, т. е. при сжиганіи древеснаго угля выдѣляется приблизительно столько же теплоты, какъ и при сжиганіи изслѣдуемаго угля, и если начальная температура воды калориметра ниже комнатной приблизительно на половину повышения термометра при опытѣ (не болѣе 2°). Эти условія почти что компенсируютъ ошибку, обусловливаемую лучеиспусканиемъ <sup>2)</sup>.

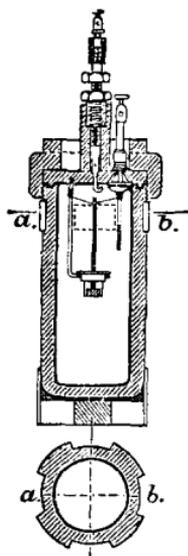
Стоимость полного прибора для калориметрическихъ изслѣдованій по Гемпелю около 200 марокъ. Новая внутренняя эмалировка бомбы почти не измѣняется отъ сѣрной и азотной кислотъ, образующихся при горѣніи, выдерживаетъ довольно долго и можетъ быть возобовлена.

<sup>1)</sup> Подробнѣе см.: Stohmann, Kleber u. Langbein, 1889, «Journ. f. pr. Ch.», Bd. 39, 517.

<sup>2)</sup> Thiele, «Z. f. ang. Ch.» 1900, 607.

Преимущество бомбы Гемпеля, вполне пригодной для технических цѣлей, заключается между прочимъ и въ ея дешевизнѣ, которая дѣлаетъ возможнымъ примѣненіе ея даже въ маленькихъ заводскихъ лабораторіяхъ. Но если не стѣсняются сдѣлать большій расходъ, то хорошо приобрести платинированную внутри бомбу (на подобіе бомбы Бертело, внутреннее платиновое покрытие которой вѣситъ 1300 гр.), предложенную Лангбейномъ <sup>1)</sup> (около 90 гр. платины), а также употребляемую и Гемпелемъ <sup>2)</sup> для цѣлей элементарнаго анализа. Преимущество платинового покрытия заключается въ томъ, что раскаленные частицы угля, отскакивающія при очень энергичномъ горѣніи, не могутъ образовывать на внутренней стѣнкѣ трещинъ, что можетъ случиться при покрытіи эмалью, кромѣ того, образующіяся сѣрная и азотная кислоты, совершенно не вліяющія на внутренность бомбы, могутъ быть опредѣлены количественно.

Никкелированная снаружи бомба Лангбейна (фиг. 30) выложена внутри листовой платиной, которая мѣстами припаяна; въ фальцы крышки для совершенной плотности вложено свинцовое кольцо.



Фиг. 30.

<sup>1)</sup> «Z. f. angew. Ch.» 1900, Heft 49, S. 1227.

<sup>2)</sup> Hempel, «Gasanalyt. Methoden», 1900, III. Aufl., S. 227.

Приводящій кислородъ каналъ оканчивается внутри маленькой U-образной трубочкой; это сдѣлано для того, чтобы кислородъ, входящій подъ давленіемъ въ 25 атмосферъ, не могъ сдуть съ поверхности брикета маленькія приставшія къ нему частички угля, которыя, упавъ, могли-бы остаться несорѣвными. Брикетъ помѣщается въ платиновую чашечку и зажигается посредствомъ зажигательной нитки, висящей на платиновой проволокъ въ 0,1 миллим. толщиною; при внезапномъ сильномъ накачиваніи проволоки нитка загорается.

На вѣншей поверхности бомбы сдѣланы 4 выступа, какъ разъ соотвѣтствующія выемкамъ, сдѣланнымъ въ хорошо прикрѣпляемой къ столу подставкѣ, такъ что безъ труда можно совершенно плотно привернуть крышку бомбы. Калориметрической приборъ Лангбейна со всѣми принадлежностями стоитъ у Гугерсгофа въ Лейпцигѣ смотря по исполненію 1000—1200 марокъ.

Для сравненія теплотворной способности, найденной посредствомъ калориметра, съ вычисленной по формулѣ на основаніи элементарнаго анализа нужно еще опредѣлить количество воды, образовавшейся при горѣнн, а также и содержавшейся уже въ сыромъ углѣ, и общее количество теплоты, соотвѣтствующее образовавшемуся водяному пару, вычестъ изъ найденнаго числа калорій. Значить нужно общее количество воды, приходящееся на 1 гр. вещества, умножить на 600, полученное произведеніе вычестъ изъ калориметрической тепловой

способности и остатокъ пересчитать на влажный уголь; тогда получимъ *полезную теплотворную способность* угля, приче́мъ вся вода считается паробразной въ 100°Ц.

Обыкновенно опредѣляютъ воду, образующуюся при горѣніи, посредствомъ элементарнаго анализа, но ее можно опредѣлить и съ помощью бомбы.

Гемпель <sup>1)</sup> опредѣляетъ образующуюся при горѣніи угля воду по увеличенію вѣса маленькой легкой бомбы, конструированной для аналитическихъ цѣлей, вытѣя золу и образовавшіеся при горѣніи сѣрный и азотный ангидриды, опредѣляемые титрованіемъ и вмѣстѣ пересчитываемые на сѣрную кислоту.

Крекеръ <sup>2)</sup> опредѣляетъ общее количество воды въ воздушно-сухомъ углѣ одновременно съ калориметрическимъ опредѣленіемъ. Для этой цѣли онъ устроилъ въ крышкѣ бомбы еще второй вентиль <sup>3)</sup>. Послѣ сжиганія онъ соединяетъ его со взвѣшенной хлор-кальціевой трубкой и нагрѣваетъ бомбу на масляной банѣ до 105°Ц. Послѣ того какъ давленіе въ бомбѣ медленно упадетъ, онъ пропускаетъ струю сухого воздуха черезъ второй вентиль, бомбу и хлор-кальціеву трубку; по увеличенію вѣса

---

<sup>1)</sup> Dr. W. Hempel, Gasanalyt. Methoden, III. Aufl. 1900, S. 395.

<sup>2)</sup> Zeitschr. d. V. d. Deutsch. Rübenzucker-Industrie. Bd. 46, S. 177.

<sup>3)</sup> Бомба Крекера изготавливается фирмой Jul. Peters, Berlin; стоимость всего прибора около 400 марокъ.

послѣдней вычисляется количество образовавшейся при горѣніи воды. Сѣрная кислота при этомъ удерживаетъ отъ 1 до 2% воды, смотря по содержанію сѣры въ углѣ.

Часто уже одинъ вентиль доставляетъ не мало хлопотъ, когда нужно, чтобы онъ закрывалъ совершенно плотно, такъ что работа съ двумя вентилями во всякомъ случаѣ будетъ еще кропотливѣе.

Въ топочныхъ газахъ содержится и сѣрная и сѣрнистая кислоты, въ бомбѣ образуется только сѣрная; кромѣ того, въ бомбѣ получается азотная кислота, образовавшаяся не только изъ азота угля, но также и изъ азота, содержавшагося въ продажномъ кислородѣ (до 5%); поэтому калориметрически опредѣленная теплотворная способность получается немного выше дѣйствительной.

Лангбейнъ <sup>1)</sup> для этого опредѣленія вводитъ въ бомбу передъ сжиганіемъ 10 куб. сант. воды, послѣ сжиганія ополаскиваетъ ее водой, отгоняетъ поглощенную углекислоту нагрѣваніемъ, нейтрализуетъ  $\frac{1}{10}$ -норм. баритовой водой, смѣшиваетъ съ отмѣреннымъ избыточнымъ количествомъ раствора соды (3,706 гр.  $Na_2CO_3$  на литръ), причемъ каждый израсходованный для осажденія  $Ba(NO_3)_2$  въ  $BaCO_3$  1 куб. сант. этого раствора соотвѣтствуетъ 1 калоріи, затѣмъ отфильтровываетъ углекислый и сѣрнокислый барій и опредѣляетъ въ фильтратѣ избы-

---

<sup>1)</sup> Dr. H. Langbein, Chemische und kalorimetrische Untersuchung von Brennstoffen, «Z. f. angew. Ch.» 1900, Heft 49 u. 50.

точную соду, титруя  $\frac{1}{10}$ -норм. соляной кислотой, причемъ одновременно, обычнымъ аналитическимъ приѣмомъ, изъ отцѣженного осадка опредѣляется и содержаніе сѣры въ углѣ.

Поправка составляетъ 22,5 калоріи на каждый 1% сѣры и 1 калорію на каждый 1 куб. сант. раствора соды для азотной кислоты.

Можно, конечно, опредѣлить сѣрную кислоту въ видѣ сѣрнокислаго барія, а затѣмъ, отдѣливъ его, опредѣлить азотную кислоту алкалометрически, или же просто принять въ расчетъ для азотной кислоты въ среднемъ 15 калорій, не дѣлая точнаго опредѣленія.

Уже Бертелло <sup>1)</sup> указывалъ, что при помощи калориметрической бомбы можно производить элементарный анализъ. Углеродъ и водородъ опредѣляютъ, отсасывая изъ бомбы образующіяся въ ней углекислоту и воду и поглощая ихъ въ извѣстныхъ приборахъ. Гемпель <sup>2)</sup>, а также и Лангбейнъ конструировали для этой цѣли маленькія бомбы, причемъ бомбу Гемпеля можно взвѣшивать. Однако этотъ методъ еще не вошелъ въ употребленіе.

Для сравненія съ теплотворной способностью, вычисленной по формулѣ на основаніи анализа, изъ полученной калориметрически величины тепло-

---

<sup>1)</sup> M. Berthelot, «Praktische Anleitung zur Ausführung thermochemischer Messungen», 1893.

<sup>2)</sup> W. Hempel, «Gasanalyt. Methoden», III. Aufl. S. 390, und «Ber. d. Deutsch. chem. Ges.» 1897, S. 202.

творной способности слѣдуетъ вычесть, какъ объяснено выше,  $\frac{n}{100} \times 600 = 6n$ , если  $n$  обозначаетъ процентное содержаніе воды въ бомбѣ.

Въ большинствѣ случаевъ, имѣющихъ мѣсто въ практикѣ, можно ограничиться тѣмъ, что среднее содержаніе водорода для взятаго сорта угля пересчитываютъ на воду, далѣе опредѣляютъ содержаніе воды въ углѣ, высушивая его при  $105-110^{\circ}\text{C}$ ., и сумму обоихъ количествъ, умноженную на 6, вычитываютъ изъ калориметрически опредѣленной теплотворной способности. За неимѣніемъ анализа, можно принять въ расчетъ среднее содержаніе водорода <sup>1)</sup> на 100 частей чистаго угля по нормамъ «Kessel-Revisions-Vereine»:

для бурыхъ углей . . .	6%	H
„ каменныхъ углей 5,5	„	„
„ антрацита . . .	4	„

Не слѣдуетъ забывать, что при отбираніи образца угля очень трудно получить хотя бы приблизительно среднюю пробу, поэтому не стоитъ примѣнять на практикѣ методовъ, отличающихся излишней точностью, т. е. дающихъ ненужные десятичные знаки.

Въ заключеніе приведемъ *примѣръ вычисленія полезной теплотворной способности угля*:

Мы нашли посредствомъ калориметра, что теплотворная способность образца воздушно-сухого угля

<sup>1)</sup> Сравните также «Z. f. öff. Ch.» 1897, Heft V, Dr. H. Langbein.

(богемскій бурый уголь) = 5852 калорій. Этотъ уголь въ сыромъ видѣ содержалъ 26,60% воды, а воздушно-сухой 12,05 воды и 3,4% золы. Итакъ, воздушно-сухой уголь содержалъ  $100 - (12,05 + 3,4) = 84,55\%$  чистаго углеродистаго вещества. Если принять, что въ угляхъ этого сорта содержатся въ среднемъ 6% водорода по вѣсу чистаго углеродистаго вещества, то въ воздушно-сухомъ углѣ содержится  $\frac{84,55 \cdot 6}{100} = 5,07\%$  H, который при горѣніи даетъ  $5,07 \times 9 = 45,63\%$  воды. Такъ какъ въ воздушно-сухомъ углѣ было найдено 12,05% воды, то значить при горѣніи образовалось всего

$$45,63 + 12,05 = 57,68\%$$

воды, которая поглотила бы  $57,68 \times 6 = 346,1$  или круглымъ числомъ 346 калорій. Значить эту величину слѣдуетъ вычесть изъ полученнаго нами опытомъ числа калорій; тогда полезная теплотворная способность воздушно-сухого угля будетъ  $= 5852 - 346 = 5506$  калорій.

Но сырой рудничный уголь содержитъ воды больше, чѣмъ воздушно-сухой, на  $26,60 - 12,05 = 14,55\%$ , значить въ 100 частяхъ воздушно-сухого угля содержится всего 85,45 частей сырого угля, что соотвѣтствуетъ  $\frac{5506 \cdot 85,45}{100} = 4705$  калоріямъ. Для вычисленія полезной теплотворной способности этого сырого рудничнаго угля слѣдуетъ изъ полученнаго числа 4705 калорій вычесть  $14,55 \times 6 = 87,3$  калорій, которыя затратятся на

испареніе излишней воды, такъ что значить полезная теплотворная способность изслѣдуемаго бураго угля будетъ  $= 4705 - 87 = 4618$  калорій.

---

## XXI.

**Опредѣленіе теплотворной способности опытнымъ путемъ непосредственно подъ котломъ.**

На практикѣ предпочитаютъ измѣрять теплотворную способность различныхъ сортовъ угля по количеству воды, выпариваемой однимъ килограммомъ испытываемаго угля. Такого рода сравнительные опыты производятъ всегда съ одной и той же топкой и котломъ и притомъ такъ, что условія опыта остаются по возможности одинаковыми, чтобы такимъ образомъ имѣть возможно одинаковую потерю тепла, неизбежную при каждой топкѣ. Практически теплотворная способность различныхъ углей выразится тогда только разнымъ числомъ литровъ воды, испаренной одинаковымъ вѣсомъ углей.

При производствѣ такого пробнаго парообразования, конечно, главнымъ образомъ точно опредѣляютъ количество сожженного угля и количество выпаренной воды въ теченіе опредѣленнаго времени, при возможно одинаковомъ пользованіи паромъ и приблизительно одномъ и томъ же давленіи пара въ продолженіе опыта. Необходимо при этомъ взвѣшивать уголь, такъ какъ отмѣриваніе по объему даетъ очень ненадежные результаты.

Передъ началомъ и по окончаніи опыта, продолжающагося отъ 8 до 10 часовъ, въ случаѣ ступенчатой колосниковой рѣшетки засыпку топлива по большей части довольно большую выравниваютъ сверху совершенно гладко.

Количество выпаренной воды опредѣляется измѣреніемъ употребленной питательной воды; при этомъ конечно необходимо, чтобы въ началѣ и въ концѣ опыта вода въ водомѣрномъ стеклѣ котла стояла точно на одной и той же высотѣ. Чтобы легче держать одинаковый уровень, нужно при началѣ опыта отмѣтить высоту воды, наклеивъ на водомѣрное стекло полоску бумаги. Такъ какъ вода въ стеклахъ рѣдко стоитъ совершенно спокойно, то отмѣчаютъ средній уровень. Небольшая ошибка при этомъ неизбежна, хотя при продолжительномъ опытѣ она значительно уменьшается, благодаря большому количеству выпариваемой воды; не вполнѣ одинаковый по временамъ расходъ топлива при долго продолжающемся опытѣ также болѣе приближается къ дѣйствительно среднему. Поэтому опытъ, продолжающійся меньше 8 часовъ, много теряетъ въ точности.

Отмѣриваніе употребляемой питательной воды лучше всего производить при помощи двухъ большихъ стоячихъ цилиндровъ, снабженныхъ указателями уровня воды, для чего на сахарныхъ заводахъ могутъ превосходно служить старые костаные фильтры, изъ которыхъ попеременно одинъ находится въ соединеніи съ питающимъ насосомъ

въ то время, какъ другой наполняется конденсаціонной водой. Проще всего сдѣлать передъ опытомъ въ верхней и нижней части мѣрныхъ цилиндровъ по мѣткѣ и, наполняя или опорожняая цилиндръ, доводить уровень воды какъ разъ до соотвѣтствующей мѣтки; передъ началомъ опыта конечно нужно точно измѣрить взвѣшиваніемъ количество воды, занимающей этотъ опредѣленный объемъ въ цилиндрѣ; остатокъ воды, могущій оказать ся по окончаніи опыта въ одномъ изъ цилиндровъ, также легко опредѣлить. Мѣрные цилиндры слѣдуетъ снабдить термометрами для опредѣленія температуры питательной воды. При приблизительно равномерной температурѣ воды достаточно замѣтить ее незадолго до опорожненія каждаго цилиндра.

Во время опыта не слѣдуетъ чрезмѣрно шуровать, нужно держать только правильный огонь, какъ при обычной работѣ.

При опытѣ дѣлають слѣдующія записи: Черезъ каждые полчаса отмѣчаютъ температуру дымовыхъ газовъ. Опредѣляютъ ее посредствомъ хорошаго пирометра, который опущенъ до  $\frac{1}{2}$  высоты борова, считая сверху. Въ то-же время записываютъ и давленіе въ котлѣ. Кромѣ того отмѣчаютъ также и положеніе шибера и еще чаще силу тяги, которую держать по возможности равномерною. Наконецъ, при помощи малаго аспиратора отбирають нѣсколько разъ пробы дымовыхъ газовъ, которыя изслѣдуютъ извѣстнымъ образомъ; можно кромѣ

того въ продолженіе всего опыта отобрать большимъ аспираторомъ среднюю пробу топочныхъ газовъ.

Если всѣ данныя записаны правильно, то по окончаніи опыта результаты сопоставляютъ и пересчитываютъ слѣдующимъ образомъ:

П р и м ѣ р ъ.

	Опытъ I.	Опытъ II.
Поверхность нагрѣва .	79,0 кв. м.	79,0 кв. м.
Общая поверхность колосниковъ (ступенчатая рѣш. въ горизонтальной проекціи). . . . .	3,0 кв. м.	3,0 кв. м.
Отношеніе общ. площади колосниковъ къ поверхн. нагрѣва. . . . .	1:26,3	1:26,3
Продолжительность опыта . . . . .	9 ч. 40 м.	9 час. 10 м.
Температура питательной воды, средняя. . . . .	80° Ц.	82° Ц.
Температура газовъ въ боровѣ:		
средняя. . . . .	268° "	241° "
высшая. . . . .	285° "	278° "
низшая. . . . .	252° "	191° "
Давленіе пара (сверхъ атмосфер.) среднее . . . . .	4,05 атм.	3,9 атм.
Давленіе пара, высшее	4,15 "	4,0 "
"                    " низшее	3,8 "	3,8 "

Опытъ I.      Опытъ II.

Положеніе шибера . . . . .	совсѣмъ открытъ	сѣужень																		
Сила тяги передъ шиберомъ въ миллим. водяного столба . . . . .	17 мм.	15 мм.																		
Употреблено питательной воды . . . . .	18003,2 литр.	17621 литр.																		
Сожжено бурога угля . . . . .	8670 кил.	7820 кил.																		
—																				
Анализъ газовъ, взятыхъ въ послѣднемъ дымоходѣ котла	<table border="0"> <tr> <td><math>CO_2</math></td> <td>15,0</td> <td>17,1</td> </tr> <tr> <td><math>O</math></td> <td>4,4</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td><math>CO</math></td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> </tr> </table>	$CO_2$	15,0	17,1	$O$	4,4	2,5	$CO$	0,0	0,0	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>15,0</td> <td>17,1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4,4</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> </tr> </table>		15,0	17,1		4,4	2,5		0,0	0,0
$CO_2$	15,0	17,1																		
$O$	4,4	2,5																		
$CO$	0,0	0,0																		
	15,0	17,1																		
	4,4	2,5																		
	0,0	0,0																		
—																				

Разсчетъ.

Въ 1 ч. выпарено воды . . . . .	1862,4 лит.	1922,0 лит.
„ „ „ сожжено угля . . . . .	897 кил.	853 кил.
„ „ „ „ „		
на 1 кв. м. колосниковъ . . . . .	299 „	284 „
Въ 1 ч. выпарено воды на 1 кв. м. поверхн. нагрѣва . . . . .	23,57 лит.	24,3 лит.
1 килогр. угля выпарилъ воды . . . . .	2,08 „	2,25 „
	въ 80° Ц.	въ 82° Ц.

Объ послѣднія величины, обозначающія испарительную способность угля, должны быть пересчитаны на воду одинаковой температуры, напр. 20° Ц., что соотвѣтствуетъ средней температурѣ холодной питательной воды.

Общее количество теплоты въ парѣ по Реньо:  $\lambda = 606,5 + 0,305 T$ , гдѣ  $T$  обозначаетъ температуру пара при существующемъ абсолютномъ давленіи (показаніе манометра + атмосфера). Изъ этого общаго количества теплоты нужно вычесть еще теплоту питательной воды въ  $20^\circ \text{Ц}$ . Если же котель питали горячей водой температуры  $t$ , то питательная вода прибавила къ общей теплотѣ пара еще количество теплоты, соотвѣтствующее разности температуръ  $t^\circ - 20^\circ$ , которое теперь слѣдуетъ вычесть, чтобы получить только теплоту, сообщенную пару топливомъ, т. е. дѣйствительную испарительную способность его.

Итакъ, количество калорій, переданныхъ котлу топливомъ, выразится слѣдующимъ образомъ:

$$606,5 + 0,305 T - 20 - (t - 20) = 606,5 + 0,305 T - t.$$

Поэтому испарительная способность 1 килогр. угля при горячей питательной водѣ можетъ быть пересчитана на температуру питательной воды въ  $20^\circ \text{Ц}$ . по уравненію

$$(606,5 + 0,305 T - 20) : (606,5 + 0,305 T - t) = W : \lambda,$$

гдѣ  $W$  обозначаетъ опредѣленную опытомъ испарительную способность.

Отсюда получается:

для опыта I  $T = 152,5^\circ$ ,  $t = 80^\circ$ ,  $\lambda = 1,85$  литр. въ  $20^\circ \text{Ц}$ .

" " II  $T = 151,5^\circ$ ,  $t = 82^\circ$ ,  $\lambda = 1,99$  литр. въ  $20^\circ \text{Ц}$ .

Итакъ, 1 килогр. угля выпарилъ воды въ  $20^\circ \text{Ц}$ . въ опытѣ I = 1,85 литр., а въ опытѣ II = 1,99 литр.

Испытуемый уголь былъ очень низкаго качества. Для землистаго бурога угля средняго качества при

сжиганіи на ступенчатой рѣшѣткѣ подѣ котломъ съ дымогарными трубами испарительная способность составляетъ въ среднемъ отъ 2,5 до 2,7 литр. воды на 1 килограммъ угля. Для каменнаго угля при котлѣ той же системы испарительная способность составляетъ отъ 7 до 7 $\frac{1}{2}$  литр. воды на 1 кил. угля.

Въ приведенномъ примѣрѣ условія работы котла нормальныя, такъ какъ котель съ дымогарными трубами и ступенчатой рѣшѣткой долженъ выпарить въ 1 часъ съ 1 квадр. метр. поверхности нагрѣва 20 — 25 литр. воды. Несмотря на то, что при обоихъ опытахъ употреблялся одинъ и тотъ же сортъ угля, въ первомъ опытѣ испарительная способность получилась меньше, чѣмъ во второмъ. Результаты анализа топочныхъ газовъ и запись температуры ихъ показываютъ, что первый опытъ велся при болѣе сильной тягѣ, такъ какъ отходящія газы содержали меньше углекислоты и имѣли болѣе высокую температуру.

Если при работѣ на томъ-же котлѣ нужно выпарить въ часъ съ 1 кв. метра поверхности нагрѣва гораздо больше 25 литр. воды, чтобы удовлетворить потребность въ парѣ, то при томъ же сортѣ топлива этого можно достигнуть только усиливъ тягу, а, значить, и повысивъ температуру отходящихъ газовъ, причѣмъ будетъ больше сгорать угля и больше выпариваться воды, но зато уменьшится паропроизводительность на килограммъ угля и работа будетъ менѣе экономична. Поэтому въ та-

комъ случаѣ рациональнѣе увеличить поверхность нагрѣва, т. е. поставить больше котловъ.

Изъ этихъ опытовъ совершенно ясно видно, что техникъ, слѣдящій за работой котловъ, для достиженія возможно бѣльшаго сбереженія топлива, долженъ наблюдать за составомъ топочныхъ газовъ, производя ихъ анализъ, наблюдать ихъ температуру по пирометру, тягу—посредствомъ тягометра, а также и изслѣдовать уголь, какъ калориметрически, такъ и опытнымъ путемъ.

## XXII.

Сопоставленіе анализовъ различныхъ горючихъ матеріаловъ.

ТАБЛИЦА XI.

	Процентный составъ.							Калорія <sup>1)</sup>
	H <sub>2</sub> O	C	H	S	O	N	Зола	
Землистые бурые угли.								
Копи Robert bei Wanzleben . . . .	47,47	34,38	3,53	1,45	7,88	0,20	5,09	3276
Копи Georg bei Aschersleben. . . .	47,96	32,39	3,17	1,72	7,81	0,22	6,73	3014
Копи Archibald bei Schneidlingen . . .	48,05	32,54	2,85	1,59	8,90	0,31	5,76	2892
Копи Friedrich Christian . . . . .	45,93	33,98	3,21	1,45	9,10	0,26	6,07	3113

<sup>1)</sup> Теплотворная способность всѣхъ матеріаловъ опредѣлена по формулѣ.

	Процентный составъ.							Калори.
	H <sub>2</sub> O	C	H	S	O	N	Зола	
<b>Землистые бурые угли.</b>								
Копи konsol. Ge- org, Königsau. . . .	47,77	31,99	2,97	1,67	9,00	0,26	6,34	2880
Копи Concordia, Nachterstedt. . . .	44,92	34,32	2,83	0,75	11,93	0,30	4,95	2918
Braunkohlenwerk Edderitz. . . . .	47,31	33,04	2,76	0,73	10,43	0,28	5,45	2834
Braunkohlenwerk Frose. . . . .	46,70	33,01	3,05	1,33	10,65	0,27	4,99	2926
Braunkohlenwerk Preisslitz. . . . .	47,39	31,48	2,61	1,38	11,06	0,28	5,80	2657
<b>Тѣ-же угли, пересчитанные на 50% содержанія воды:</b>								
Копи Robert bei Wanzleben. . . . .	50,00	32,72	3,35	1,38	7,52	0,19	44,8	3083
Копи Georg bei Aschersleben. . . .	50,00	31,12	3,05	1,65	7,50	0,21	6,47	2874
Копи Archibald bei Scheidlingen. .	50,00	31,32	2,74	1,53	8,59	0,28	5,51	2759
Копи Friedrich Christian. . . . .	50,00	31,42	2,97	1,34	8,42	0,24	5,61	2835
Копи konsol. Ge- org, Königsau. . . .	50,00	30,62	2,84	1,59	8,60	0,24	6,11	2733
Копи Concordia, Nachterstedt. . . .	50,00	31,15	2,57	0,67	10,85	0,27	4,49	2591
Braunkohlenwerk Edderitz. . . . .	50,00	31,35	2,62	0,69	9,91	0,25	5,18	2657
Braunkohlenwerk Frose. . . . .	50,00	30,97	2,86	1,25	9,99	0,25	4,68	2707
Braunkohlenwerk Preisslitz. . . . .	50,00	29,92	2,49	1,31	10,50	0,27	1,55	2498

	Процентный составъ.							Калорин.
	H <sub>2</sub> O	C	N	S	O	N	Зола.	
<b>Бурые угли.</b>								
Uslar . . . . .	50,12	30,04	2,10	1,12	14,8	0,76	1,06	2230
Hangelsberg bei Berlin . . . . .	49,89	31,71	2,09	0,60	10,05	0,62	4,04	2525
Bauersberg, свѣт- лый лигнитъ . . . .	10,74	60,44	5,30	0,86	22,01	следы	0,65	5592
Antonstolln, Bayern	22,40	34,80	3,00	3,80	20,70	2,40	12,90	2898
Antonstolln, спе- кающийся уголь . .	3,00	72,45	3,80	1,50	13,73	—	5,55	6491
Roth, Bayern . . .	23,50	39,10	2,75	6,5	8,25	0,90	19,00	3969
<b>Богемскіе бурые угли.</b>								
Brüxer Kohle . . .	26,43	50,09	3,44	*	15,73	0,29	4,02	4325
Brüxer Viktoria- Schacht . . . . .	28,06	48,63	3,54	*	13,01	0,95	5,81	4321
Brüxer Julius- Schacht Nuss . . . .	30,40	49,63	3,97	*	11,51	0,85	3,64	4566
Brüxer Humboldt- Schacht . . . . .	29,59	49,53	3,79	*	12,41	0,97	3,71	4480
Dux, Mariens- chacht . . . . .	25,74	51,45	3,81	*	11,42	0,93	6,65	4698
Dux, Bruch . . . .	23,63	50,45	3,91	*	16,90	0,65	4,46	4463
Osseg, Nelson- Schacht . . . . .	24,68	51,89	3,82	*	13,88	0,88	4,85	4657
Osseg, Nelson- Schacht . . . . .	10,01	65,77	5,02	0,66	15,54	*	3,00	6177

\* Звѣздочка обозначаетъ, что соответствующая составная часть не опредѣлялась при анализѣ и считается вмѣстѣ съ кислородомъ.

	Процентный составъ.							Калори.
	H <sub>2</sub> O	C	H	S	O	N	Зола	
Ранкраз. . . . .	7,58	67,21	3,77	*	10,01	0,26	11,17	6129
Пилсен-Приесен-Комотав. . . . .	29,14	46,48	3,41	*	14,21	0,22	6,54	4063
<b>Нѣмецкіе каменные угли.</b>								
Кönigshütte, Oberschlesien. . . . .	8,82	70,38	4,07	*	11,85	0,59	4,29	6077
Кönigshütte, Förderkohle. . . . .	4,23	60,27	3,27	1,22	10,72	0,68	20,83	5447
Кönigshütte, Nusskohle . . . . .	5,56	73,36	4,32	0,41	10,22	1,10	5,44	6800
Hermenegilde, Niederschlesien. . . . .	2,60	71,02	4,17	*	11,46	0,18	10,57	6532
Waldenburg, Schlesien, Nusskohle . . . . .	2,15	75,28	4,27	0,90	8,98	0,93	8,39	7021
Plutoschacht, Ruhrkohle. . . . .	1,66	81,75	5,11	1,04	9,09	*	1,35	7792
Unser Fritz I, Ruhrkohle. . . . .	—	76,36	4,39	1,42	8,15	1,69	8,05	7198
Unser Fritz II, Ruhrkohle. . . . .	—	83,15	4,84	0,42	8,74	1,32	1,53	7833
Maybach, Flötz II, Saarkohle. . . . .	1,60	79,67	5,21	0,70	8,37	*	4,45	7668
Duttweiler, Saarkohle. . . . .	—	83,63	5,19	—	9,06	0,60	1,52	7951
Deister. . . . .	—	67,41	4,37	2,34	8,28	1,36	16,24	6478

	Процентный составъ.							Калорин.
	H <sub>2</sub> O	C	H	S	O	N	Зола	
<b>Богемскіе каменные угли.</b>								
Kladno, крупный уголь. . . . .	8,98	60,77	3,33	*	8,74	0,88	17,30	5514
Kladno мелкій уголь. . . . .	12,78	57,98	3,54	*	9,81	0,89	15,00	5285
Pilsen, Austriaschacht. . . . .	7,06	64,66	3,98	*	9,47	0,76	14,07	6001
Schatzler, Nusskohle . . . . .	4,35	71,71	4,38	*	10,16	0,82	8,58	6678
<b>Моравскіе каменные угли.</b>								
Ostrauer, Concordia. . . . .	4,20	72,99	4,45	*	8,93	1,10	8,33	6849
Ostrauer, Erzherzog Albrecht. . . . .	3,22	74,21	4,19	*	9,82	0,33	8,23	6847
Ostrauer, Wilczek. . . . .	2,91	77,06	4,50	*	11,22	0,19	4,12	7123
Rossitz. . . . .	1,38	73,62	4,21	*	6,22	0,92	13,65	6946
Rossitz Ferdinand. . . . .	1,07	64,85	3,54	*	5,96	0,68	23,90	6053
Rossitz Julius-schacht. . . . .	3,09	72,01	4,09	*	10,57	0,16	10,08	6618
<b>Антрацитъ.</b>								
Piesberg bei Os-nabrück, Hasestollen, мягкій. . . . .	3,87	86,92	1,83	2,08	1,66		3,73	7539

	Процентный составъ.							Калоріи.
	H <sub>2</sub> O	C	H	S	O	N	Зола.	
Piesberg bei Os- nabrück, Hasestollen, твёрдый. . . . .	3,44	84,95	1,90	3,72	0,59	—	5,40	7484
Piesberg bei Os- nabrück, Hasestollen, Förderkohle. . . . .	3,45	71,65	1,56	6,09	0,93	—	16,32	6353
W a l e s (Англія). Timber Flötz. . . . .	—	93,00	3,08	0,68	1,67	0,54	1,03	8382

	Процентный составъ.						Калоріи.
	C	H	O	N	H <sub>2</sub> O	Зола	
<b>Различные дрова (со- вершенно сухія) и торфъ.</b>							
Дубовыя дрова. . . . .	50,16	6,02	43,45	*	—	0,37	4184
Буковыя дрова. . . . .	49,06	6,11	44,17	0,09	—	0,57	4096
Ясневые дрова. . . . .	49,18	6,27	43,98	*	—	0,57	4159
Березовыя дрова. . . . .	48,88	6,06	44,67	0,10	—	0,29	4050
Еловыя дрова. . . . .	50,36	5,92	43,39	0,05	—	0,28	4174
Пихтовыя дрова. . . . .	50,31	6,20	43,08	0,04	—	0,37	4261
Торфъ . . . . .	44,29	4,57	29,20	*	21,06	0,88	3728
<b>Жидкіе горючіе ма- теріалы.</b>							
Американская сы- рая нефть. . . . .	83,01	13,89	3,10	—	—	—	10557

	Процентный составъ.						Калоріи.
	C	H	O	N	H <sub>2</sub> O	Зола.	
Американскій керосинъ . . . . .	85,49	14,22	0,29	—	—	—	10949
Кавказскій керосинъ . . . . .	84,91	11,63	3,46	—	—	—	10042
Американскій бензинъ . . . . .	80,58	15,10	4,32	—	—	—	10670
Алкоголь абсолютный . . . . .	52,17	13,05	34,78	—	—	—	6697
Алкоголь въ 90% по Траллесу . . . . .	44,74	11,18	29,82	—	14,25	—	5829
<b>Газообразные горючіе матеріалы.</b>							
Окись углерода . . . . .	42,86	—	57,14	—	—	—	2403
Ацетиленъ . . . . .	92,31	7,69	—	—	—	—	9615
Свѣтильный газъ <sup>1)</sup>	56,71	19,18	19,55	4,56	—	—	9391

<sup>1)</sup> Приведенный здѣсь процентный составъ свѣтильнаго газа вычисленъ на основаніи слѣдующаго объемнаго анализа Буизена:

1 куб. метръ свѣтильнаго газа содержитъ:		Отсюда вычислено:	
Составныя части.	Въ литрахъ.	Всѣ въ килограммахъ.	Калоріи.
Этиленъ . . . . .	25,5	0,0319204	360,48
Пропиленъ . . . . .	12,1	0,0227200	253,44
Пары бензола . . . . .	13,3	0,0463589	447,36
Водородъ . . . . .	462,0	0,0413860	1191,92

П р и л о ж е н і я.

I.

Результатъ всякаго анализа только тогда заслуживаетъ большаго или меньшаго довѣрія, когда, опредѣливъ процентное содержаніе *всѣхъ* составныхъ частей изслѣдуемаго вещества, мы получимъ въ суммѣ число близкое къ 100. Имѣя въ виду это обстоятельство, нельзя не согласиться, что въ методахъ газоваго анализа до сихъ поръ былъ серъ-

Составныя части.	Въ лит-рахъ.	Всѣ въ ккал-лограммахъ.	Калорій.
Метанъ. . . . .	340,2	0,2434097	2919,94
Окись углерода. . . . .	88,2	0,1111181	267,02
Углекислота. . . . .	30,1	0,0591865	0,00
Азотъ . . . . .	21,5	0,0269874	0,00
Кислородъ . . . . .	6,5	0,0092520	0,00
Сумма . . .	1000,0	0,5923822	5440,16
	и л и	1,000	= 9183,00

Отсюда видно, что теплотворная способность газа, полученная сложениемъ теплотъ горѣнія отдѣльныхъ составныхъ частей его, очень мало отличается (на 2 $\frac{1}{4}$ %) отъ полученной по формулѣ на основаніи элементарнаго анализа.

езный пробѣлъ— не было способа опредѣленія азота. За азотъ обыкновенно принимаютъ неподдающійся непосредственному опредѣленію остатокъ, получающійся послѣ обработки газовыхъ смѣсей различными растворителями и послѣдующаго сжиганія ихъ. Конечно, въ этомъ остаткѣ концентрируются погрѣшности всѣхъ отдѣльныхъ опредѣленій, не говоря уже о томъ, что кромѣ азота въ немъ могутъ содержаться еще и другіе инертные газы.

Принимая во вниманіе все сказанное, я нахожу не лишнимъ присоединить къ переводу этой книги краткое описаніе метода опредѣленія азота въ газовыхъ смѣсяхъ, предложеннаго проф. А. П. Лидовымъ<sup>1)</sup>.

### **Опредѣленіе азота въ газовыхъ смѣсяхъ по способу проф. А. П. Лидова.**

Этотъ методъ основанъ на способности металлическаго магнія, не измѣняющагося на воздухъ при обыкновенной температурѣ, поглощать при нагреваніи азотъ, образуя азотистый магній, который при обработкѣ водой легко разлагается съ образованіемъ амміака и окиси магнія.

Для поглощенія азота всего удобнѣе употреблять смѣсь магнія въ порошокъ и жженой извести, причѣмъ магній предварительно нѣсколько разъ промывается химически чистымъ сѣрнымъ эфиромъ,

---

<sup>1)</sup> См. «Технический Сборн. и Вѣстникъ Промышленн.» 1902 г. № 1, а также: «А. П. Лидовъ. Введеніе въ химическую технологию» стр. 130.

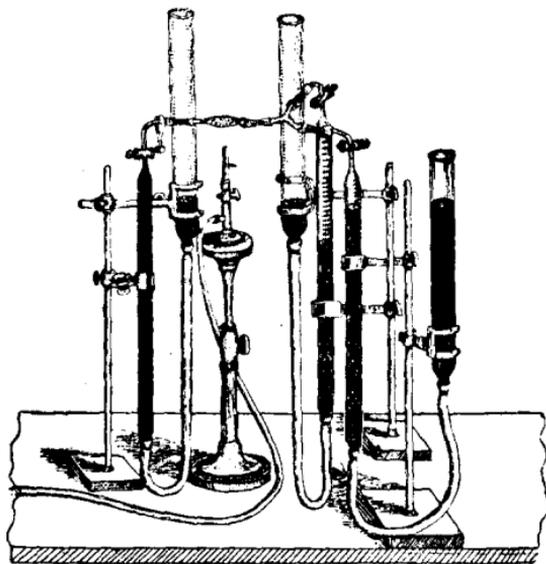
затѣмъ высушивается въ чашкѣ на воздухѣ, сперва для удаленія эфира при очень слабомъ нагреваніи, а подѣ конецъ до  $200 - 225^{\circ}\text{C}$ . А известь передъ употребленіемъ въ дѣло прокаливается при возможно высокой температурѣ въ струѣ сухого химически чистаго водорода въ трубкѣ для элементарнаго анализа, чтобы удалить незначительныя количества содержащейся въ ней воды и углекислоты. Эта операція прокаливанія извести должна быть выполнена возможно тщательнѣе, такъ какъ присутствіе воды въ сколько нибудь значительныхъ количествахъ при прокаливаніи смѣси извести съ магніемъ обуславливаетъ образованіе большихъ количествъ водорода, а присутствіе углекислоты вызываетъ образованіе ціанистыхъ соединеній, причемъ неизбѣжно происходитъ потеря азота, такъ какъ ціанистыя соединенія не разлагаются при кипяченіи съ водою.

Смѣшиваютъ 3 — 4 части жженой извести съ 1 частью магнезіальной пыли и этой смѣсью заполняютъ небольшія трубочки изъ тугоплавкаго стекла съ расширеніемъ по срединѣ (емкостью въ  $1\frac{1}{2}$ , — 2 куб. см.); по концамъ ихъ дѣлаютъ напльвы для болѣе плотнаго соединенія съ каучукомъ. Помѣщенная въ трубочку смѣсь внутри съ обѣихъ сторонъ закрывается прокаленнымъ предварительнo азбестомъ.

Приборъ, которымъ пользуются для изслѣдованія, состоитъ изъ трехъ газовыхъ бюретокъ (фиг. 31), снабженныхъ наверху кранами, наполненныхъ су-

хой перегнанной ртутью и соединенныхъ съ напорными трубками.

Въ одну изъ бюретокъ на правой сторонѣ, напр. въ крайнюю, засасываютъ 50 куб. см. изслѣдуемаго газа, предварительно тщательно просушеннаго въ газовомъ эксикаторѣ надъ сѣрной кислото-



Фиг. 31.

той. Лѣвую бюретку соединяють съ горизонтальной трубкой, наполненной поглотительной смѣсью, и при помощи соединенной съ бюреткой напорной трубки вымываютъ воздухъ изъ этой трубки повторнымъ наполненіемъ бюретки химически чистымъ водородомъ. Если имѣется въ распоряженіи хорошій воздушный насосъ, то передъ промывкой

водородомъ полезно выкачать изъ трубочки воздухъ и уже затѣмъ оставшіеся слѣды воздуха вымыть водородомъ<sup>1)</sup>). Послѣ 2—3 промывокъ въ лѣвую бюретку засасываютъ еще 10—15 куб. см. водорода и соединяютъ горизонтальную трубочку при помощи стеклянной тройчатки съ обѣими бюретками на правой сторонѣ и перепускаютъ водородъ изъ лѣвой въ среднюю. Затѣмъ при открытомъ кранѣ у лѣвой бюретки и закрытыхъ кранахъ у двухъ другихъ начинаютъ накаливать трубочку съ поглотительной смѣсью. При этомъ вслѣдствіе содержанія небольшого количества воды выдѣляется изъ массы немного водорода, который впрочемъ быстро поглощается смѣсью при дальнѣйшемъ накаливаніи. Когда трубочка раскалится до красна, открываютъ кранъ у правой бюретки съ изслѣдуемымъ газомъ. Накаленная масса даже при нѣкоторомъ разрѣженіи быстро, въ теченіе 2—4 минутъ поглощаетъ азотъ. Затѣмъ промываютъ капилляры водородомъ, находившимся въ средней бюреткѣ, и продолжаютъ накаливаніе, чтобы поглотить водородъ и оставшееся въ капиллярахъ небольшое количество азота. По охлажденіи срѣзаютъ каучуки, отрѣзаютъ стеклянные концы трубочки съ каучукомъ, надбиваютъ ее молоткомъ на листѣ бумаги и вбрасываютъ въ обыкновенную пе-

---

<sup>1)</sup> При пользованіи насосомъ результаты получаются значительно болѣе точные, такъ какъ такимъ образомъ удаляется изъ трубочки и окклюдированный воздухъ.

регонную колбу, употребляемую для опредѣленія азота по Кьельдалю, въ которую налито около 125 куб. см. слабого раствора ѣдкаго кали. Колбу соединяють съ холодильникомъ и аллонжей, опущенной въ колбочку съ опредѣленнымъ объемомъ титрованной сѣрной кислоты. Перегонку, при осторожномъ подогреваніи колбы, продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока въ приѣмную колбу не перейдетъ около 100 куб. см. погона.

Перегонъ титруютъ щелочью, употребляя, какъ индикаторъ, лакмусъ, и опредѣляютъ такимъ образомъ количество выдѣлившагося амміака; отсюда вычисляютъ и количество поглощенного азота.

## II.

### Калориметръ Парра <sup>1)</sup>.

Калориметры, въ которыхъ топливо сжигается въ кислородъ подъ давленіемъ въ нѣсколько атмосферъ, являясь превосходными приборами для точнаго опредѣленія теплотворной способности, мало пригодны для небольшихъ заводскихъ лабораторій, вслѣдствіе значительной стоимости ихъ, а также и хлопотливости опредѣленій, требующихъ значительнаго навыка. Калориметры подобные прибору Фишера, конструированному для сжиганія угля въ струѣ кислорода, непрерывно протекающей черезъ аппаратъ во время опредѣленія, не удовлетворяютъ

<sup>1)</sup> Подробнѣе см.: Lunge—„Zeitschr. f. angew. Chemie“ 1901 г., Heft 32, S. 793.

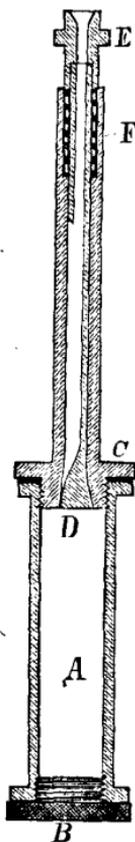
болѣе или менѣе серьезнымъ требованіямъ, ибо, во-первыхъ, даютъ очень неточные результаты, зависящіе главнымъ образомъ отъ ловкости экспериментатора, во-вторыхъ, все-таки дѣлаютъ необходимымъ примѣненіе бомбы съ сгущеннымъ кислородомъ, что часто — очень неудобно, хотя и практичнѣе и дешевле, чѣмъ добываніе кислорода въ лабораторіи.

Недавно появившійся въ Англіи калориметръ Парра является превосходнымъ приборомъ для техническихъ цѣлей, ибо при небольшой стоимости (около 300 марокъ въ Германіи) даетъ вполне удовлетворительные результаты, а опредѣленія при помощи него производятся сравнительно просто, не требуя особеннаго навыка. Топливо сжигается здѣсь въ присутствіи перекиси натрія.

Наиболѣе существенную часть прибора Парра составляетъ цилиндръ *A* (фиг. 32), съ отвинчивающимися массивнымъ дномъ *B* и крышкой *C*, на которой находится трубка съ подвижной головкой *E*. При нажатіи на головку *E* конусъ *D* опускается и открываетъ сообщеніе между трубкою и внутренностью цилиндра. Обыкновенно коническая пробка *D* плотно прижимается къ крышкѣ дѣйствіемъ спиральной пружины *F*.

Средняя проба испытуемаго воздушно-сухого угля тщательно измельчается въ ступкѣ въ мелкій порошокъ. Отвѣшиваютъ *точно 0,5 гр.* измельченнаго угля на часовое стекло и помѣщаютъ въ

воздушную баню, гдѣ и сушатъ при температурѣ 105—110° Ц. по крайней мѣрѣ въ теченіе 45 минутъ. Когда уголь просушенъ, берутъ патронъ А (фиг. 32), плотно привертываютъ дно В, а крышку С снимаютъ; ставятъ цилиндръ на листъ бѣлой бумаги и пересыпаютъ въ него со стекла при помощи маленькой кисточки взвѣшенную и просушенную пробу угля. Частички угля, случайно упавшія на бумагу, тоже сметаются кисточкой въ патронъ. Затѣмъ въ цилиндръ всыпаютъ еще 8.5—9 гр. порошка „Chemical“, состоящаго изъ перекиси нитрія съ примѣсью еще нѣкоторыхъ веществъ, способствующихъ полному сгоранію угля. „Chemical“ не отвѣшиваютъ, а отмѣриваютъ посредствомъ прилагаемой къ прибору мѣрки, ибо большая точность здѣсь не нужна. Операцию отмѣриванія и пересыпанія „Chemical“ нужно производить возможно быстрѣе, чтобы порошокъ не успѣлъ поглотить влагу изъ воздуха. Плотно завинтивъ крышку С, хорошенько перемѣшиваютъ содержимое патрона, встряхивая его, причемъ придерживаютъ пальцемъ головку Е, чтобы быть увѣреннымъ, что пробка D (фиг. 32) со-

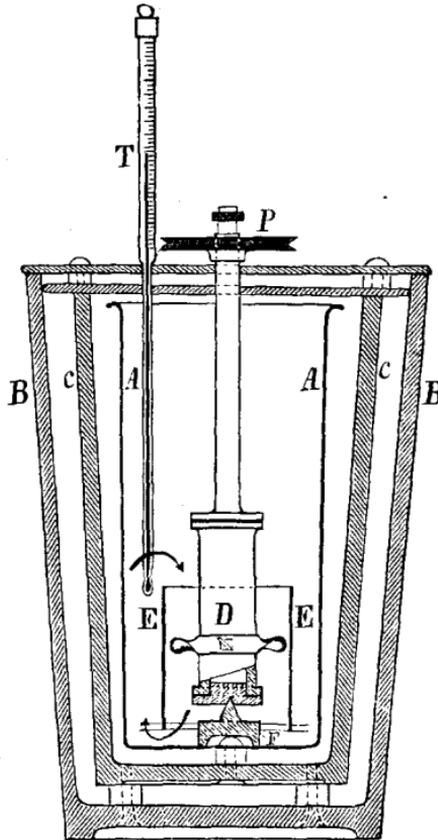


Фиг. 32.

вершено плотно закрывает внутренность цилиндра *A*. Перемишавъ содержимое патрона, ставятъ его на столъ и нѣсколько разъ ударяють дномъ о крышку стола, чтобы смѣсь угля и порошка „Chemical“ осѣла въ нижнюю часть цилиндра *A*, а верхняя часть освободилась бы отъ приставшихъ къ стѣнкамъ частичекъ смѣси. Теперь патронъ совершенно готовъ къ употребленію. Къ нему привинчиваютъ крылышки *D* (фиг. 33) и помещаютъ въ водяной калориметръ, внутренній цилиндръ котораго *A* наполняется предварительно дистиллированной водой, для чего отмѣриваютъ ровно 2 литра воды съ температурою приблизительно на  $1^{\circ}$  Ц. ниже температуры помещенія. Помѣстивъ патронъ въ калориметръ, закрываютъ послѣдній крышкой, вставляютъ термометръ и надѣваютъ на трубку патрона дискъ *P*, который соединяють посредствомъ прочнаго шнура съ небольшимъ моторомъ или турбиной. Патронъ служитъ здѣсь и мѣшалкой, причемъ онъ долженъ дѣлать не болѣе 50—100 оборотовъ въ минуту.

Когда приборъ совершенно готовъ, пускаютъ въ ходъ мѣшалку, наблюдая за термометромъ; черезъ 2—3 минуты записываютъ установившуюся температуру. Затѣмъ берутъ тонкую мѣдную проволоку въ 1 сант. длиною, накаливаютъ ее до красна на пламени бунзеновской горѣлки, бросаютъ въ верхнее отверстіе трубочки патрона и быстрымъ нажатіемъ головки патрона заставляютъ упасть раскаленную проволоку внутрь патрона и зажечь на-

ходящуюся тамъ смѣсь. Быстрое поднятіе ртути въ термометръ показываетъ, что горѣніе идетъ. Наивысшее показаніе термометра записываютъ.



Фиг. 33.

Для вычисленія теплотворной способности испытуемаго угля поступаютъ слѣдующимъ образомъ: изъ наблюдаемаго повышенія температуры вычи-

таютъ 0,009°Ц. (это повышение вызвано введеніемъ раскаленной проволоки); результатъ представляетъ дѣйствительное повышение температуры „ $r$ “, соответствующее реакціи, происшедшей въ патронѣ. Умноживъ „ $r$ “ на 3100, получаютъ теплоту горѣнія угля въ килограммъ-калоріяхъ.

Число 3100 получается слѣдующимъ образомъ: водяное число калориметра, т. е. число калорій, поглощаемыхъ въ суммѣ всѣмъ калориметромъ при повышеніи температуры на 1° Ц. = 123,5; вода (2 литра) поглощаетъ 2000 калорій на 1°; въ суммѣ это составитъ 2123,5 калорій. Но нужно принять во вниманіе, что въ среднемъ только 73% выдѣлившейся теплоты вызваны собственно горѣніемъ угля, остальные 27% теплоты выдѣлились благодаря реакціи углекислоты и воды съ перекисью натрія. Если мы примемъ во вниманіе еще то обстоятельство, что для опредѣленія взяли 0,5 гр. угля, а расчетъ ведемъ на 1 гр., то получимъ:

$$0,73 \times 2123,5 \times 2 \times r = 3100 \times r.$$

Слѣдуетъ замѣтить, что съ „Chemical“ нужно обращаться возможно осторожно, ибо при соприкосновеніи съ органическими веществами, особенно во влажномъ состояніи, перекись натрія можетъ вызвать воспламененіе.

М. Кузнецовъ.

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ.

	<i>Стр.</i>
Предисловіе къ первому изданію . . . . .	1
Предисловіе ко второму изданію . . . . .	—
Введеніе . . . . .	3
Глава I.	
<b>Взятіе пробы и отміриваніе газовой смѣси . . . . .</b>	<b>7</b>
Измѣрительная трубка или собственно бюретка. — Уравнительная или напорная трубка. — Наполненіе бюретки изслѣдуемымъ газомъ. — Отміриваніе объема газа при атмосферномъ давленіи . . . . .	8—11
Глава II.	
<b>О поглотителяхъ и поглотительныхъ пипеткахъ . . . . .</b>	<b>14</b>
Допустимая поглотительная способность и продолжительность пользованія реактивомъ. — Порядокъ опредѣленія различныхъ газовъ . . . . .	15—17
Глава III.	
<b>Пипетки для углекислоты. . . . .</b>	<b>19</b>
Простая поглотительная пипетка. — Наполненіе пипетки. — Приготовленіе раствора ѣдкаго кали. — Поглотительная способность раствора ѣдкаго кали. — Употребленіе пипетки. — Точность опредѣленія углекислоты . . . . .	19—26
Глава IV.	
<b>Пипетка для поглощенія кислорода съ фосфоромъ. . . . .</b>	<b>26</b>
Форма простой пипетки для твердыхъ реагентовъ . . . . .	27
Глава V.	
<b>Пипетка для поглощенія окиси углерода съ растворомъ хлористой мѣди . . . . .</b>	<b>31</b>

Сложная поглотительная пипетка.—Приготовление солянокислаго раствора хлористой мѣди.—Приготовление аммиачнаго раствора хлористой мѣди.—Поглотительная способность раствора хлористой мѣди.—Увеличение объема газа послѣ опредѣленія окиси углерода . . . . .	31—38
--	-------

## Глава VI.

Пипетка для тяжелыхъ углеводовъ съ дымящей сѣрной кислотой . . . . .	40
Поглотительная способность дымящей сѣрной кислоты.—Порядокъ употребленія различныхъ пипетокъ . . . . .	41—42

## Глава VII.

Пипетка для кислорода съ растворомъ пирогалловой кислоты . . . . .	42
Приготовление нужнаго раствора.—Поглотительная способность раствора . . . . .	43

## Глава VIII.

Взятіе пробы топочныхъ газовъ . . . . .	44
Малый аспираторъ съ стеклянными сосудами.—Устройство для удаленія нечистыхъ газовъ изъ стклянокъ безъ обратнаго вытѣсненія ихъ въ боровъ по Фетбаку.—Устройство для той же цѣли по Розенгейму . . . . .	45—49

## Глава IX.

Взятіе пробы сатураціоннаго газа изъ сосущей трубы газоваго насоса и изъ известковой печи . . . . .	51
Опредѣленіе причинъ слишкомъ высокаго содержанія кислорода въ сатураціонномъ газѣ.—Примѣсъ водорода въ сатураціонномъ газѣ.—Анализы сатураціоннаго газа . . . . .	54—55

## Глава X.

Контроль работы известковой печи на основании калориметрическаго и химическаго изслѣдованія выжженной извести . . . . . 55

Калориметръ Штипеля для опредѣленія свободной окиси кальція, способной гаситься.—Методъ Шейблеръ-Зейффарта.—Методъ Кёнига.—Методъ Фрюлинга и Шульца.—Сравненіе результатовъ всѣхъ этихъ методовъ. . . . . 57—63

## Глава XI.

Аспираторы для продолжительнаго набиранія топочныхъ газовъ . . . . . 64

Большой аспираторъ.—Всасывающій проводъ отъ аспиратора къ дымоходу.—Аспираторы съ неподвижно соединенными сосущимъ и нагнетающимъ сосудами.—Устройство аспиратора по Дравэ.—Двойной аспираторъ Роберта Мюнке.—Аспираторъ-газометръ.—Собиратель топочнаго газа Риддера.—Аппараты для непрерывнаго показанія содержанія углекислоты въ топочныхъ газахъ.—Газовые вѣсы Люкса.—Дазиметръ Зиггера и Дюра.—Эконометръ Арндта.—Непрерывный анализаторъ топочныхъ газовъ Крелля.—Упрощенный анализаторъ топочныхъ газовъ Шульца.—Насасываніе топочныхъ газовъ помощію воздушнаго насоса.—Автоматическое опредѣленіе и записываніе содержанія углекислоты въ топочныхъ газахъ аппаратомъ Адось. . . . . 66—89

## Глава XII.

О составѣ топочныхъ газовъ и о зависимости между содержаніемъ углекислоты и температурой ихъ . . . . . 95

Соотношеніе между объемнымъ газовымъ анализомъ надъ водою и процентнымъ содержаніемъ сухихъ топочныхъ газовъ.—Нормальное содержаніе углекислоты въ топочныхъ газахъ при топкѣ бурымъ углемъ.—Тоже при топкѣ каменнымъ углемъ.—Начальная температура топочныхъ газовъ при полугазовомъ отопленіи.—Примѣръ притока такъ называемаго посторонняго воздуха къ топочнымъ газамъ.—Анализы газовъ изъ бора при топкѣ бурымъ углемъ.—Анализы топочныхъ газовъ при топкѣ каменнымъ углемъ.—Разсчетъ избытка воздуха по анализу топочныхъ газовъ.—Теоретическое сжиганіе.—Наибольшее содержаніе углекислоты при различныхъ горючихъ матеріалахъ.—Измѣреніе силы тяги.—Различные тягомѣры . . . . . 97—109

### Глава XIII.

**Дымовая труба и ея дѣйствіе въ связи съ топкою.** 111

Сила тяги дымовой трубы.—Полезная высота дымовой трубы.—Главные сопротивленія подниманію газовъ въ дымовой трубѣ.—Необходимая скорость истеченія газовъ изъ дымовой трубы.—Приблизительное верхнее поперечное сѣченіе въ свѣту, опредѣленное по площади колосниковой рѣшетки.—Приблизительная высота дымовой трубы, опредѣленная по поверхности нагрѣва.—Приблизительный разсчетъ поперечнаго сѣченія дымовой трубы на основаніи количества сжигаемаго топлива.—Приблизительный разсчетъ высоты дымовой трубы на основаніи количества сжигаемаго топлива.—Болѣе точный разсчетъ размѣровъ дымовой тру-

бы и скорости истечения газовъ изъ нея.—  
 Высота, соответствующая сопротивленію  
 при проходѣ воздуха черезъ слой топли-  
 ва.—Средняя скорость движенія газовъ въ  
 дымоходахъ.— Среднее поперечное сѣче-  
 ніе дымоходовъ.—Высота сопротивленія  
 движенію газовъ въ дымоходахъ.—Точное  
 вычисленіе полезной высоты дымовой тру-  
 бы.—Дѣйствительная скорость истечения  
 газовъ изъ трубы.—Общій ходъ расчета  
 при помощи данныхъ формулъ.—Зависи-  
 мость между расходомъ топлива, средней  
 температурой дымовыхъ газовъ, скоростью  
 движенія ихъ и содержаніемъ въ нихъ  
 углекислоты . . . . . 112—126

#### Глава XIV.

**О теплотѣ горѣнія . . . . . 128**

Таблица I. Теплота горѣнія нѣкоторыхъ  
 тѣлъ въ кислородѣ и воздухѣ.—Таблица II.  
 Вѣсовые и объемныя отношенія нѣкто-  
 рыхъ газовъ.—Таблица III. Объемный  
 составъ нѣкоторыхъ газовъ.—Таблица IV.  
 Теплота сгорания 1 куб. мт. горючаго  
 матеріала въ газообразномъ состояніи.—  
 Удѣльная теплота или теплоемкость.—  
 Теплоемкость нѣкоторыхъ жидкихъ и твер-  
 дыхъ тѣлъ.—Таблица V. Теплоемкость  
 нѣкоторыхъ газовъ и паровъ . . . . . 129—136

#### Глава XV.

**Зависимость между содержаніемъ углекислоты  
 въ топочныхъ газахъ и температурой ихъ. 137**

Таблица VI. Теплоемкость сухого топоч-  
 наго газа при различномъ содержаніи  
 углекислоты.—Вычисленіе начальной тем-  
 пературы при сгораніи чистаго углерода  
 по содержанію углекислоты въ продуктахъ  
 горѣнія. . . . . 139

## Глава XVI.

**Вычисленіе начальной температуры горѣнія на основаніи анализа топлива и содержанія углекислоты въ топочномъ газѣ . . . . .** 140

Формула для вычисленія начальной температуры. — Вычисленіе количества введеннаго воздуха при сжиганіи угля опредѣленнаго состава для произвольнаго содержанія углекислоты въ дымовомъ газѣ. — Таблица VII. Зависимость между содержаніемъ углекислоты въ дымовыхъ газахъ и начальной температурой при нѣкоторыхъ горючихъ матеріалахъ. — Средніе составы нѣкоторыхъ горючихъ матеріаловъ. 145—153

## Глава XVII.

**Вычисленіе коэффиціента полезнаго дѣйствія топокъ . . . . .** 154

Использованіе теплоты или полезное дѣйствіе. — Потеря теплоты. — Таблица VIII. Полезное дѣйствіе топокъ, работающих каменнымъ углемъ, вычисленное для различнаго содержанія углекислоты. — Таблица IX. Величины полезнаго дѣйствія при тонкѣ бурымъ углемъ, вычисленные для различнаго содержанія углекислоты. — Потеря теплоты на основаніи практическихъ результатовъ при различномъ содержаніи углекислоты въ дымовыхъ газахъ. 154—160

## Глава XVIII.

**Объ опредѣленіи достоинства топлива на основаніи элементарнаго анализа . . . . .** 161

Формула Дюлонга. — Аналитическая или общая теплотворная способность. — Новая формула. — Взятіе пробы горючихъ матеріаловъ. — Различная теплотворная способность одного и того же бураго угля

при различномъ содержаніи воды. — Необходимость перечисленія данныхъ анализа бурыхъ землистыхъ углей на одинаковое содержаніе воды. — Конституціонная вода въ бурыхъ угляхъ. — Принятые способы опредѣленія содержанія воды въ бурыхъ угляхъ. — Разность теплотворныхъ способностей вслѣдствіе различныхъ данныхъ дважды произведеннаго элементарнаго анализа одного и того же бурога угля. . . . 162—172

### Глава XIX.

**Приблизительная оцѣнка углей посредствомъ пробнаго коксованія . . . . . 174**

Производство пробнаго коксованія при каменномъ углѣ. — То же при бурыхъ угляхъ. — Таблица X. Анализы бурыхъ углей посредствомъ пробнаго коксованія. . . . 175—178

### Глава XX.

**Калориметрическое опредѣленіе теплотворной способности . . . . . 179**

Калориметръ для сжиганія подь давленіемъ. — Бомба для сжиганія Гемпеля. — Прессъ для брикетовъ къ этой бомбѣ. — Пользованіе кислородной бомбой. — Водяной калориметръ. — Поглотительная способность или водяное число калориметра. — Калориметрическая теплота горѣнія. — Поправка найденнаго числа калорій. — Приблизительная компенсація ошибокъ калориметрическаго метода. — Бомба для сжиганія Лангбейна. — Перечисленіе калориметрической теплоты горѣнія на полезную теплотворную способность. — Опредѣленіе образующейся при горѣніи воды посредствомъ элементарнаго анализа. — То же опредѣленіе посредствомъ

маленькой бомбы Гемпеля.—То же определение посредством бомбы Крекера.— Определение образующихся при сжигании серной и азотной кислотъ.— Элементарный анализъ при помощи калориметрической бомбы.— Среднее содержаніе водорода въ образцахъ каменнаго угля.— Примѣръ вычисленія полезной теплотворной способности угля. . . . . 179—198

## Глава XXI.

Опредѣленіе теплотворной способности опытнымъ путемъ непосредственно подъ котломъ. . . . . 200

Производство пробнаго парообразованія.— Записываніе данныхъ и наблюденій.— Вычисленіе результатовъ опыта.— Перечисленіе найденной испарительной способности угля на питательную воду въ 20° Ц. . . . . 200—204

## Глава XXII.

Сопоставленіе анализовъ различныхъ горючихъ матеріаловъ . . . . . 207

Таблица анализовъ землистыхъ бурыхъ углей.— Тоже для разныхъ бурыхъ углей.— Тоже для богемскихъ бурыхъ углей.— Тоже для нѣмецкихъ каменныхъ углей.— Тоже для богемскихъ каменныхъ углей.— Тоже для моравскихъ каменныхъ углей.— Тоже для антрацита.— Тоже для различныхъ дровъ (совершенно сухихъ) и торфа.— Тоже для жидкихъ горючихъ матеріаловъ.— Тоже для газообразныхъ горючихъ матеріаловъ. . . . . 207—213

П р и л о ж е н і я . . . . . 214

I. Определеніе азота въ газовыхъ смѣсяхъ по способу проф. А. П. Лидова . . . . . 215

II. Калориметръ Парра . . . . . 219

ПРОДОЛЖАЕТСЯ подписка на

# РЕМЕСЛЕННУЮ ГАЗЕТУ.

20-й годъ изданія.

Москва, Долгоруковская ул., д. № 71.

ЕЖЕНЕДЕЛЬНОЕ ОБЩЕПОЛЕЗНОЕ ИЗДАНИЕ,

необходимое для техника, ремесленника, кустаря, сельского хозяина, любителя ремесль, для школъ и во всякой семьѣ.

**Р** Въ каждомъ № помѣщаются: совѣты, рецепты, указанія и понятныя описанія новостей по вѣсьмъ ремесламъ и некрупнымъ техническимъ производствамъ со множествомъ рисунковъ и рабочихъ чертежей разныхъ новыхъ издѣлій, инструментовъ, станковъ, машинокъ и всякихъ полезныхъ приспособленій для мастерскихъ и хозяйства, а также обуви и мужскихъ модъ о лучшихъ моделямъ русскимъ и заграничнымъ.

Каждый подписчикъ получить въ теченіе года: а) 50 №№ Рем. Газ., содержащихъ до 1000 статей со множествомъ рисунковъ въ текстъ, б) иллюстрированный настѣнный календарь и в) ДВѢНАДЦАТЬ слѣдующихъ премій-сборниковъ составляющихъ собою точныя снимки съ натуры, сдѣланные въ Россіи и за границей, и т. п. изданій: Сборники рисунковъ мебели, столярныхъ и пр. издѣлій, Сборникъ рисунковъ мягкой мебели, Сборникъ рисунковъ драпировокъ для оконъ, дверей и пр., Сборники рисунковъ желѣзныхъ воротъ, оградъ и пр., Сборникъ плотничныхъ и т. п. работъ—дверей, воротъ, оградъ и пр., а также и др. безплатныя преміи-приложенія къ „Рем. Газ.“.

Каждый подписчикъ найдетъ въ „Ремесл. Газетѣ“ много такихъ указаній, которыя принесутъ ему значительныя выгоды.—

Подписная цѣна со вѣсьми приложеніями: 6 р. въ годъ съ перес. и доставкой, за  $\frac{1}{2}$  года 4 р.

«Ремесленная Газета» рекомендована Минист. Народ. Просвѣщенія.

Редакторъ-Издатель Учен. Инж.-Мех. К. А. Казначеевъ.