

Проф. К. БЛАХЕРЪ и инж.-техн. В. А. ГРОДСКІЙ.



ПРАКТИЧЕСКІЯ ЗАНЯТІЯ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГІИ.

ПОПЫТКА ИХЪ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ
СИСТЕМАТИЗАЦІИ.



Руководство для лабораторныхъ занятій въ высшихъ
и среднихъ техническихъ учебныхъ заведеніяхъ.



Выпускъ I. Технологія теплоты.

(Оттискъ изъ „Вѣстника Химической Технологіи“)



ИЗДАНИЕ Г. ЛЕФФЛЕРА
РИГА. 1912.

Практическія занятія по химической технологіи.

Попытка ихъ педагогической систематизаціи.

Проф. К. К. Блахеръ и инж.-техн. В. А. Гродскій.

ВВЕДЕНІЕ.

Степень промышленно-техническаго развитія страны опредѣляется главнымъ образомъ уровнемъ ея техническаго образованія и технической освѣдомленностью лицъ, участвующихъ въ экономической жизни государства.

Но одного техническаго образованія недостаточно, оно должно быть тѣсно связано съ общей, научной подготовкой. Связывающимъ звеномъ служатъ, такъ наз. прикладныя науки, облегчающія приложеніе законовъ чистой науки въ фабрично-заводской практикѣ. Что непосредственное примѣненіе законовъ чистой науки не такъ-то просто, можно видѣть указавъ хотя бы на тѣ, всѣмъ извѣстныя затрудненія, съ которыми приходится встрѣчаться примѣняя законы математики къ экспериментальнымъ задачамъ по физикѣ.

Дальнѣйшимъ связывающимъ звеномъ между прикладными науками и заводской практикой слѣдуетъ считать практическія занятія по прикладнымъ наукамъ, которыя и должны вестись по вполнѣ опредѣленной программѣ. Значеніе подобныхъ практическихъ занятій еще болѣе подчеркивается тѣмъ обстоятельствомъ, что студентамъ годъ отъ году становится труднѣе получить соответствующую практику на заводахъ.

Такимъ образомъ практическія занятія по химической технологіи—объ этой прикладной наукѣ у насъ будетъ идти рѣчь—должны научить или, точнѣе говоря, заставить студента смотрѣть на всѣ заводскіе процессы, съ которыми ему приходится встрѣчаться, съ научной точки зрѣнія. Эта основная идея и была высказана мной—Блахеромъ какъ на вступительной лекціи, такъ и неоднократно въ специальныхъ техническихъ журналахъ¹⁾. Она же была положена въ педагогическую основу нашей книги „Теплота въ заводскомъ дѣлѣ“ (Изд. Г. Леффлера, Рига 1905 г.) и до настоящаго времени является педагогическимъ началомъ лабораторныхъ занятій, сопровождающихъ курсъ химической технологіи, читаемый въ Рижскомъ Политехническомъ Институтѣ.

Систематическимъ подборомъ соответствующаго матеріала, разбросаннаго по разнымъ отдѣламъ технической литературы мы надѣемся облегчить веденіе подобныхъ практическихъ занятій. Многое, конечно, не будетъ представлять собой чего-либо новаго, но часто легкость и быстрота выполненія самаго опыта зависятъ отъ удачнаго выбора приборовъ,

¹⁾ Die Chem. Industrie 1896 № 20, 1897 № 19; Zeitschr. f. angew. Chemie 1900 № 45.

а экономія во времени весьма важна ввиду обширности программъ нашихъ высшихъ учебныхъ заведеній. По дошедшимъ до насъ свѣдѣніямъ нѣкоторые изъ опытовъ, приведенныхъ въ „Теплотѣ“ выполняются студентами другихъ высш. учебныхъ заведеній, это также даетъ намъ право считать печатаніе этой статьи своевременнымъ.

Въ настоящей статьѣ, которая явится какъ-бы продолженіемъ и пополненіемъ соответствующихъ свѣдѣній, помѣщенныхъ въ „Теплотѣ“, мы опишемъ различные опыты, легко выполнимые въ каждой лабораторіи, помѣстимъ научныя основанія затронутыхъ вопросовъ, коснемся ихъ значенія для фабрично-заводской практики и укажемъ вкратцѣ на аналогичные приборы и аппараты, примѣняемые на заводахъ для выполненія тѣхъ же самыхъ процессовъ въ большомъ масштабѣ. Въ соответствующихъ мѣстахъ будутъ помѣщены ссылки на техническую литературу.

Первая часть статьи будетъ посвящена: теплотѣ и водѣ. Въ слѣдующихъ частяхъ будутъ рассмотрѣны другіе отдѣлы химической технологии: сухая перегонка дерева и газовое производство, а затѣмъ растительныя и минеральныя масла, жиры животнаго происхожденія и нефть.

1. Технологія теплоты.

Общая литература.

- 1) Бунге. Курсъ химической технологии 2 изд. Кіевъ 1905 г.
- 2) Менделѣевъ. Основы фабрично-заводской промышленности С.-Петербургъ 1897 г.
- 3) Любавинъ. Техническая химія. Москва.
- 4) Дементьевъ. Теплота и заводскія печи. Кіевъ 1911 г.
- 5) Блахеръ. Теплота въ заводскомъ дѣлѣ. Рига 1905 г.
- 6) Fischer. Chem. Technologie der Brennstoffe I и II Braunschweig 1897.
- 7) Jüptner. Lehrbuch der Chem. Technologie der Energien. Leipzig u. Wien 1905, 1906.
- 8) Fischer. Taschenbuch für Feuerungstechniker.
- 9) Richards—Кошкинъ. Расчеты по металлургіи часть общая С.-Петербургъ 1909.
- 10) Lunge—Воескманн, Chem.-Techn. Untersuchungsmethoden.

Примѣч. При ссылкахъ на перечисленную литературу будетъ указанъ лишь текущій номеръ.

Всѣ усилія топочной техники должны быть направлены прежде всего на уменьшеніе расхода топлива и на удешевленіе процессовъ превращенія химической энергіи топлива въ другіе виды энергіи: теплоту, механическую энергію, электричество, свѣтъ и т. д.

Отношеніе количества энергіи, использованной при всѣхъ такихъ процессахъ къ количеству энергіи израсходованной при сжиганіи топлива дастъ намъ полезное дѣйствіе данной установки.

Для примѣра опредѣлимъ полезное дѣйствіе лабораторнаго котелка, нагрѣваемого свѣтильнымъ газомъ. Но такъ какъ для этого намъ нужно предварительно узнать количество энергіи, расходуемой при горѣніи газа, то опредѣлимъ сначала такъ наз. теплопроизводительность газа.

Задача 1. Теплопроизводительность свѣтильнаго газа.

Теплопроизводительностью свѣтильнаго газа называютъ то количество большихъ калорій (киллограммъ—калорій), которое выдѣляется 1 куб. метромъ или то количество малыхъ калорій (граммъ калорій), которое выдѣляется 1 метромъ газа при его полномъ сгораніи въ H_2O и CO_2 и охлажденіи этихъ продуктовъ горѣнія до первоначальной температуры.

Наиболѣе подходящимъ для даннаго лабораторнаго опыта можно считать газовый калориметръ Фишера (рис. 1) (Лит. 4 стр. 86; 5 стр. 12; 8). Измѣрять газъ можно любымъ газомѣромъ. Возьмемъ хотя бы маленькій экспериментальный газомѣръ сист. Пинча, у котораго 1 оборотъ стрѣлки въ минуту показываетъ расходъ газа въ 100 л. въ часъ, т. е. каждый оборотъ соответствуетъ 1,67 литра.

Для производства опыта сосудъ В взвѣшиваютъ и вставляютъ въ калориметръ. Чтобы въ мѣстѣ V не просачивалась вода, края нижней трубки смазываютъ саломъ. Затѣмъ въ пространство А калориметра наливаютъ измѣренное количество воды и помѣшиваютъ ее мѣшалкой R до тѣхъ поръ пока температура всѣхъ частей калориметра не сравняется. Это можно сразу замѣтить по показаніямъ термометра, т. к. температура воды, при наступившемъ равновѣсіи, начинаетъ медленно, но вполне равномерно, понижаться или повышаться. Далѣе зажигаютъ горѣлку E и, установивъ величину пламени въ $1\frac{1}{2}$ —2 см. (соответствующую полному горѣнію, въ калориметрѣ) вставляютъ горѣлку въ калориметръ. Когда сожжено достаточное количество газа (около 1 л. свѣтильнаго газа, 1,5—2 л. водяного и 3 л. воздушнаго или смѣшаннаго газа), закрываютъ газовый кранъ и помѣшивая воду продолжаютъ наблюденія до тѣхъ поръ когда паденіе температуры воды не станетъ опять вполне равномернымъ.

Показанія термометра въ продолженіи всего опыта записываютъ каждую минуту, всякій разъ слегка постукивая по термометру. Положимъ мы налили въ калориметръ 2500 куб. см. воды и сейчасъ же начали записывать показанія термометра.

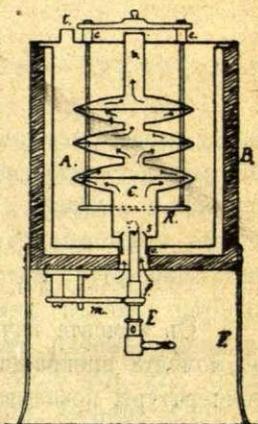


Рис. 1.

Время.	Температура.
5 ч. начало опыта	24,30 ⁰ Ц.
5 ч. 1 м.	24,20
2 м.	24,16
3 м.	24,14
4 м.	24,13
5 м.	24,12
6 м.	24,11
7 м. вставляемъ горѣлку	
8 м.	24,30
9 м.	26,00

10 м.	26,50	
11 м.	26,80	
12 м.	27,00	
13 м.	27,05	
14 м.	27,10	
15 м.	27,05	
16 м.	27,05	
17 м.	27,05	
18 м.	27,02	} 0,02° въ 1 минуту.
19 м.	27,00	
20 м.	26,98	
21 м.	26,96	} 0,02° въ 1 минуту.
22 м.	26,94	
23 м.	26,92	
24 м.	26,89	
25 м.	26,87	
26 м.	26,85	
5 ч. 27 м.	26,83	

Съ момента начала повышенія температуры въ калориметрѣ—5 ч. 9 м. до момента прекращенія опыта—5 ч. 27 м. прошло 18 м. Послѣднія записи температуры показываютъ, что калориметръ терялъ въ среднемъ 0,02° каждую минуту, а слѣдовательно въ продолженіи 18 минутъ было потеряно $0,02 \times 18 = 0,36^\circ$. Повышеніе температуры воды за время опыта составляетъ $26,83 - 24,11 = 2,72^\circ$, но эта величина ниже дѣйствительной, т. к. калориметръ продолжалъ все время терять теплоту посредствомъ лучеиспусканія и потому необходимо прибавить 0,36°, которыя и выражаютъ эту потерю. Всего значитъ повышеніе температуры составитъ 3,08°.

Далѣе мы имѣемъ:

Расходъ газа 1,67 л. (1670 куб. см.)

Показаніе барометра 759 мм.

Давленіе газа 42 мм. вод. столба.

Водяной эквивалентъ нашего калориметра, т. е. то количество воды въ грм., которымъ можно выразить количество тепла, идущаго на нагреваніе самага калориметра на 1° Ц., составляетъ 127 грм.

(Водяной эквивалентъ опредѣляется разъ на всегда для даннаго калориметра, сжиганіемъ въ калориметрѣ газа теплопроизводительность котораго вполне точно извѣстна).

Итакъ: при горѣніи нашего газа всего выдѣлилось.

$$(2000 + 127) \times 3,08 = 8091 \text{ калорій.}$$

Принято относить теплопроизводительность къ газу при 0° и норм. давленіи 760 мм. Подставляем поэтому, имѣющіяся у насъ данныя въ формулу:

$$V = \frac{V_0 p_0}{p(1 + Lt)} = \frac{1670 \times 762}{760 \left(1 + \frac{1}{273} \times 15\right)} = 1587 \text{ куб. см.}$$

получимъ 1587 куб. см., объемъ сожженнаго нами газа при 0° и 760 мм.

При этомъ нужно еще сказать, что $t = 15^{\circ}$ температура нашего газа, а $p_0 = 762$ есть баром. давленіе $759 + 3$ (давленіе газа = 42 мм. вод. столба, переведенное на ртуть $42 : 13 = \approx 3$ мм.).

Сжигая 1587 кб. см. мы получили 8091 кал., откуда теплопроизводительность 1 литра (1000 кб. см.) нашего газа составить:

$$\frac{8091 \times 1000}{1587} = 5098 \text{ кал.}$$

Эти 5098 кал. представляют собой такъ наз. калориметрическую теплопроизводительность газа.

На практикѣ нужно стремиться къ тому, чтобы по возможности утилизировать все это, отнесенное къ единицѣ топлива, количество теплоты. Но вполне достигъ этого невозможно т. к. часть теплоты и притомъ очень значительная уносится водяными парами, находящимися въ дымовыхъ газахъ, т. е. продуктахъ горѣнія, которые уходятъ изъ дымовой трубы имѣя температуру выше 100° . Эту скрытую теплоту водяныхъ паровъ, которую практически невозможно вернуть даже охлажденіемъ газовъ, примемъ въ 600 кал. на каждый килограммъ воды (подробнѣе см. 5 стр. 22). Если теперь изъ калориметрической теплопроизводительности вычесть скрытую теплоту водяныхъ паровъ продуктовъ горѣнія, то получится такъ наз. полезная теплопроизводительность.

Въ нашемъ опытѣ мы опредѣлили:

вѣсъ части С до опыта . . . 584 гр.

вѣсъ части С послѣ опыта . 585 гр.

Образовалось слѣдовательно воды 1 гр., скрытая теплота которой, отнесенная къ 1000 кб. см. будетъ:

$$\frac{600 \times 1000}{1587} = 378 \text{ кал.}$$

Итакъ, полезная теплопроизводительность нашего газа равна:

$$5098 - 378 = 4720 \text{ кал.}$$

Что касается приведеннаго здѣсь примѣра, то необходимо сдѣлать слѣдующую оговорку. Имѣвшійся въ нашемъ распоряженіи калориметръ былъ очень хорошо изолированъ и потому чтобы показать ходъ расчета при сравнительно большей потерѣ теплоты калориметромъ, мы нарочно взяли воду, температура которой была на $4-5^{\circ}$ выше температуры помѣщенія. Обыкновенно же берутъ воду съ температурой на $\approx 1^{\circ}$ ниже температуры помѣщенія, тогда потеря тепла сократится до минимума.

Для болѣе точныхъ опредѣленій обыкновенно примѣняютъ калориметръ Юнкерса. Въ немъ измѣряется повышение температуры воды, протекающей равномѣрной струей черезъ приборъ, внутри котораго помѣщена бунзеновская горѣлка для сжиганія изслѣдуемаго газа. Въ настоящее время очень часто устанавливаютъ при этомъ постоянное соотношеніе между количествомъ газа и воды, соединяя безконечнымъ шнуромъ маленькіе шкивы, надѣтые

на оси газомѣра и водомѣра. Регистрируя затѣмъ при помощи самопишущаго прибора повышеніе температуры воды, получаютъ одновременно и запись теплопроизводительности газа, все равно взяты ли для изслѣдованія свѣтильный, водяной, генераторный или смѣшанный газъ¹⁾.

Теплопроизводительность твердаго топлива можетъ быть опредѣляема только періодически сжиганіемъ точно взвѣшенной пробы. Сжиганіе въ струѣ кислорода въ настоящее время совсѣмъ оставлено, т. к. въ моментъ заживанія навѣски выдѣляются большія количества продуктовъ сухой перегонки, которые уходятъ изъ калориметра лишь отчасти сгорѣвшими.

Поэтому твердое топливо сжигаютъ въ такъ наз. калориметрической бомбѣ подъ давленіемъ кислорода въ 20—25 атм. (Бертело, Малеръ, Гемпель, Крекеръ)²⁾. Измѣреніе повышенія температуры воды и поправку относительно потери теплоты калориметромъ при этомъ производятъ точно также какъ и при опредѣленіи теплопроизводительности газа (см. выше). Въ послѣднее время для ускоренія и упрощенія опыта стали вставлять калориметръ еще во второй сосудъ наполненный водой, температуру которой все время держать одинаковой съ температурой воды въ калориметрѣ. Этого достигаютъ примѣняя систему изъ нагрѣваемой электричествомъ спирали и охлаждающаго змѣвика. Такой калориметръ носитъ названіе адіобатическаго, и примѣняя его избѣгаютъ расчетовъ связанныхъ съ опредѣленіемъ потери теплоты калориметромъ во время опыта³⁾.

Теплопроизводительность каменнаго угля, кокса, антрацита и древеснаго угля можно также вычислить по ихъ элементарному составу, при помощи формулъ Дюлонга, Бунте, О-ва Германскихъ инженеровъ или формулы Менделѣева (лит. 2), примѣнимой также и для опредѣленія теплопроизводительности нефти, дровъ и торфа.

Такъ какъ навѣска топлива должна представлять „среднюю пробу“ изъ большого количества топлива—израсходованнаго напр. въ продолженіи цѣлаго заводскаго опыта—то выборъ такой пробы, особенно относительно средняго содержанія влаги, требуетъ особой осмотрительности. Обыкновенно отбираютъ сначала большую пробу (прибл. 100 кгр.), даютъ ей полежать въ сухомъ помѣщеніи при комнатной температурѣ 3—4 сутокъ и опредѣляютъ этимъ путемъ количество влаги, случайно перешедшей въ топливо изъ атмосферы. Уже изъ этой пробы отбираютъ затѣмъ среднюю лабора-

¹⁾ Chem. Ztg. Rep. 1909 стр. 310; Zeitschr. f. Dampfesselb. 1909 стр. 149; Journ. f. Gasb. 1907 стр. 520; Mouit. scientif. 1909 т. 71 стр. 649; Лит. 34 стр. 60.

²⁾ Можно также производить сжиганіе въ присутствіи окисляющаго вещества, напр. перекиси натра (калорим. Парра) или бертолетовой соли и селитры (англійск. калорим. Томсона), но способы эти не даютъ вполне надежныхъ результатовъ. Подробнѣе см. лит. 4 стр. 72; 5 стр. 11; Zeitschr. angew. Chem. 1909 стр. 1639; Vrame Engineer 1905 т. 99 стр. 487; Vrame a. Cowau Journ. of the Loc. Chem. Ind. 1903 т. 22; въ послѣднихъ статьяхъ описывается и критикуется калорим. Томсона, примѣнявшійся до настоящаго времени.

³⁾ Benedict a. Higgius Journ. americ. Chem. Soc. 1910 т. 32 стр. 461; Chem. Ztg. Rep. 1910 стр. 374; Richards, Zeitschr. f. phys. Chemie 1908 т. 64 стр. 187; Биронъ Ж. Р. Ф. хим. О-ва 1909 стр. 1406.

торную пробу (прибл. 1—2 кгр.) для опредѣленія гигроскопической воды, теплопроизводительности и элементарнаго состава.

Калориметрическое изслѣдованіе, произведенное надъ плохо выбранной средней пробой, какъ само собой ясно, является поэтому трудомъ напраснымъ и безцѣльнымъ.

Теплопроизводительность жидкаго топлива опредѣляютъ или въ бомбѣ, сжигая опредѣленную навѣску его или въ газовомъ калориметрѣ, въ послѣднемъ случаѣ примѣняются особыя горѣлки.

Спеціальная литература по калориметри.

- 11) Лугининъ и Щукаревъ. Руководство къ калориметри. Москва 1905 г.
- 12) Siderski — Ганшинъ. Проба горючихъ веществъ. Кіевъ 1907 г.
- 13) Immenkötter. Heizwertbestimmungen mit hs. Berücksichtigung gasförmiger u. flüss. Brennstoffe. München u. Berlin 1905.
- 14) Лугининъ. Описаніе различныхъ методовъ опредѣл. теплоты горѣнія органич. соединений. Москва 1894 г.
- 15) Харичковъ. Элементарный составъ и теплотворная способность грозненскихъ нефтяныхъ остатковъ. Горн. Ж. 1898 г.
- 16) Алексѣевъ. Ископаемые угли Россійской Имперіи. С.-Петербургъ. 1895 г.

Задача II. Опредѣленіе полезнаго дѣйствія лабораторнаго котелка.

Количество кб. м. газа, сгорѣвшаго во время опыта, выражаетъ собой въ данномъ случаѣ расходъ энергіи, а теплота воспринятая за это-же время водой или газомъ—количество использованной энергіи. Отношеніе использованной энергіи къ расходу энергіи умноженное на 100 дастъ намъ полезное дѣйствіе выраженное въ 0/0.

Опытъ I. Воду нагрѣваемъ не до кипѣнія.

Начало опыта	6 ч. 44 м.	Число обор. газомѣра.
	41 м.	1 оборотъ
	45,5 м.	2 „
	⋮	⋮
	53,5 м.	12 „
	6 ч. 54 м.	13 „

Рекомендуется отмѣчать всегда и время записи, т. к. иначе легко спутаться.

Расходъ газа 13 обор. по 1,587 л. (см. зад. I)	= 20,6 л.
Продолжительность опыта	10 м.
Количество воды въ котелкѣ	1 л. (1000 кб. см.)
Повышеніе температуры воды	59°
Теплопроизводительность газа (опред. въ I зад.)	4720 кал.
Израсходовано энергіи	20,6 × 4720 = 97232 кал.
Использовано энергіи	59 × 1000 = 59000 кал.
Полезное дѣйствіе	$\frac{59000 \times 100}{97232} = \approx 60\%$

Опыт II. Вода въ котелѣ была нагрѣта предварительно до кипѣнія, послѣ чего на дальнѣйшее нагрѣваніе, какъ и въ предыдущемъ опытѣ, израсходовано 20,6 л. газа въ тѣ-же 10 м.

Израсходовано энергіи какъ и въ I оп. 97232 кал.

Первоначальное количество воды 1 л.

Испарилось въ продолженіи 10 м.—128 гр.

Такъ какъ скрытая теплота водяныхъ паровъ при $100^{\circ} = 537$ кал., то всего использовано $537 \times 128 = 68736$ кал.

$$\text{Полезное дѣйствіе } \frac{68736 \times 100}{97232} = \infty 70\%.$$

Эти опыты очень интересны съ практической точки зрѣнія. Согласно законамъ теплопроводности, количество теплоты, передаваемое въ 1 часъ черезъ 1 кв. м. стѣнки выражается формулой:

$$K (t_2 - t_1), \text{ гдѣ}$$

K —коэфф. передачи теплоты, при условіи измѣренія температуръ у самой стѣнки и разности ихъ въ 1°Ц .

t_2 и t_1 —температуры, измѣренныя около самой стѣнки, по обѣ стороны ея. Въ продолженіи 10 м. черезъ стѣнки котелка прошло при первомъ опытѣ 59000 кал., а при второмъ 68736 кал., на первый взглядъ это можетъ показаться неправильнымъ, т. к. значеніе $(t_2 - t_1)$ казалось бы для перваго случая должно бы быть большимъ. Но на самомъ дѣлѣ оно меньше, и меньше потому, что въ первомъ случаѣ нѣтъ такой совершенной циркуляціи воды какъ во второмъ, когда, по предположенію, образующіеся около самой стѣнки котелка неизмѣримо тонкіе слои перегрѣтаго пара съ большой быстротой замѣняются частицами болѣе холодной воды. Несмотря на кажущуюся простоту вопросъ о передачѣ теплоты черезъ стѣнки еще очень далекъ отъ рѣшенія, можно лишь сказать, что какъ въ паровыхъ котлахъ, такъ и вообще во всѣхъ нагрѣвательныхъ приборахъ циркуляція играетъ первостепенную роль. (Лит. 4 стр. 324; 5 стр. 124).

Опредѣленіе полезнаго дѣйствія въ заводской практикѣ производится по тѣмъ-же самымъ основнымъ принципамъ. Такъ напр. опредѣляя полезное дѣйствіе парового котла, сначала измѣряютъ количество расходуемой энергіи, взвѣсивая топливо. При этомъ важно слѣдить за тѣмъ чтобы 1) топливо представляло собой среднюю пробу всего расходуемаго горючаго и 2) чтобы къ концу опыта на колосниковой рѣшеткѣ (если топливо твердое) оставалось столько-же топлива, сколько его было въ началѣ. Если топливомъ служить каменный уголь, то лучше всего если и въ началѣ и въ концѣ опыта на рѣшеткѣ остается только тонкій слой раскаленнаго кокса.

Для опредѣленія количества использованной энергіи нужно знать расходъ воды за время опыта. Для этого на водомѣрномъ стеклѣ отмѣчаютъ уровень воды въ котлѣ при началѣ опыта и слѣдятъ за тѣмъ чтобы тотъ-же уровень вода имѣла и въ концѣ опыта. Все-же количество воды, подаваемой питательнымъ насосомъ во время самаго опыта опредѣляютъ взвѣ-

шиваніемъ. (Лит. 5 стр. 321; 33 стр. 6; 24 стр. 2). Какъ мы видимъ принципиально здѣсь нѣтъ ничего новаго. Дѣло, однако, осложняется тѣмъ, что при опредѣленіи полезнаго дѣйствія котельной установки легко упустить изъ виду уже имѣющійся запасъ теплоты или недостатокъ ея въ кирпичной кладкѣ. Въ первомъ случаѣ работа топки передъ опытомъ была очевидно форсированной и излишекъ теплоты, накопившійся въ обмуровкѣ повыситъ полезное дѣйствіе. Во второмъ-же случаѣ на нагрѣвъ обмуровки пойдетъ лишнее количество угля и полезное дѣйствіе понизится. Кромѣ того и въ водѣ котла можетъ заключаться извѣстный запасъ теплоты, если давленіе пара въ началѣ опыта было выше, т. к. тогда при пониженіи давленія часть воды испаряется не за счетъ расхода топлива. Въ виду сказаннаго нужно строго слѣдить за тѣмъ, чтобы вся изслѣдуемая установка въ продолженіи нѣсколькихъ часовъ до начала опыта находилась въ томъ-же динамическомъ состояніи какъ и во время опыта. Это правило получило свое выраженіе во всѣхъ инструкціяхъ, которыми должны руководствоваться лица, производящіе изслѣдованіе паровыхъ котловъ.

Задача III. Опредѣленіе полезнаго дѣйствія локомотивнаго парового котла.

По изслѣдованіямъ Г.г. дипломатовъ Мукке и Вилькина, произведеннымъ надъ локомотивомъ электрической станціи зданія лабораторій Рижскаго Политехническаго Института.

Продолжительность опыта	6 ч.
Давленіе пара	5,2 атм.
Температура	152°
Скрытая теплота пара	653 кал.
Воды испарилось	1386 кгр.
Топлива сгорѣло (уголь Шотландскій Watson-Hartley . .	240,6 кгр.
Паропроизводительная способ. угля для даннаго случая	5,76 кгр.

Составъ сырого угля.

C —	68,34%	} 10,53 } 15,25
H —	4,59 „	
O —	10,12 „	
N —	0,90 „	
S —	0,80 „	
золы —	4,72 „	
гигр. воды —	9,43 „	
влаги —	1,10 „	
	100,00 „	

Составъ его органич. массы.

C —	80,75%
H —	5,43 „
O —	11,91 „
N —	1,06 „
S —	0,85 „
	100,00 „
Калориметрическая теплопроизводительность органич. массы	6535
	1—0,1525 = 7720.

Калориметрич. теплопроизв. сухого угля, опредѣленная въ бомбѣ Крекера = 7309 кал.

Калориметрич. теплопроизв. сырого угля опредѣляемъ раздѣливъ теплопроизв. сухого угля на количество сухого вещества въ 1 кгр. сырого угля

$$7309 : (1 - 0,1053) = 6535 \text{ кал.}$$

Въ продукты горѣнія переходитъ какъ влага, содержащаяся въ углѣ, такъ и вода, образующаяся отъ сгорания водорода угля, а всего считая на 1 кгр. сырого угля:

$$0,1053 + 9 \times 0,0459 = 0,518 \text{ кгр. воды.}$$

Гдѣ 9 есть вѣсъ водяного пара, образовавшагося изъ одной вѣсовой части водорода.

Полезная теплопроизв. сырого угля слѣдовательно, будетъ

$$6535 - 0,518 \times 600 = 6225 \text{ кал.}$$

Провѣримъ результатъ по формулѣ О-ва Германскихъ инженеровъ:

$$\mathcal{M} \text{ пол.} = \frac{8140 C + 28800 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S - 600 W}{100}$$

$$\mathcal{M} \text{ пол.} = 8140 \times 0,6834 + 28800 \left(0,0459 - \frac{0,1012}{8} \right) + 2500 \times 0,008 - 600 \times 0,1053$$

$$\mathcal{M} \text{ пол.} = 6480 \text{ кал.}$$

Для опредѣленія полезнаго дѣйствія возьмемъ $\mathcal{M} \text{ пол.} = 6225 \text{ кал.}$, т. к. полученный въ калориметрѣ результатъ считается всегда болѣе точнымъ.

Количество пара, получаемаго при сжиганіи 1 кгр. кам. угля, умноженное на скрытую теплоту пара дасть количество использованной энергіи:

$$5,76 \times 653 = 3760 \text{ кал.}$$

Количество-же израсходованной энергіи 6225 кал.

Откуда полезное дѣйствіе котла:

$$\frac{3760 \times 100}{6225} = 60,3\%$$

Опредѣленіе полезнаго дѣйствія хотя и интересно само по себѣ, но оно не даетъ еще полной картины работы данной установки. Должны быть опредѣлены еще потери и величина ихъ и только тогда можно изыскивать мѣры къ устраненію потерь и повышенію полезнаго дѣйствія всей установки. Потери тепловой энергіи могутъ быть слѣдующія:

1) *Потеря въ огаркахъ.* Для опредѣленія ея величины прежде всего взвѣшиваютъ все количество полученныхъ огарковъ. Затѣмъ берутъ навѣску отъ средней пробы такъ, какъ объ этомъ было говорено раньше, высушиваютъ ее при 110°Ц. и прокаливаютъ. Количество сохрѣвшаго углерода, умноженное на 8140 (теплопроизводительность чистаго углерода) даетъ намъ

величину потери для взятой навѣски, откуда уже легко опредѣлить величину потери для всего количества огарковъ.

2) Потеря теплоты вследствие конвекціи и лучеиспусканія стѣнок котла и обмуровки. Прямымъ путемъ величину этой потери опредѣлить нельзя, ее находятъ изъ разности при установленіи полного баланса.

3) Потеря черезъ дымовую трубу, которая слагается изъ: а) потери вследствие содержанія сажи въ дымѣ, б) потери отъ неполнаго сгорания топлива, с) потери отъ высокой температуры, уходящихъ дымовыхъ газовъ. Первая изъ нихъ обыкновенно не превышаетъ 1%, величину же второй и третьей находятъ изслѣдуя составъ дымовыхъ газовъ, т. е. продуктовъ горѣнія.

Задача IV. Изслѣдованіе продуктовъ горѣнія керосиновой лампы и опредѣленіе количества уносимой ими теплоты.

Для опредѣленія состава продуктовъ горѣнія будемъ примѣнять аппаратъ Орса ¹⁾ (рис. 2). Прямую стеклянную трубку Н замѣнимъ трубкой у которой конецъ загнутъ подъ прямымъ угломъ и опустимъ этотъ конецъ сверху въ ламповый цилиндръ такъ, чтобы онъ былъ расположенъ по оси послѣдняго. Поднимая бутылку F и, повернувъ соответствующимъ образомъ кранъ D₄, выгоняемъ воздухъ изъ бюретки A, наполняя ее водой до мѣтки A₄ (100 куб. см.) Установивъ кранъ D₄ и медленно опускающая бутылка F начинаемъ наборъ продуктовъ горѣнія изъ ламповаго цилиндра. Чтобы удалить воздухъ, находившійся въ трубкѣ Н, выгоняемъ набранные газы и снова набираемъ ихъ, повторяя это разъ, другой, послѣ чего набираемъ въ бюретку A ровно 100 куб. см. газовъ. Для того чтобы газы находились въ бюреткѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ, нужно слѣдить за тѣмъ чтобы уровень воды въ бюреткѣ, находящейся на O былъ въ одной плоскости съ уровнемъ воды въ бутылкѣ F, и только достигнувъ этого закрываемъ кранъ D₁ и перегоняемъ нѣсколько разъ (поднимая и опуская бутылку F) газъ изъ бюретки A въ пипетку B₁ и обратно. Содержащаяся въ газѣ CO₂ поглощается при этомъ ѣдкимъ натромъ, ²⁾ которымъ наполнена пипетка B₁. Переведа газъ въ бюретку A и опять установивъ атмосферное

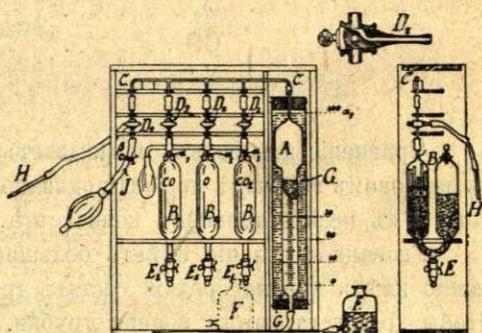


Рис. 2.

¹⁾ О другихъ приборахъ: Бунте, Гемпеля и др. см. Общую лит. и ниже помѣщенную спец.

²⁾ Растворъ ѣдкаго натра, концентрація 1:2

Растворъ пирагаллола — 100 гр. пирагаллола растворяютъ въ 200 гр. горячей воды и приливаютъ 600 куб. с. раствора ѣдкаго калия (1:2)

Растворъ закиси мѣди — 60 гр. хлористой мѣди, 400 гр. конц соляной

давление, отсчитывают по шкалѣ, помѣщенной на бюреткѣ А число дѣлений, на которое сократился первоначальный (100 куб. см.) объемъ газа, что даетъ намъ $\%$ содержание CO_2 . Переводя такимъ же образомъ остатокъ газа сначала въ пипетку В₂ съ пирогалловымъ калиемъ, а потомъ въ пипетку В₃ съ растворомъ закиси мѣди, находимъ сначала $\%$ O_2 , а затѣмъ $\%$ CO .

Положимъ мы нашли слѣдующій составъ продуктовъ горѣнія:

	CO_2	4,7 $\%$
	O_2	14,1
	CO	—
Изъ разности	N	81,2
		<hr/> 100

Беря затѣмъ пробу не изъ середины цилиндра, а около самой его стѣнки мы получили:

	CO_2	3,5 $\%$
	O_2	15,6
	CO	—
	N	80,9
		<hr/> 100

Сравненіе анализовъ показываетъ, что составъ продуктовъ горѣнія въ ламповомъ цилиндрѣ не вездѣ одинаковъ, что ближе къ стѣнкамъ проходить, хотя и въ незначительномъ количествѣ, избыточный воздухъ.

Указанное явленіе имѣетъ большое значеніе въ практикѣ, гдѣ особенно важно имѣть именно средній составъ газовъ, уходящихъ въ дымовую трубу. Чтобы достигнуть этого конецъ трубки, которой производятъ наборъ газовъ изъ борова, опускаютъ до самой середины потока продуктовъ горѣнія, выбирая при этомъ такое мѣсто гдѣ-бы происходило возможно полное ихъ перемѣшиваніе напр., около дымовой заслонки. Въ этомъ-же мѣстѣ всегда измѣняютъ и температуру газовъ (см. рис. 3.).

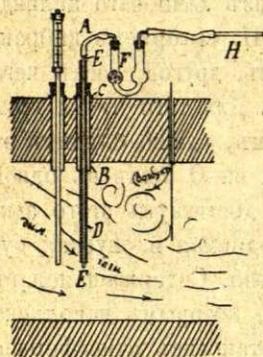


Рис. 3.

Чтобы получить средній составъ дымовыхъ газовъ, нужно брать цѣлый рядъ пробъ черезъ небольшіе промежутки времени, положимъ 15 мин. Вмѣсто этого проф. Константъ изъ Цюриха рекомендуетъ производить очень медленный, но непрерывный наборъ пробы въ продолженіи всего опыта¹⁾. Для этого примѣняютъ аспираторъ, т. е. двѣ бутылки, соединенныя между собой трубкой. Одна изъ бутылей кромѣ того соединена съ наборной трубкой и наполнена смѣсью изъ 50 $\%$ воды 50 $\%$ глицерина (такая смѣсь не поглощаетъ CO и O_2). Жидкость, переливаясь изъ полной

кислоты и нѣсколько обрѣзковъ мѣди смѣшиваютъ и даютъ простоять въ бутылкѣ съ притертой пробкой дня два—три, иногда взбалтывая; подъ конецъ приливаютъ еще 120 куб. с. воды. Въ пипетку кладутъ нѣсколько обрѣзковъ мѣдной проволоки.

1) Constam. u. Schläpfer Zeitschr. d. Ver. D. 1909 стр. 1837; Лит. 28 стр. 14.

бутыли въ поставленную нѣсколько ниже пустую бутылъ, производить всасываніе газовъ изъ борова. Скорость всасыванія, разумѣется, легко можно регулировать.

Опредѣлимъ теперь количество теплоты, уносимой изъ лампы продуктами горѣнія.

I. Количество продуктовъ горѣнія изъ 1 грамма керосина.

Въ керосинѣ приблизительно 86% С и 13% Н.

Въ 1 л. прод. горѣнія $\frac{0,047 \times 1,98 \times 12}{44} = 0,02535$ гр. С, гдѣ 1,98 вѣсъ 1 л. CO_2 въ граммахъ при 0° и 760 мм., а 12 и 44 атомные вѣса С и CO_2 .

1 гр. керосина даетъ, слѣдовательно,

$$\frac{0,86}{0,02535} = 33,8 \text{ л. сухихъ прод. горѣнія.}$$

Кромѣ того, Н при сгораніи даетъ:

$$0,13 \times 9 = 1,17 \text{ гр.} = \frac{1,17}{0,805} = 1,46 \text{ л. паровъ воды.}$$

Всего получится 35,26 л. сырыхъ прод. горѣнія при сгораніи 1 гр. керосина.

II. Теплоемкость продуктовъ горѣнія.

Прод. горѣнія изъ 1 гр. керосина	Уд. теплота составн. частей	Уд. теплота прод. гор. изъ 1 гр. керосина
CO_2 — $33,8 \times 0,047 = 1,59$ л.	0,50	0,80
O_2 — $33,8 \times 0,141 = 4,76$ л.	0,31	1,48
N — $33,8 \times 0,812 = 27,45$ л.	0,31	8,50
H_2O — $= 1,46$ л.	0,39	0,57
35,26 л.		11,35 кал. (малыхъ).

Температура газовъ въ мѣстѣ отбора была измѣрена термоэлектрическимъ пирометромъ Ле-Шателье и найдена = 470° Ц. ¹⁾

Температура помѣщенія = 20° Ц.

Слѣдовательно газы уносятъ съ собою:

$$11,35 \times (470 - 20) = 5110 \text{ кал.,}$$

что, принимая теплопроизводительную способность керосина въ 9900 кал.,

$$\text{составить } \frac{5110 \times 100}{9900} = 51,6\%.$$

Такимъ же образомъ вычисляють и количество теплоты, уносимой продуктами неполнаго горѣнія (CO , H_2 , CH_4). Когда мы подняли фитиль выше, то лампа начала коптить и составъ продуктовъ горѣнія былъ полученъ приблизительно слѣдующій:

¹⁾ Измѣреніе температуръ различными способами будетъ въ особой задачь.

Количество углерода

CO ₂ — 10,2%	$\frac{0,102 \times 1,98 \times 12}{44}$	= 0,055 гр.
O — 7,0 "		
CO — 1,0 "	$\frac{0,01 \times 1,26 \times 12}{28}$	= 0,0054 гр.
N — 81,8 "		
100 "		

всего въ 1 л. прод. горѣнія 0,0604 гр. С.

1 гр. керосина даетъ $\frac{0,86}{0,0604} = 14,3$ л. прод. горѣнія

1,46 л. вод. паровъ
всего 15,76 л.

Изъ 1 гр. керосина получилось

$$15,76 \times 0,01 = 0,1576 \text{ л. CO}$$

1 л. CO даетъ $2440 \times 1,26 = 3075$ кал.

Откуда потеря въ CO

$$\frac{0,1576 \times 30,75}{9900} = 4,92 \%$$

Теплота, уносимая нагрѣтыми газами, въ данномъ случаѣ будетъ меньше; продѣлавъ соответствующій расчетъ получимъ 23 %.

Какъ видно, чѣмъ меньше содержаніе CO₂ въ прод. горѣнія, тѣмъ большій получается объемъ этихъ продуктовъ. Происходить это отъ избытка воздуха при горѣніи, который можно опредѣлить по формулѣ, зная составъ сухихъ газовъ

$$n = \frac{21}{21 - \frac{O \cdot 79}{N}}, \text{ гдѣ O и N, содержаніе кислорода}$$

и азота въ газахъ, а n соотношеніе $\frac{B \text{ пр.}}{B \text{ т.}}$ въ которомъ B т. — теоретическое количество воздуха, необходимаго для сжиганія газа, а B пр. практическое, расходуемое на дѣлѣ.

При нормальномъ горѣніи лампы:

$$n = \frac{21}{21 - \frac{14,79}{81,2}} = 2,89 \text{ или } 189\% \text{ избытка.}$$

При горѣніи лампы коптящимъ пламенемъ:

$$n = \frac{21}{21 - \frac{7,79}{81,8}} = 1,79 \text{ или } 79\% \text{ избытка.}$$

Какъ мы видимъ съ увеличеніемъ избытка воздуха увеличивается и количество теплоты, уносимой дымовыми газами. Чѣмъ лучше устроена

топка, тѣмъ меньше величина n . При простой ручной подачѣ топлива и при неумѣлой работѣ величина n доходить до 2,5—3, тогда какъ при механическихъ кочегарахъ $n = 1—1,4$.

Тѣмъ-же самымъ путемъ, какимъ мы вели расчетъ потерь при горѣніи лампы, вычисляются и потери любой заводской печи, происходящія отъ высокой температуры продуктовъ горѣнія и неполнаго сгорания топлива.

Задача V. Опредѣленіе полного тепловаго баланса локomobilнаго котла. (Продолженіе задачи III).

I. Потеря въ огаркахъ.

Всего огарковъ 5,8 кгр. съ 23,5% С.

Всего углерода въ огаркахъ 1,36 кгр. или $\frac{1,36 \times 100}{240 \times 6} = 0,6\%$ С по вѣсу угля, которые дадутъ $0,006 \times 8140 = 49$ кал., что составитъ $\frac{49}{6225} = 0,8\%$.

II. Съ дымомъ въ видѣ сажи уходитъ около 0,5% С.

III. Потери въ дымовыхъ газахъ.

Средній составъ газовъ въ борѣвѣ:

CO ₂	5,13 %
O ₂	15,10 „
N	79,77 „
Средняя температура газовъ .	242° Ц.
Температура помѣщенія : . . .	22°.

Изъ 0,6834 кгр. С, содержащихся въ каменномъ углѣ 0,6% ушло въ огарки и 0,5% ушло съ дымомъ, стало быть продукты горѣнія образовались изъ

$$0,6834 - (0,006 + 0,005) = 0,672 \text{ кгр. углерода.}$$

Количество продуктовъ горѣнія.

Въ продуктахъ горѣнія содержится углерода

$$\text{CO}_2 \frac{0,0513 \times 1,98 \times 12}{44} = 0,0277 \text{ кгр.}$$

Изъ 1 кгр. угля, получилось

$$\frac{0,672}{0,0277} = 21,25 \text{ кб. м. сухихъ газовъ.}$$

Водяныхъ паровъ изъ топлива и отъ горѣнія водорода (см. зад. III).

$$0,105 + 9 \times 0,0459 = 0,518 \text{ кгр.} = \frac{0,518}{0,805} = 0,643 \text{ кб. м. водян. паровъ.}$$

Всего газовъ слѣдовательно получилось

$$21,25 + 0,643 = 21,89 \text{ кб. м.}$$



Теплоемкость продуктов горѣнія изъ 1 кгр. топлива.

Колич. продуктовъ гор. изъ 1 кгр. топлива.	Теплоем-ность.	Теплоемк. прод. горѣнія изъ 1 кгр. топлива.
CO ₂ . . . 21,25 × 0,0513 = 1,09	0,50	0,54
O ₂ . . . 21,25 × 0,1510 = 3,20	0,31	0,99
N . . . 21,25 × 0,798 = 16,96	0,31	5,26
H ₂ O 0,64	0,39	0,25
21,89		7,04 кал.

Потеря теплоты, уносимой дымов. газами

$$7,04 \times (242 - 22) = 1550 \text{ кал.}$$

$$\text{или } \frac{1550 \times 100}{6225} = \approx 25\%.$$

$$\text{Избытокъ воздуха } n = \frac{21}{21 - \frac{15,1 \times 79}{79,77}} = 3,3.$$

Итакъ, полный балансъ нашего котла:

Использовано	60,3 %								
Потери	{ <table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>въ огаркахъ</td> <td>0,8 „</td> </tr> <tr> <td>въ сажѣ</td> <td>0,5 „</td> </tr> <tr> <td>въ прод. горѣнія</td> <td>25,0 „</td> </tr> <tr> <td>черезъ конвекцію и лучеиспускание</td> <td>13,4 „</td> </tr> </table>	въ огаркахъ	0,8 „	въ сажѣ	0,5 „	въ прод. горѣнія	25,0 „	черезъ конвекцію и лучеиспускание	13,4 „
		въ огаркахъ	0,8 „						
		въ сажѣ	0,5 „						
		въ прод. горѣнія	25,0 „						
черезъ конвекцію и лучеиспускание	13,4 „								

Въ поясненіе къ найденнымъ результатамъ, слѣдуетъ еще замѣтить, что такой большой избытокъ воздуха получился вслѣдствіе слишкомъ слабого напряженія котла, всего около 7 кгр. пара на 1 кв. м. поверхности нагрѣва, противъ нормальныхъ 15—20 кгр.

Поэтому и на колосниковой рѣшеткѣ сгорало лишь 60—70 кгр. угля на 1 кв. м., противъ нормальныхъ 100 кгр. Такое незначительное количество топлива очень трудно равномерно распредѣлить на рѣшеткѣ и избыточному воздуху дается возможность безпрепятственного прохода. Несмотря на это полезное дѣйствіе получилось сравнительно высокое, это объясняется тѣмъ, что при небольшомъ напряженіи котла легче происходитъ передача теплоты отъ газовъ стѣнкамъ.

Величина потерь черезъ конвекцію и лучеиспускание получилась нѣсколько велика, т. к. температура газовъ измѣрялась въ желѣзной, не изолированной дымовой трубѣ. Поэтому сюда вошли также потери отъ лучеиспусканія и конвекціи части дымовой трубы и ея желѣзнаго цоколя. Производить же наборъ газовъ и измѣреніе ихъ температуры въ дымовой коробкѣ не имѣло смысла, мы не получили бы тогда средней пробы, т. к. изслѣдуемый котель локомотивнаго типа и газы, выходящіе изъ отдѣльныхъ дымогарныхъ трубъ не одинаковы по составу и температурѣ.

Опредѣленіе теплового баланса какой-либо заводской печи или парового котла, вообще говоря, задача не легкая и требующая много времени. По-

этому несмотря на большое значеніе, которое имѣютъ подобныя опредѣленія для сужденія о правильности работы установки, ихъ производить сравнительно рѣдко. Весьма цѣлесообразно однако имѣть постоянное наблюденіе надъ расходомъ топлива, количествомъ питательной воды, температурой отходящихъ газовъ, содержаніемъ въ нихъ углекислоты. Изъ совокупности этихъ данныхъ можно получить общую картину работы установки. Въ послѣднее время для указанныхъ наблюденій примѣняютъ обыкновенно различные самопишущіе и регистрирующіе приборы: водомѣры, автоматическіе вѣсы для топлива, регистраторы температуры (оптическіе и электрическіе) и углекислого газа. Въ послѣднихъ приборахъ CO_2 или поглощается (какъ въ приборѣ Орса), при чемъ измѣряется уменьшеніе объема, напр. въ приборахъ Адось (Лит. 21, 18, 29), и сист. Пинча, или-же количество CO_2 опредѣляютъ измѣряя уд. вѣсъ дымовыхъ газовъ, при чемъ запись ведется оптическимъ путемъ (сист. Крелль—Шульце Лит. 18 и 30). Существуютъ также приборы, въ которыхъ опредѣляютъ измѣненіе коэфф. преломленія свѣта въ присутствіи CO_2 (сист. Габера¹⁾.

Имѣя показанія водомѣра и запись вѣсовъ, а также зная приближительную теплопроизводительность топлива можно подсчитать полезное дѣйствіе, а зная температуру дымовыхъ газовъ и содержаніе въ нихъ CO_2 , можно какъ показалъ Бунте, прямо опредѣлить потери въ дымовыхъ газахъ (Лит. 33 стр. 97; 24 стр. 19).

Чѣмъ сознательнѣе инженеръ—практикъ относится къ своей работѣ, тѣмъ яснѣе онъ пойметъ значеніе подобнаго контроля и тѣмъ энергичнѣе онъ будетъ слѣдить за тѣмъ чтобы имѣющіеся въ распоряженіи государства запасы горючаго расходовались наиболѣе экономнымъ путемъ.

Литература по изслѣдованію топокъ (къ задачамъ III—V).

- 17) Ломшаковъ. Испытаніе паровыхъ котловъ и машинъ. С.-Петербургъ 1897 г.
- 18) Донатъ. О тягѣ и контролѣ топокъ паровыхъ котловъ (перев. Вельке и Вольфъ) Киевъ 1903 г.
- 19) Потресовъ. Контроль топки парового котла при помощи газоанализатора Крелль—Шульце. Москва 1910 г.
- 20) Зейффертъ. Контроль котельной установки (перев. Кузнецова). Москва 1904 г.
- 21) Сивай. Изслѣдованіе котельныхъ устройствъ. Москва 1906 г.
- 22) Питерскій. Опыты и изслѣдованія Т-ва Нобель. Баку 1903 г.
- 23) " Нефтяное отопленіе въ промышленности. Баку.
- 24) Блахеръ. Къ вопросу о топкахъ. Оттискъ изъ З. И. Р. Т. О. С.-Петербургъ 1910 г.
- 25) Гриневецкій. Графическій расчетъ парового котла. Оттискъ изъ Бюл. Политехн. О-ва 1905 г.
- 26) Киршъ. Изслѣдованія паровыхъ котловъ. Оттиски изъ Бюл. Политехн. О-ва 1904, 1906, 1909, 1910 г.г.
- 27) Berichte des Hamburger Vereins für Feuerungstrieb.
- 28) Feuerungsuntersuchungen des Hamb. Ver. für Feuerungsb.
- 29) Brand Techn. Untersuchungsmethoden zur Betriebskontrolle. Berlin 1904.

¹⁾ Chem. Ztg. 1906 стр. 596; Z. f. Electrochemie 1910 стр. 37.

- 30) Schultze. Theorie und Praxis d. Feuerungskontrolle Berlin 1905.
- 31) Dosch. Brennstoffe, Feuerungen u. Dampfkessel. Hannover 1907.
- 32) Fuchs. Generator-Kraftgas und Dampfkesselbetrieb. Berlin 1905.
- 33) Blacher. Feuerungstechnisches. Riga 1909.
- 34) Rousset et Chaplet. Les Combustions Industrielles. Le contrôle chimique de la combustion. Paris 1909.
- 35) Кроме того въ спец. руководствахъ по паровымъ котламъ Деппа, Предтеченскаго, Гавриленко и др.

Задача VI. Измѣреніе температуры. Измѣреніе температуры—казалось-бы что можетъ быть легче; но на практикѣ задача эта далеко не такъ проста. Строго говоря даже само понятіе о температурѣ какого-либо предмета или среды не представляетъ собой чего-либо вполне опредѣленнаго. Возьмемъ хотя бы весьма часто встрѣчающееся выраженіе „температура пламени“ и отнесемъ его къ пламени газовой горѣлки. Мы знаемъ, что температура въ разныхъ мѣстахъ пламени различна и потому выраженіе „температура пламени“ для насъ еще ничего не говоритъ, мы можемъ скорѣе говорить о средней температурѣ пламени, но и тутъ мы далеки еще отъ правильнаго рѣшенія вопроса, т. к. врядъ-ли кому удастся съ полной математической и физической точностью найти эту среднюю температуру. То что мы сказали о средней температурѣ пламени газовой горѣлки относится и къ средней температурѣ продуктовъ горѣнія (см. задачу IV), а также къ температурѣ пламени мартеновской и другой печи, къ температурѣ всякаго топочнаго и плавильнаго пространства, дымохода или дымовой трубы и т. п.¹⁾

Всю неопредѣленность даннаго вопроса приходится особенно испытывать при попыткѣ введенія практической задачи опредѣленія температуры различными способами. Прежде всего является крайне труднымъ найти подходящий лабораторный способъ нагрѣванія, который давалъ бы возможность нагрѣть вполне равномерно хотя бы маленькое пространство. Ни посредствомъ какого бы то ни было пламени, ни при помощи коксоваго горна съ дутьемъ мы этого достигнуть не можемъ, т. к. реакція горѣнія протекаетъ въ сравнительно ограниченномъ пространствѣ, къ тому-же еще и непостоянномъ. Единственнымъ, подходящимъ для даннаго опыта приборомъ является электрическая печь, нагрѣваемая спиралью²⁾.

Мы будемъ примѣнять маленькую электрическую тигельную печь Гергеуса, въ стѣнки шамотнаго тигля которой, хорошо изолированнаго въ отношеніи теплопроводности, особымъ образомъ вложена платиновая лента (Лит. 5 стр. 486). Измѣреніе температуры внутренняго пространства печи, нагрѣтаго до желтаго каленія, мы произведемъ тремя, принципиально отличающимися другъ отъ друга, способами: 1) конусами Сегера 2) термо-электрическимъ пирометромъ Ле-Шателье и 3) оптическимъ пирометромъ Ваннера.

¹⁾ См. напр. измѣреніе температуры топочнаго пространства Лит. 5 стр. 129; Лит. 24 стр. 10; Лит. 33 стр. 39.

²⁾ См. опыты съ конусами Сегера въ Берлинской Physik. techn. Reichsanstalt, сообщ. въ „Chemiker Ztg“ 1910 стр. 317“.

Конуса Сегера — представляют собой маленькія трехгранныя пирамиды, сдѣланныя изъ смѣси тугоплавкой глины-каолина (силиката алюминія) и флюсовъ: мѣла, полевого шпата, окиси свинца, борной кислоты и т. д.¹⁾ Прямого измѣренія температуры конусами Сегера производить нельзя, можно лишь опредѣлить предѣлы искомой температуры. Для этого въ изслѣдуемое пространство обыкновенно помѣщаютъ три конуса, точки плавленія которыхъ находятся ближе всего къ предполагаемой температурѣ. Каждый конусъ номерованъ и каждому номеру соответствуетъ опредѣленная температура, указанная въ прилагаемой таблицѣ.

Температуры плавленія конусовъ Сегера.

022 = 590 ^o	06 = 1030 ^o	10 = 1330 ^o	25 = 1630 ^o
021 = 620	05 = 1050	11 = 1350	26 = 1650
020 = 650	04 = 1070	12 = 1370	27 = 1670
019 = 680	03 = 1090	13 = 1390	28 = 1690
018 = 710	02 = 1110	14 = 1410	29 = 1710
017 = 740	01 = 1130	15 = 1430	30 = 1730
016 = 770	1 = 1150	16 = 1450	31 = 1750
015 = 800	2 = 1170	17 = 1470	32 = 1770
014 = 830	3 = 1190	18 = 1490	33 = 1790
013 = 860	4 = 1210	19 = 1510	34 = 1810
012 = 890	5 = 1230	20 = 1530	35 = 1830
011 = 920	6 = 1250	21 = 1550	36 = 1850
010 = 950	7 = 1270	22 = 1570	37 = 1870
09 = 970	8 = 1290	23 = 1590	38 = 1890
08 = 990	9 = 1310	24 = 1610	39 = 1910
07 = 1010			

Конуса Сегера вслѣдствіе дешевизны и простоты обращенія примѣняются преимущественно въ кирпичедѣлательномъ и въ керамическихъ производствахъ, гдѣ матеріалъ не долженъ быть нагрѣваемъ выше извѣстной температуры. Для этой цѣли въ печь ставятъ въ особой шамотной коробкѣ 2—3 конуса и по нимъ регулируютъ температуру печи.

Термо-электрическій пирометръ Ле-Шателье (рис. 4) представляетъ собой термо-элементъ, состоящій изъ платины и сплава платины съ 10^o/_o родія. Электро-движущая сила термоэлемента (въ милливольтъ), возникающая при нагрѣваніи мѣста спая, измѣряется гальванометромъ, увеличиваясь съ повышеніемъ температуры (эта пропорціональность, однако, въ тѣхъ же предѣлахъ температуры не дѣйствительна для всякой пары). Измѣрять можно температуры до 1600^o Ц. Для защиты отъ разрушительнаго дѣйствія изслѣдуемой среды, термоэлементъ можно вложить въ стальную, никкелевую, фарфоровую или графитовую оболочку, смотря по тому какой матеріалъ для даннаго случая является наиболѣе прочнымъ.

Въ пирометрѣ Ваннера (рис. 5) измѣреніе температуры основано на сравненіи силы поляризованнаго свѣта, испускаемаго нагрѣтой средой съ силой тоже поляризованнаго свѣта маленькой электрической лампочки,

¹⁾ Подробнѣе: Лит. 4 стр. 85; лит. 5 стр. 122; лит. 36 стр. 63.

помѣщенной на самомъ приборѣ и питаемой аккумуляторомъ. Лучи свѣта нагрѣтой среды пройдя щель b и лучи свѣта лампочки L , пройдя щель a падаютъ на чечевицу O_1 , принимаютъ параллельное направлѣніе, затѣмъ разлагаются призмой K и проходятъ черезъ двѣ николевыхъ призмы W , поляризуясь во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ. За призмами W помѣщена пластинка A , съ соответствующими отверстиями, пропускающая только красные лучи, которые затѣмъ падаютъ на собирательную чечевицу, въ результатѣ чего получаются два, окрашенные въ красный цвѣтъ изображенія a_1 и b_1 щелей a и b . Полученныя изображенія, поляризованныя во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ разсматриваютъ черезъ николеву призму N —анализаторъ, вращая его до тѣхъ поръ пока яркость обоихъ изображеній не будетъ одинакова. Уголъ вращенія, пропорціональный силѣ свѣта изслѣдуемаго источника, показывается стрѣлкой e на дискѣ d съ дѣленіями. А температура вычисляется изъ силы свѣта по такъ наз. фотометрическому закону лучеиспусканія, который даетъ соотношеніе между длиною волны, силою потока лучистой энергіи (въ данномъ случаѣ свѣтовой) и температурою.

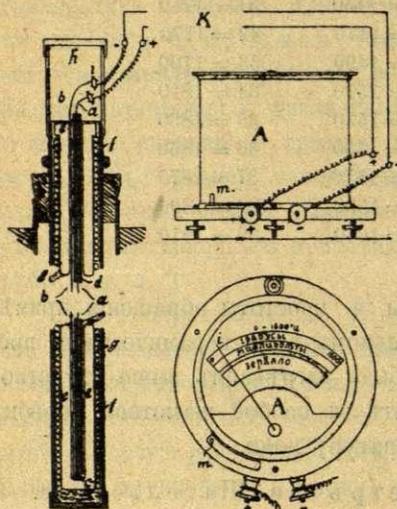


Рис. 4.

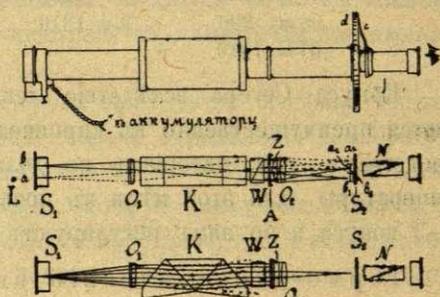


Рис. 5.

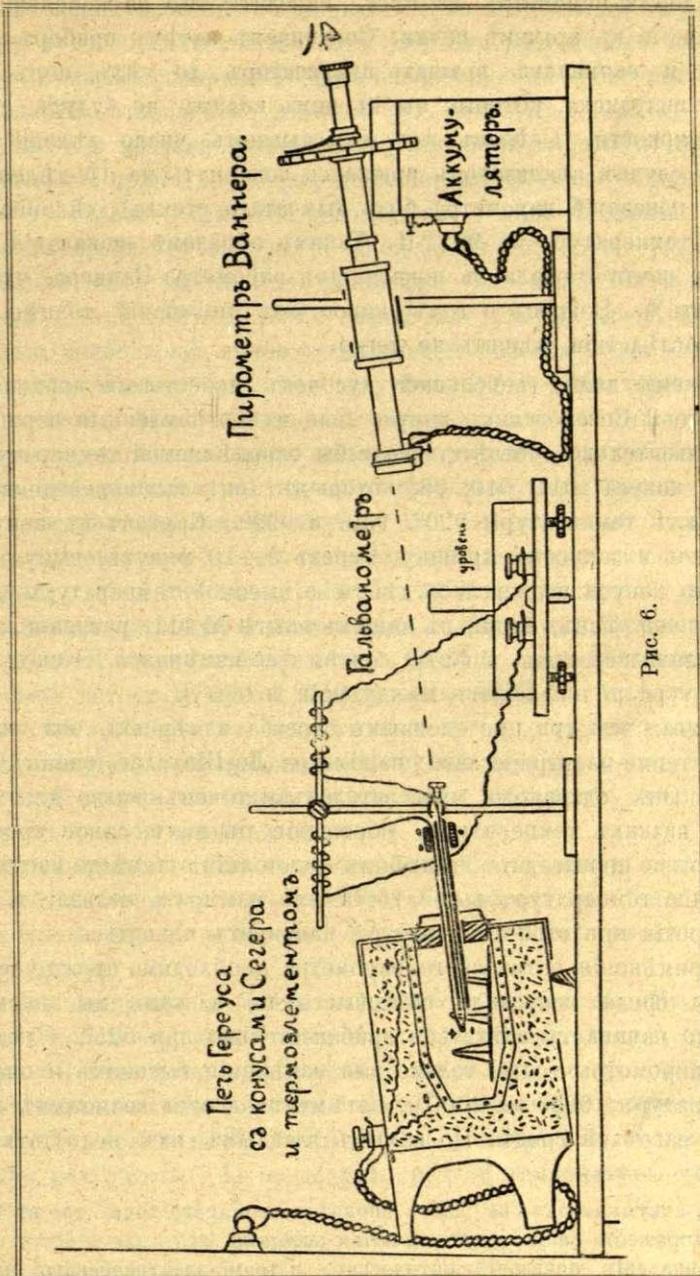
Вернемся къ нашему опыту.

Какъ мы уже говорили, для опредѣленія температуры возьмемъ маленькую электрическую тигельную печь Гереуса (въ 110 вольтъ). Для большаго удобства поставимъ ее наклонно (см. рис. 6, изображающій всю обстановку опыта).

Сначала возьмемъ пирометръ Ле-Шателье и введемъ мѣсто спая проволокъ, составляющихъ пирометръ, внутрь печи черезъ отверстие въ крышкѣ. Противоположные концы¹⁾ проволокъ прикрѣпляемъ къ зажимамъ милливольтметра, который специально градуированъ для каждой пары такихъ проволокъ, т. е. сила тока кромѣ температуры зависитъ еще и отъ состава

¹⁾ Строго говоря они должны находиться въ пространствѣ съ температурой ϑ $^{\circ}$.

сплава. Милливольтметръ устанавливается предварительно вполнѣ горизонтально съ помощью, находящагося на немъ уровня. Соединивъ затѣмъ печь со штепселемъ и освободивъ стрѣлку¹⁾ милливольтметра начинаемъ наблюдать ея показанія. Въ данномъ опытѣ стрѣлка черезъ нѣкоторое время



дошла до 975° и болѣе уже не поднималась. Слѣдовательно, температура внутри печи достигла 975° Ц.

¹⁾ Во избѣжаніе порчи стрѣлку прибора освобождаютъ только во время опыта.

Возьмемъ теперь оптическій пирометръ Ваннера. Вынувъ дымчатое стеклышко, которымъ ослабляютъ яркость свѣта при измѣреніи очень высокыхъ температуръ, помѣстимъ пирометръ въ зажимъ, укрѣпленный на штативѣ. Последнее дѣлаемъ потому, что поле зрѣнія пирометра маленькое и было бы трудно держа пирометръ на вѣсу, наводить его на небольшое, свѣтящееся отверстіе въ крышкѣ печки. Соединяемъ затѣмъ приборъ съ аккумуляторомъ¹⁾ и начинаемъ вращать анализаторъ до тѣхъ поръ, пока оба свѣтящіеся полудиска, которые мы въ немъ видимъ не будутъ совершенно одинаковой яркости. Слѣлавъ это отсчитываемъ число дѣленій на дискѣ. Въ нашемъ случаѣ анализаторъ пришлось повернуть на 15 дѣленій. Въ таблицѣ (для показаній пирометра безъ дымчатого стекла) дѣленію 15 соотвѣтствуетъ температура въ 985° Ц. Такимъ образомъ показанія пирометра Ле-Шателье почти совпали съ показаніями пирометра Ваннера, что и нужно было ожидать²⁾. Вопросъ о томъ какое изъ показаній точнѣе, какъ мы увидимъ впоследствии, рѣшить не легко.

Вырѣжемъ далѣе небольшой кусочекъ азбестоваго картона и поставимъ на него 3 Сегеровскихъ конуса (или ихъ отломленные вершинки), которые приблизительно соотвѣтствовали-бы опредѣляемой температурѣ. Пусть это будутъ конуса 011; 010; 08, которымъ (см. вышеприведенную табл.) соотвѣтствуютъ температуры 920°, 950° и 990°. Картонъ съ конусами вложимъ въ печь и закроемъ крышку. Черезъ 5—10 минутъ, вынувъ картонъ, увидимъ, что конуса подверглись дѣйствію высокой температуры не въ одинаковой степени. Такъ, напр., въ нашемъ опытѣ № 011, расплавился совѣсьмъ у № 010 оплавилась края, а № 08 совѣсьмъ не измѣнился. Отсюда слѣдуетъ, что температура печки лежитъ между 950° и 990° Ц.

Сравнивая всѣ три приведенныхъ способа измѣренія, мы видимъ, что на сторонѣ термо-электрическаго пирометра Ле-Шателье очень много преимуществъ. Онъ одинаково чувствителенъ и точенъ какъ для высокыхъ, такъ и для низкихъ температуръ, обращеніе съ нимъ самое простое и наблюденія можно производить на любомъ разстояніи отъ мѣста изслѣдованія³⁾. Къ сожалѣнію температуръ выше 1600° имъ измѣрять нельзя, т. к. сплавъ платины и родія при этой температурѣ начинаетъ плавиться.

Для примѣненія оптическаго пирометра необходимо прежде всего чтобы изслѣдуемая среда испускала свѣтовые лучи, а какъ мы знаемъ всякое твердое тѣло начинаетъ свѣтиться приблизительно при 525°. Слѣдовательно оптическіе пирометры годны только для измѣренія высокыхъ и очень высокыхъ температуръ (625° до 4000°). Затѣмъ не всегда возможенъ и удобенъ доступъ къ нагрѣтой средѣ. Но самымъ главнымъ ихъ недостаткомъ явля-

1) Т. к. аккумуляторъ не даетъ вполне постояннаго тока, то въ новѣйшихъ приборахъ напряженіе регулируютъ включая реостатъ.

2) О совпаденіи показаній оптическаго и термо-электрическаго пирометровъ съ точками плавленія сегеровскихъ конусовъ см. лит. 36 стр. 131; лит. 5 стр. 89; а также Feldt Chem. Ind. 1903. 258.

3) Внутреннее сопротивление гальванометра очень значительно и потому сопротивление даже довольно длинныхъ проводовъ существеннаго значенія не имѣетъ.

ется неправильность показаній въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Какъ извѣстно лучеиспускательная способность (калорическая, а не люминисценція и флюоресценція) разныхъ тѣлъ не одинакова.

Не только лучеиспускательная способность газовъ значительно меньше лучеиспускательной способности жидкихъ и въ особенности твердыхъ тѣлъ, но и между лучеиспускательными способностями отдѣльныхъ твердыхъ тѣлъ существуетъ большая разница. Теоретически хорошо обоснованы лишь законы лучистой энергіи, относящіяся къ такъ наз. абсолютно черному тѣлу, которое поглощаетъ и испускаетъ максимумъ лучистой энергіи¹⁾. Такихъ вполнѣ черныхъ тѣлъ въ природѣ, однако, не существуетъ, самое черное вещество — сажа тоже не идеально въ этомъ отношеніи. Чтобы показать на примѣрѣ какая можетъ произойти ошибка въ наблюденіи влѣдствіе различной лучеиспускательной способности, предположимъ что мы сдѣлали какой-нибудь рисунокъ на платиновой пластинкѣ сажей или окисью желѣза веществами, обладающими наибольшей лучеиспускательной способностью. Накаливъ затѣмъ пластинку мы замѣтимъ, что рисунокъ будетъ намъ казаться свѣтлымъ на болѣе темномъ фонѣ. Этимъ обстоятельствомъ мы были бы введены въ заблужденіе, наблюдая такую пластинку, черезъ оптический пирометръ и рѣшили-бы, что температура окиси желѣза или сажи выше температуры платины, чего нѣтъ на самомъ дѣлѣ.

Для полученія лучей, испускаемыхъ абсолютно чернымъ тѣломъ Кирхгофъ указалъ другой способъ. По его мнѣнію въ замкнутомъ пространствѣ, нагрѣтомъ на равномерную температуру, должны находиться только пучки черныхъ лучей. Если въ стѣнкѣ такого прибора сдѣлать отверстіе, то будетъ выходить потокъ лучистой энергіи, состоящей изъ отдѣльныхъ пучковъ лучей, испускаемыхъ самимъ веществомъ и лучей, отраженныхъ внутренними стѣнками замкнутого пространства. Въ суммѣ эти пучки будутъ давать потокъ лучистой энергіи, который испускало-бы абсолютно черное вещество по размѣрамъ равное площади отверстія.

Такимъ образомъ наша тигельная печь, хотя стѣнки ея и изъ плохого лучеиспускателя, представляетъ именно такое черное пространство и черные лучи, выходящіе черезъ отверстіе въ крышкѣ будутъ вполнѣ опредѣлять температуру печи.

Всѣ эти соображенія относятся цѣликомъ и къ измѣренію температуры любой заводской печи, напр. мартеповской, которая хотя и представляетъ собой какъ бы замкнутое пространство, но далеко не вездѣ одинаково нагрѣтое. Отдѣльныя болѣе нагрѣтыя части внутреннихъ стѣнокъ печи будутъ давать и болѣе яркія изображенія въ анализаторѣ пирометра²⁾. Поэтому полученные результаты: 1) не дадутъ средней температуры всего внутрен-

¹⁾ Подробнѣе объ этихъ законахъ и объ изслѣдованіяхъ Луммера и Принггейма см. лит. 42, 43, 44, 45.

²⁾ Степень свѣченія пламени—его яркость зависитъ отъ находящихся въ немъ раскаленныхъ частицъ углерода. Чѣмъ больше будетъ такихъ частицъ, тѣмъ точнѣе будетъ температура самого пламени, опредѣленнаго пирометромъ. Подробнѣе см. лит. 45, стр. 274.

ного пространства печи, а лишь отдѣльныхъ его частей, и 2) не будутъ вполне точными, т. к. это внутреннее пространство не представляетъ собой идеальнаго замкнутаго пространства. Еще худшій результатъ мы получили бы опредѣляя температуру плохого лучеиспускаателя, находящагося въ открытомъ пространствѣ, напомнимъ лишь о вышеуказанномъ примѣрѣ платиновой пластинки съ рисункомъ на ней¹⁾.

Кромѣ указанныхъ существуетъ еще много другихъ способовъ измѣренія температуръ, о которыхъ упомянемъ лишь вкратцѣ. Наиболѣе извѣстный—измѣреніе ртутными термометрами, но температуръ выше 270° ими измѣрять нельзя, т. к. при этой температурѣ ртуть кипитъ въ разрѣженномъ пространствѣ (воздухъ изъ термометра удаляется во избѣжаніе окисленія ртути). Накачивая въ термометръ азотъ или CO₂, которые на ртуть не дѣйствуютъ, и повышая такимъ образомъ давленіе, а также замѣняя обыкновенное стекло кварцевымъ, можно измѣрять температуры до 750°²⁾. Для большаго удобства наблюденія примѣняются ртутные стальные термометры, снабженные стрѣлкой (Steinle и Hartung; Schaeffer и Buddenberg) и тальпотазиметры, въ которыхъ давленіе производится насыщенными парами жидкостей, имѣющихъ низкія точки кипѣнія (эфиръ и т. п.). Для измѣренія невысокихъ температуръ (до 600°) примѣняются также пирометры въ которыхъ термоэлементъ состоитъ не изъ дорогихъ платины и родія, а изъ болѣе дешевыхъ никкеля, серебра, желѣза, мѣди, константана (сплава мѣди съ никкелемъ и марганцемъ) и т. п.

Кромѣ термоэлектрическихъ пирометровъ существуютъ еще такіе, въ которыхъ измѣряется электропроводность платиновой спирали, нагрѣваемой до температуры изслѣдуемаго пространства (пирометры Сименса, Гергеуса, Германъ и Брауна и др.).

Существуетъ далѣе цѣлый рядъ оптическихъ пирометровъ. Укажемъ

¹⁾ Оказывается, однако, что при опредѣленіи температуры раскаленной платины ошибка не столь велика, какъ можно было-бы ожидать. При 800° она не превышаетъ 40°, а при 1600°—100° Ц. Объясняется это дѣйствительностью фотометрическаго закона въ его цѣломъ и для плохихъ твердыхъ лучеиспускаателей; подвергаются измѣненію лишь значенія постоянныхъ этого закона (лит. 45, стр. 270). Строго говоря и измѣренія температуры термо-электрическимъ пирометромъ слѣдуетъ производить въ замкнутомъ пространствѣ, т. е. пространствѣ, насыщенномъ абсолютно черными лучами. Такъ какъ въ противномъ случаѣ сама термо-электрическая пара подвергается лучеиспусканію и температура ея понижается. Чѣмъ больше діаметръ проволоки, тѣмъ ниже дѣйствительной опредѣляемая температура и потому показанія пирометра слѣдовало-бы перечислить на проволоку, имѣющую діаметръ = 0. (Лит. 45, стр. 278 и сл.). По изслѣдованіямъ Байкова (Изв. Спб. Пол. Инст. 1904; стр. 137; лит. 36, стр. 90) температура газовой горѣлки опредѣляется значительно ниже, если электрическая пара вставлена въ кварцевую трубочку, если-же трубочку обернуть платиной, то наоборотъ результатъ получается болѣе высокій. Последнее явленіе Байковъ объясняетъ повышеніемъ температуры вслѣдствіе каталитическаго дѣйствія платины на пламя. Габерже, покрывъ кварцевую трубочку порошкомъ платины, получилъ пониженіе температуры и выводитъ отсюда заключеніе, что главную роль играетъ не каталитическій процессъ, а лучеиспусканіе (лит. 45, стр. 279).

²⁾ См. Chemiker Ztg. 1910 стр. 339.

здѣсь лишь на новый пирометръ Фери (лит. 36 стр. 103). Въ немъ потокъ лучистой энергіи, испускаемый изслѣдуемымъ веществомъ, падая на термо-электрическую пару превращается въ электрическую энергію, измѣряемую гальванометромъ.

Наиболѣе отличается отъ описанныхъ системъ пирометръ Юлинга (лит. 36 стр. 31), примѣняемый довольно часто для измѣренія температуры дутья въ металлургическихъ производствахъ. Въ немъ нагрѣтый воздухъ, температуру котораго желаютъ узнать прогоняется черезъ платиновую трубку и въ ней охлаждается до постоянной температуры (100°). Тогда, какъ само собой понятно, давленіе у входного конца трубки будетъ больше такового у выходного конца. Эта разница давленій увеличивается при повышеніи температуры и наоборотъ. Опредѣляя ее находятъ соответствующую температуру.

На принципѣ Сегеровскихъ конусовъ основано также примѣненіе различныхъ сплавовъ, имѣющихъ разныя точки плавленія (сплавъ Принсепы сплавы изъ золота платины и серебра, сплавы Брэрлей—„сентинэль“ изъ различныхъ солей и т. д.). На практикѣ, если измѣреніе температуры приходится производить постоянно многіе приборы снабжаются регистрирующими аппаратами различнаго устройства (о значеніи регистр. приборовъ для практики см. задачу V).

Какъ мы видѣли показанія нашихъ приборовъ не совпали, это неволью наводитъ насъ на мысль какое изъ показаній вѣрно и какимъ образомъ вообще производится провѣрка приборовъ, измѣряющихъ температуру. Въ обычной лабораторной практикѣ для этой цѣли примѣняютъ такъ наз. нормальные термометры, которые не говоря уже о ихъ дороговизнѣ, являются лишь посредниками и сами по себѣ требуютъ также провѣрки, къ слову сказать весьма трудной, какъ въ практическомъ, такъ и въ теоретическомъ отношеніи. Между тѣмъ какъ понятію „калорія“ соответствуетъ вполне определенное, поддающееся измѣренію количество энергии-теплоты, необходимой скажемъ для нагрѣванія 1 литра воды на 1°C . (мад. кал.), понятіе „градусъ“ есть величина отвлеченная, которую экспериментальнымъ путемъ опредѣлить нельзя. Погружая термометръ въ сосудъ съ тающимъ льдомъ и отмѣчая положеніе столбика ртути, называютъ эту точку нулевой; затѣмъ опускаютъ тотъ-же термометръ въ кипящую воду (при баром. давл. въ 760 м.м.) и находятъ такимъ-же образомъ другую точку, которую отмѣчаютъ цифрой 100. Это такъ наз. реперы—постоянныя точки. Раздѣливъ разстояніе между 0 и 100 на сто равныхъ частей получаютъ величину, соответствующую одному градусу по шкалѣ Цельсія.

Мы видимъ, что не только выборъ вещества—въ данномъ случаѣ воды—произволенъ, но еще болѣе произвольно и само дѣленіе, основанное на предположеніи о строгой пропорціональности, существующей между расширеніемъ ртути и температурой.

Предположеніе о пропорціональности расширенія ртути въ свою очередь требуетъ доказательства, а доказать это прямымъ экспериментальнымъ путемъ нельзя. Такимъ образомъ произвольна и сама величина одного градуса.

Ртутные термометры принято провѣрять, сравнивая ихъ показанія съ показаніями такъ наз. воздушныхъ термометровъ, въ которыхъ температура опредѣляется по измѣненію упругости постоянного объема нагрѣваемаго газа. Но законъ пропорціональности между температурой какого-либо газа и его упругостью требуетъ также доказательства, для различныхъ газовъ онъ по крайней мѣрѣ даетъ, не совпадающіе другъ съ другомъ результаты. Требуется опять-таки экспериментальное подтвержденіе.

Пользуясь законами термодинамики относительно превращенія энергіи идеальнаго газа по циклу Карно, знаменитый англійскій физикъ Томсонъ доказалъ, что лишь наполнивъ воздушный термометръ „идеальнымъ газомъ“, который не затрачиваетъ никакой внутренней работы на измѣненіе своего состоянія, можно достигъ того, что упругость газа будетъ пропорціональна его температурѣ. Далѣе онъ установилъ, что опредѣляя посредствомъ опыта внутреннюю работу расширения газа при различныхъ температурахъ, можно найти соответствующую поправку для каждаго газа. При этомъ оказалось, что водородъ весьма мало отличается отъ идеальнаго газа и потому является наиболѣе пригоднымъ для воздушнаго термометра¹⁾.

Такимъ образомъ и показанія пирометровъ можно провѣрить по такъ наз. абсолютной или термодинамической шкалѣ температуръ, устанавливаемой водороднымъ термометромъ. Къ сожалѣнію можно провѣрять лишь температуры приблизительно до 1600° Ц., т. к. при болѣе высокой температурѣ матеріалъ—фарфоръ, платина, иридій—изъ котораго сдѣланъ воздушный термометръ, начинаетъ плавиться.

Пирометромъ Ваннера, какъ уже было говорено, можно опредѣлять очень высокія температуры, напр., направляя пирометръ на пламя электрической дуговой лампы, можно опредѣлить температуру угля въ 3600° Ц., хотя это еще не будетъ температура самого пламени.

Провѣрить найденный результатъ абсолютной шкалой воздушнаго термометра практически, разумѣется нельзя. Но оказывается, что законы лучистой энергіи для абсолютно черныхъ тѣлъ вообще настолько точны, что является возможность, пользуясь мыслью Кирхгофа относительно абсолютно чернаго пространства, установить лабораторнымъ путемъ шкалу температуръ, основанную на законахъ лучистой энергіи. Посредствомъ этой шкалы можно провѣрять показанія также и оптическихъ пирометровъ.

Какъ видно изъ этой задачи сознательное и вдумчивое отношеніе къ самому простому опыту, невольно наводитъ мысль на очень важные, но вмѣстѣ съ тѣмъ теоретически весьма трудно разрѣшимые вопросы, показывая, однако, всю практическую важность правильнаго рѣшенія ихъ.

¹⁾ Подробнѣе въ нижеуказанной литературѣ, а также у Хвольсона. Курсъ физики III стр. 302; у Шиллера: Основные законы термодинамики; Ж. Физ.-Хим. О 1902 (1) 377; у Котурницкаго: циклъ Карно и абсолютн. шкала темп. Инженеръ 1900 стр. 371.

Литература по термометрии и пирометрии.

- 36) Малъевъ В. Л. Измѣреніе температуръ для техническихъ цѣлей. Томскъ 1910 г.
- 37) Егоровъ, статья въ „Врем. Гл. Пал. Мѣръ и Вѣсовъ“ 1895 г. стр. 55.
- 38) Bolz „Die Pyrometer“ 1888 г.
- 39) Barus, Die physikalische Behandlung und Messung hoher Temperaturen 1892 г.
- 40) Le-Chatelier et Boudonard. Mesure des temperatures élevées. Paris 1900 г.
- 41) Статья въ зап. И. Р. Т. О. 1893 г. II.
- 42) Lummer „Die Ziele der Leuchttechnik“. Journ. f. Gasbel. 1903 г. и брошюра.
- 43) Planck M. Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung Leipzig 1906.
- 44) Михельсонъ, статья въ Ж. Р. Физ.—Хим. О. отд. физ. 1902 I стр. 157.
- 45) Haber F. Thermodynamik technischer Gasreaktionen Berlin 1905 г.
- 46) Нямбицкій. Способы и приборы для измѣренія температуры. Уральскій Техникъ 6/8 1909 г.

См. также общую литературу и специальную литературу по изслѣдованію топокъ, указанную въ концѣ задачи V а также въ учебникахъ физики: Хвольсона и др.

Вся журнальная литература, какъ русская, такъ и иностранная приведена у Малъева.

Задача VII. Полученіе и изслѣдованіе генеративныхъ газовъ.

Въ прежнія времена во всѣхъ лабораторіяхъ для нагрѣванія и для полученія высокихъ температуръ примѣнялся древесный уголь, но затѣмъ онъ былъ совершенно вытѣсненъ свѣтильнымъ газомъ, а гдѣ такового не имѣется—бензиномъ, керосиномъ и электричествомъ.

Нѣчто подобное наблюдается и въ заводской практикѣ. Тамъ гдѣ раньше исключительно примѣнялись дрова, торфъ, древесный и каменный уголь, теперь находятъ обширное примѣненіе генераторный газъ, нефтяные остатки, керосинъ и т. п. Причина та, что процессъ горѣнія жидкаго или газообразнаго топлива, протекая вполне равномерно и непрерывно, несравненно легче поддается регулировкѣ и происходитъ гораздо совершеннѣе процесса горѣнія топлива твердаго.

Укажемъ хотя бы на неудобства, связанные съ ручной подачей твердаго топлива въ топку, на постоянное стремленіе замѣнить ручную подачу механическими кочегарами, цѣпными колосниками и т. п. сложными устройствами, примѣняя которыя все-же невозможно достигнуть тѣхъ результатовъ, какихъ достигаютъ употребляя жидкое и газообразное топливо. И съ другой стороны укажемъ на паровой котель, отапливаемый нефтяными остатками. Не говоря уже о чрезвычайно высокой жаропроизводительности этого рода топлива, какъ простъ ухоть за топкой: достаточно повернуть маховичекъ вентиля въ ту или другую сторону и средняя температура внутри топки повышается или понижается сразу на сотни градусовъ, какъ легко можно работать почти съ теоретическимъ количествомъ воздуха и какъ экономно можно расходовать горючее.

Или возьмемъ топку генераторнымъ газомъ. Тутъ также очень легко вести процессъ горѣнія съ минимальнымъ количествомъ воздуха, безъ всякихъ потерь связанныхъ съ избыткомъ воздуха и образованіемъ продуктовъ неполнаго горѣнія. Кромѣ того, подогревая газъ и воздухъ передъ горѣніемъ, мы можемъ получать температуры, которыя съ трудомъ и при очень большомъ расходѣ топлива, можно было-бы достигнуть, примѣняя твердое горючее. Мало того этотъ подогревъ ведется за счетъ тепла продуктовъ горѣнія, покидающихъ печь (рекуперативныя и регенеративныя печи) чѣмъ достигается еще громадная экономія топлива. Вообще только съ примѣненіемъ газообразнаго топлива стали достаточно выгодны и даже вообще мыслимы очень многіе металлургическіе и иные процессы.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ земнаго шара газообразное топливо встрѣчается готовымъ въ видѣ такъ наз. естественнаго газа, напр. въ Пенсильваніи, на Кавказѣ, въ Карпатскихъ горахъ и въ др. мѣстахъ, (между прочимъ недавно присутствіе такого газа обнаружено и въ Самарской губ.).

Тамъ-же, гдѣ нѣтъ естественнаго газа, онъ легко замѣняется искусственнымъ, получаемымъ въ генераторахъ изъ всякаго рода твердаго топлива—дровъ, каменнаго угля, торфа. При этомъ горючее отнюдь не должно быть наилучшаго качества, вполне хорошій газъ можно получать изъ сучьевъ, щепокъ и опилокъ, а также изъ каменноугольныхъ отбросовъ содержащихъ болѣе 50% минеральныхъ веществъ.

Укажемъ наконецъ еще на непосредственное примѣненіе жидкаго и газообразнаго топлива въ столь распространенныхъ теперь такъ наз. двигателяхъ внутренняго сгорания въ которыхъ, собственно, происходитъ болѣе совершенная утилизація процесса превращенія химической энергіи топлива въ механическую энергію, чѣмъ въ паровыхъ машинахъ. Этимъ путемъ мы несомнѣнно приближаемся къ рѣшенію такихъ важныхъ вопросовъ, какъ напр. использованіе торфяниковъ. о чемъ у насъ впоследствии еще будетъ рѣчь. Изъ всего сказаннаго ясно, какое громадное значеніе имѣетъ примѣненіе жидкаго и газообразнаго топлива, какъ для совершенства самаго процесса горѣнія и полученія наивысшихъ температуръ, такъ и для общей экономіи государства ¹⁾.

¹⁾ Какимъ вниманіемъ пользуется данный вопросъ въ настоящее время можно судить по тѣмъ многочисленнымъ комиссіямъ, которымъ многія государства поручаютъ выясненіе и разработку вопросовъ, связанныхъ съ введеніемъ жидкаго и газообразнаго топлива въ той или иной области техники. Такъ въ самое послѣднее время англійское адмиралтейство рѣшило ввести во флотъ нефтяное отопленіе. Въ различныхъ мѣстахъ Англійи и Шотландіи строятся и отчасти уже построены грандіозныя нефте-хранилища. На нашихъ новыхъ дредноутахъ для полученія электрической энергіи поставлены дизель-моторы, работающіе нефтяными остатками. Въ нашемъ рѣчномъ судоходствѣ съ каждымъ днемъ все болѣе и болѣе прочное положеніе завоевываютъ себѣ, такъ наз. „теплоходы“ съ двигателями внутренняго сгорания. Въ Германіи обращаютъ теперь большое вниманіе на использованіе отброса перегонки каменнаго угля—дегтя; въ большихъ объявленіяхъ, помѣщенныхъ въ лучшихъ журналахъ это топливо называютъ идеальнымъ.

Чтобы познакомиться со свойствами идеального топлива — генераторного газа, попробуем получить генераторный газъ въ лабораторномъ приборѣ, изслѣдуемъ этотъ газъ и посмотримъ какое вліяніе оказываетъ способъ получения на его составъ и свойства. За исходный матеріалъ для получения генераторного газа возьмемъ древесный уголь о неудобствѣ непосредственнаго примѣненія котораго для лабораторныхъ цѣлей мы уже говорили раньше. Приборы необходимые для получения газа изображены на рис. 7¹⁾.

С представляетъ паровой котелокъ, дающій паръ постояннаго давленія приблизительно въ 0,15 атмосферы. Сверху въ котелокъ вставлена трубка s, немного не доходящая до его дна, вверху трубка s кончается въ

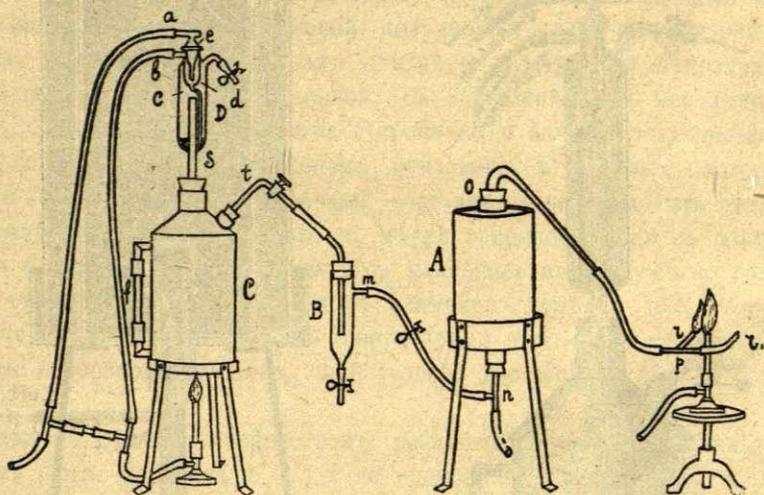


Рис. 7.

стеклянномъ приборѣ D — регуляторъ (который вмѣстѣ съ котломъ изображенъ на отдѣльномъ рис. 8 въ нижнюю часть котораго налито немного ртути. Въ приборѣ D впаянъ резервуаръ d, переходящій снизу въ тонкую трубочку c, конецъ которой погруженъ въ ртуть. Резиновая газоотводная трубка b соединяется патрубкомъ съ резервуаромъ d, а сверху въ послѣдній вставлена часть e, имѣющая видъ крана и соединенная съ газопроводной трубкой a. t — пароотводная трубка съ краномъ и f — трубка для показанія уровня воды въ котелкѣ. Пустимъ изъ газопровода газъ въ трубку a, и газъ, не встрѣчая препятствій, пойдетъ черезъ d въ трубку b и мы можемъ зажечь горѣлку подъ котелкомъ. Какъ только вода закипитъ и давленіе внутри котелка повысится, повысится одновременно давленіе и въ приборѣ D, ртуть по трубочкѣ c поднимется въ резервуаръ d и закроетъ нижнее отверстіе части e, вслѣдствіе чего газъ уже не можетъ попасть въ трубку b. Чтобы горѣлка не потухла въ нее посредствомъ соединительнаго газопровода, въ который

¹⁾ Часть клише рисунковъ, помѣщенныхъ ниже, любезно прислана фирмой „Vereinigte Fabriken für Laboratoriumsbedarf“ Berlin (V. F. L.), которая изготовляетъ эти приборы по чертежамъ и указаніямъ проф. Блахера.

вставлена капиллярная трубочка, поступает немного газа. При уменьшившемся пламени горѣлки котелокъ немного охладится, давление понизится, а вмѣстѣ съ нимъ понизится и уровень ртути въ резервуарѣ d, газъ снова попадетъ въ горѣлку и появится пламя нормальной величины. Такимъ образомъ пламя горѣлки, то уменьшаясь, то увеличиваясь будетъ держать въ котелкѣ все время одинаковое давление.

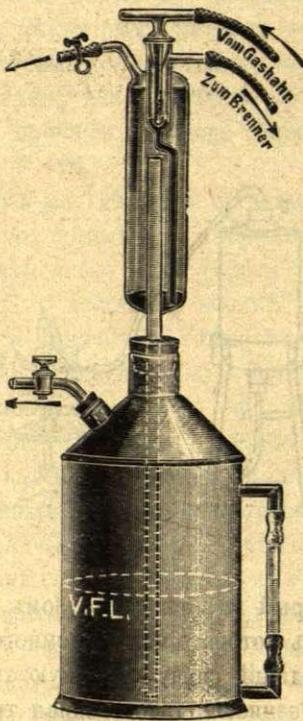


Рис. 8.

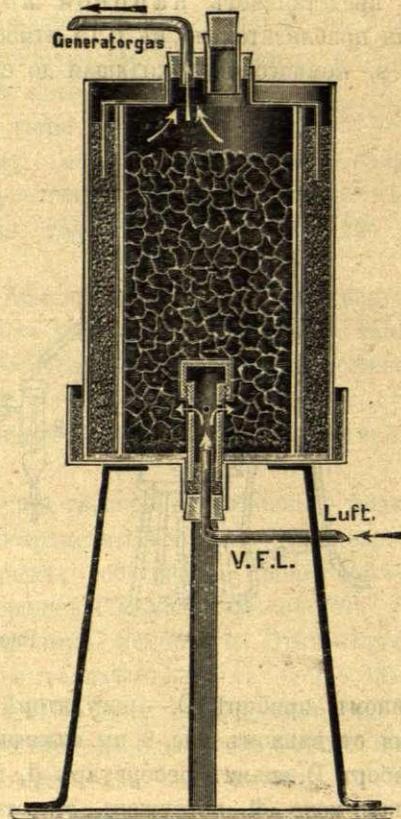


Рис. 9.

Открывъ кранъ въ паротводящей трубкѣ t мы впускаемъ паръ сначала въ водоотдѣлитель В изъ котораго онъ по патрубку m и резиновой трубкѣ попадетъ въ тройникъ n, вставленный снизу въ генераторъ. А генераторъ, сѣчение котораго показано на рис. 9. Онъ состоитъ изъ двухъ желѣзныхъ цилиндровъ, вставленныхъ одинъ въ другой. Промежутокъ между ними засыпанъ пескомъ. Цилиндры стоятъ въ поддонѣ на листѣ асбестоваго картона. Поддонъ наполненъ пескомъ и снизу въ него вставленъ патрубковъ, закрытый пробкой черезъ которую пропущена трубка n. Внутри средняго цилиндра, внизу находится обрѣзокъ желѣзной трубки, съ навинченной на него сверху крышкой, въ трубкѣ сдѣлано нѣсколько отверстій для выхода вдвухъ воздуха. Сверху генераторъ закрывается крышкой, диаметръ которой

нѣсколько меньше діаметра наружнаго цилиндра, такъ что закраинами крышка можетъ быть погружена въ песокъ, заполняющій промежутокъ между цилиндрами. Въ крышкѣ имѣется патрубокъ закрытый пробкой о, съ пропущенной черезъ нее газоотводной трубкой.

Наполнимъ генераторъ древеснымъ углемъ¹⁾ и вставимъ въ него зажженную бунзеновскую горѣлку концомъ внизъ. Черезъ минутъ 5—10, когда верхніе слои угля разгорятся, пускаемъ дутье, сначала слабое и постепенно добавляемъ уголь по мѣрѣ его сгорания, изрѣдка шуруя въ генераторѣ желѣзнымъ прутомъ. Послѣднее дѣлаютъ для того чтобы слой горячаго былъ всюду одинаковой, достаточной для нормальной газификаціи, толщины, а также чтобы предупредить образованіе пустотъ черезъ которыя можетъ пройти излишекъ воздуха, сжигающій полученный газъ въ верхней части генератора. Когда генераторъ какъ слѣдуетъ разогрѣется наполнимъ его углемъ до верху и закроемъ крышкой, съ вставленной въ нее отводящей трубкой о. Сейчасъ-же изъ отростка г тройника р начнетъ выдѣляться газъ, который соприкасаясь съ пламенемъ бунзеновской горѣлки, загорается. Въслѣдствіе своей бѣдности горючими составными частями газъ этотъ при низкой температурѣ горитъ только въ мѣстѣ соприкосновенія съ пламенемъ горѣлки и блѣдное, голубое пламя его, колеблясь въ воздухѣ не доходитъ до конца отростка г. Соприкасаясь съ пламенемъ горѣлки газъ загорается тѣмъ легче, чѣмъ лучше нагрѣтъ генераторъ и чѣмъ равномернѣе распределено въ генераторѣ топливо, при условіи достаточной высоты слоя послѣдняго.

Соединивъ затѣмъ посредствомъ резиновой трубки г' тройникъ р съ аппаратомъ Орса (см. задачу IV) и не прекращая выхода газа черезъ г' наберемъ пробу. Можно также набрать газъ и въ бутылки, описанныя въ задачѣ IV.

Набравъ пробу, прекращаемъ дутье въ генераторѣ, закрывая кранъ воздухопровода и откроемъ зажимъ на трубкѣ, соединяющей патрубокъ т съ тройникомъ п, впуская такимъ образомъ въ генераторъ вмѣсто воздуха паръ. Количество пара устанавливаемъ заранѣе посредствомъ крана на трубкѣ t. Наблюдая теперъ пламя газа, выходящаго изъ г, мы видимъ, что оно сейчасъ-же измѣняется, оно становится ярче, цвѣтъ его изъ голубого переходитъ въ желтый и выходящій газъ загорается сейчасъ-же по выходѣ изъ отростка г, продолжая горѣть и безъ горѣлки. Этотъ, совершенно отличный отъ предыдущаго, газъ, очевидно, весьма богатъ горючими составными частями. Поспѣшимъ набрать пробу²⁾ въ приборъ Орса, т. к. пламя газа начинаетъ быстро тускнѣть и уменьшаться, повидимому мѣняя свой составъ и бѣдность.

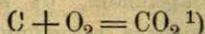
1) Нужно тщательно слѣдить за тѣмъ чтобы песочный затворъ былъ всюду совершенно плотенъ и не нарушался попавшими въ песокъ кусками угля.

2) Можно анализировать одновременно три пробы. Для этого, опредѣливъ содержаніе CO_2 и O_2 одной пробы, ее перегоняютъ въ пипетку прибора Орса, предназначенную для опредѣленія CO и набираютъ слѣдующую пробу, которую анализируютъ и перегоняютъ въ пипетку для поглощенія O_2 , послѣ чего можно набирать третью пробу.

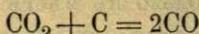
Если теперь убавить (но не прекратить) притокъ пара и одновременно пустить дутье, то потухшее было пламя снова разгорается, но ни яркость ни величина его не достигаютъ прежней степени, занимая среднее мѣсто между пламенемъ газа, полученнаго при вдуваніи смѣси пара и воздуха и пламенемъ газа, полученнаго при вдуваніи одного только воздуха. Отъ послѣдняго оно отличается тѣмъ, что не требуетъ для своего поддержанія бунзеновской горѣлки. Возьмемъ пробу и изслѣдовавъ ее увидимъ, что и по составу газъ этотъ представляетъ нѣчто среднее между газами, полученными нами ранѣе.

Посмотримъ какія реакціи происходятъ въ генераторѣ при продуваніи одного воздуха?

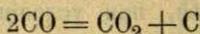
Поступая въ генераторъ снизу, воздухъ приходитъ въ соприкосновеніе съ раскаленнымъ углемъ и происходитъ горѣніе по формулѣ



Образовавшаяся CO_2 поднимается и встрѣчая на своемъ пути сильно раскаленный углеродъ, вступаетъ съ нимъ въ реакцію по формулѣ



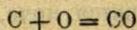
Эта реакція эндотермическая, возможна лишь при высокой температурѣ и обратима, т. е. можетъ протекать и въ обратномъ направленіи



при чемъ изъ CO въ присутствіи углерода образуется CO_2 и выдѣляется C въ видѣ сажи.

Согласно законамъ термодинамики, всякая реакція при повышеніи температуры протекаетъ съ поглощеніемъ теплоты и наоборотъ (лит. 5 стр. 191) Для данной реакціи по изслѣдованіямъ Boudouard, условія равновѣсія таковы: изъ CO_2 въ присутствіи углерода, при температурѣ $450^\circ C$. получается смѣсь, состоящая изъ 98% CO_2 и 2% CO , а при температурѣ $900^\circ C$.

¹⁾ Вопросъ о томъ не образуется-ли также CO по формулѣ



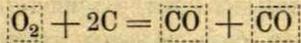
до сихъ поръ еще спорный.

Габеръ (лит. 45 стр. 238) считаетъ эту реакцію невозможной, ссылаясь на то, что при всѣхъ реакціяхъ окисленія присоединяется не одинъ атомъ (O), а одна молекула (O_2) кислорода. По его мнѣнію и данная реакція не должна составлять исключенія. Это правило подтверждается также изслѣдованіями Энглера и Вейсберга надъ такъ наз. реакціями самоокисленія (autooxydation).

Юптнеръ—же полагаетъ (лит. 7 томъ I, часть 1. стр. 286) на основаніи закона о ступеньчатыхъ реакціяхъ, что въ данномъ случаѣ при низкой температурѣ образуется сначала CO , а затѣмъ при болѣе высокой CO_2 . Оба названныхъ ученыхъ изслѣдовали причины образованія большого количества CO_2 въ воздушномъ газѣ—побочномъ продуктѣ при добычаніи водяного газа по способу Дельвика-Флейшера—и, конечно пришли къ противоположнымъ выводамъ (см. ниже).

смѣсь изъ 3,5% CO₂ и 96,5% CO. Вотъ почему для получения богатаго горючими веществами газа необходимо держать генераторъ горячимъ, въ особенности въ томъ поясѣ, гдѣ происходитъ эндотермическая реакція. Если вся CO₂, образовавшаяся въ нижней части генератора, перейдетъ въ CO, то, очевидно, теоретическій составъ такого газа—назовемъ его воздушнымъ—будетъ слѣдующій:

Кислородъ воздуха вступаетъ съ углеродомъ въ молекулярную реакцію по формулѣ



при чемъ первоначальный объемъ его, какъ видно, удваивается. Т. к. воздухъ содержитъ 79% N и 21% O, то, слѣдовательно, послѣ указанной реакціи получится $21 \times 2 = 42\%$ CO.

Перечисляя на сто получимъ

$$\frac{79 \times 100}{121} = 65,3\% \text{ N}$$

$$\frac{42 \times 100}{121} = 34,7\% \text{ CO}$$

Взявъ предварительную пробу газа, въ то время когда генераторъ еще не былъ достаточно нагрѣтъ, мы опредѣлили содержаніе CO₂ приблизительно въ 17%. Большое количество CO₂ указываетъ на недостаточную степень возстановленія, образовавшейся углекислоты.

Первая проба при болѣе сильномъ нагрѣвѣ генератора дала

CO ₂	11,4%	} 18,01% горючихъ составн. частей.
O	—	
H	3,9	
CO	12,83	
CH ₄	1,28	
N	70,59	

Какъ мы видимъ составъ и этого газа далека отъ теоретическаго и образованіе его происходило все еще при недостаточно высокой температурѣ. Т. к. въ совокупности реакція $\text{C} + \text{O} = \text{CO}$ экзотермическая и развиваетъ температуру достаточно высокую для возстановленія, то, очевидно, недостатокъ тепла объясняется потерей его вслѣдствіе сильнаго лучеиспусканія генератора. При разогрѣваніи генератора нами было замѣчено, что послѣ хорошей шуровки газъ сейчасъ-же начинаетъ лучше горѣть, пламя его дѣлается ярче и больше. Это объясняется уничтоженіемъ пустотъ и проходовъ между отдѣльными кусками топлива (о вліяніи пустотъ уже было говорено раньше). Далѣе, какъ это легко можетъ быть наблюдаемо и при нашемъ опытѣ, періодическая засыпь топлива также вліяетъ на равномерность газификаціи, охлаждая генераторъ.

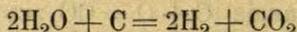
На практикѣ необходимо поэтому слѣдить за хорошей изоляціей генератора, а также за равномерностью опусканія слоя горючаго. Последнее достигаютъ, устраивая особыя мѣшалки (сист. Тальбота, Тальбота-Фрезера, Hughes) или придавая нижней и боковой части генератора вращательное движеніе (сист. Ремана, Hughes). Для болѣе удобной очистки колосниковъ и одновременной правильной осадки горючаго, колосниковой рѣшеткѣ придаютъ извѣстное движеніе, вращательное или перемежно поступательное (сист. Тайлора, Hughes, Кюшперса, Гильгера, Керпели и т. д.) или дѣлаютъ колосниковую рѣшетку выдвижной (сист. Блецингера). Имѣется также много системъ генераторовъ совсѣмъ безъ колосниковыхъ рѣшетокъ (сист. Дурффа, Моргана, Сепульхеръ и др.) въ которыхъ нижняя часть столба горючаго— (старки), погружена въ резервуаръ съ водой. Для непрерывной и равномерной загрузки генераторовъ, а также для удаленія золы и шлака дѣлаютъ различныя механическія приспособленія (сист. Посттера, Ремана, Деви, Бильдтъ, Моргана и др.). Какъ мы видимъ существуетъ очень много различныхъ системъ генераторовъ, изъ которыхъ каждая имѣетъ свои достоинства и свои недостатки и другой разъ отличается отъ сходной системы лишь небольшими конструктивными деталями. Повторяя слова Кертинга (лит. 58) можно сказать: всѣ усилія практической разработки существующихъ системъ генераторовъ направлены къ уменьшенію затраты ручного труда, къ равномерному полученію хорошаго газа при совершенномъ использованіи горючаго и къ достиженію по возможности непрерывной работы генератора, а непрерывный процессъ горѣнія газа являлся преимуществомъ этого топлива.

Прекративъ дутье и пустивъ въ генераторъ водяной паръ, мы, какъ уже было говорено, измѣнили составъ газа. Пары воды дѣйствуютъ на уголь по реакціи



образуя богатый горючими составными частями газъ, состоящій теоретически изъ равнаго числа молекулъ H_2 и CO т. е. изъ 50% H_2 и 50% CO .

Реакція эта эндотермическая и протекаетъ лишь при высокой температурѣ. При пониженіи температуры она происходитъ по формулѣ



при чемъ получается болѣе бѣдный газъ съ теоретическимъ составомъ въ 66,6% H_2 и 33,3% CO_2 .¹⁾

Вопросъ о вліяніи температуры на равновѣсіе этой реакціи разработанъ Вондонгардомъ Нанномъ и др. По теоріи для реакціи полученія водяного газа достаточна температура въ 750°, но на практикѣ она оказывается недостаточной и должна быть не ниже 1000°. Габеръ далъ объясненіе этому явленію на основаніи своихъ изслѣдованій надъ взаимнымъ равновѣсіемъ CO , H_2 , CO_2 и H_2O въ пламени бунзеновской горѣлки. Вопросъ осложняется еще тѣмъ, что названныя вещества должны находиться въ равновѣсіи и съ углеродомъ, который дѣйствуетъ къ тому-же каталитически, вліяя на скорость реакціи (лит. 45 стр. 292).

Проба газа (по счету вторая) взятая нами вскорѣ послѣ пуска пара, дала:

CO ₂	6,3 v/o	} 37,2 v/o горючихъ составн. частей.
O	3,4	
H	12,3	
CO	16,0	
CH ₄	8,9	
N	53,1	

Судя по анализу этотъ газъ былъ еще смѣшанъ съ воздушнымъ газомъ и потому мы повторили опытъ и взяли еще пробу (третью) въ тотъ моментъ, когда горючесть газа только что перешла свой максимумъ (при внимательномъ наблюденіи это можно замѣтить по яркости пламени)

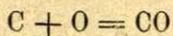
CO ₂	22,4 v/o	} 71,9 v/o горючихъ составныхъ частей.
O	0,4	
H	52,5	
CO	15,4	
CH ₄	4,0	
N	5,3	

Уменьшивъ впускъ пара, пустивъ дутье и взявъ затѣмъ черезъ нѣкоторое время пробу (четвертую) мы получили газъ состава:

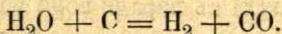
CO ₂	12,2 v/o	} 31,8 v/o горючихъ составныхъ частей.
O	0,4	
H	17,5	
CO	13,5	
CH ₄	0,77	
N	55,63	

Итакъ, пропуская черезъ генераторъ одинъ воздухъ, мы получили газъ съ 18,01 v/o горючихъ составныхъ частей. Пропуская одинъ паръ—газъ съ 71,9 v/o сор. сост. частей. Пропуская наконецъ смѣсь пара и воздуха—газъ съ 31,8 v/o гор. сост. частей.

Первый самый бѣдный газъ мы назвали воздушнымъ, второй самый богатый называется водянымъ газомъ. Третій же, который и по составу и по свойствамъ занимаетъ среднее мѣсто, представляя какъ-бы смѣсь перваго и втораго—смѣшаннымъ газомъ (Довсоновскимъ—по имени его изобрѣтателя). При полученіи смѣшаннаго газа имѣютъ мѣсто двѣ реакціи—экзотермическая воздушнаго газа



и эндотермическая водяного газа



Чѣмъ лучше изолировать генераторъ и чѣмъ меньше, слѣдовательно, онъ теряетъ тепла, тѣмъ благопріятнѣе условія для хода второй эндотермической реакціи, тѣмъ болѣе можно впускать пара и тѣмъ богаче получается смѣшанный газъ. Еще лучше если потеря тепла будетъ возмѣщаться извнѣ предварительнымъ подогреваніемъ воздуха и пара. Указавъ еще на необходимость держать всегда достаточно высокій слой горячаго и предупреждать образованіе пустотъ, мы получимъ тѣ главныя условія, которыми долженъ руководствоваться конструкторъ при проектированіи генераторовъ какъ для смѣшаннаго, такъ и для воздушнаго газа. Правда, тутъ еще обширное поле для всякихъ усовершенствованій и очень многіе вопросы еще не достаточно освѣщены, даже самый вопросъ о примѣнимои того или другого газа для извѣстной цѣли иногда является спорнымъ. Такъ напр. еще не рѣшено что выгоднѣе для мартеновскихъ и стеклоплавильныхъ печей, воздушный или смѣшанный газъ. Дихманъ (лит. 68 стр. 35, 41) склоняется къ рѣшенію вопроса въ пользу смѣшаннаго газа, т. е. полезное дѣйствіе генераторной установки въ, этомъ случаѣ выше. Для моторовъ болѣе богатый смѣшанный газъ, требуя меньшаго сжатія для воспламененія въ смѣси съ воздухомъ, также безусловно выгоднѣе воздушнаго газа.

Впрочемъ чистый воздушный газъ получаютъ рѣдко уже по одному тому, что пропуская паръ черезъ колосники, предохраняютъ ихъ этимъ отъ порчи расплавленнымъ шлакомъ. Для этой-же цѣли подь колосниками въ зольникѣ ставятъ резервуаръ съ водой, въ которую падаетъ шлакъ и зола или погружаются, какъ мы видѣли, нижніе слои нагрузки генератора. (Генераторы безъ колосниковой рѣшетки). Такимъ образомъ утилизируется хоть часть теплоты сгарокъ, но самый газъ строго говоря, уже не можетъ быть названъ воздушнымъ. Подогреваніе воздуха и пара (впрочемъ Дихманъ считаетъ перегрѣвъ пара излишнимъ вслѣдствіе его сравнительно незначительнаго количества) производится обыкновенно за счетъ теплоты газовъ, уходящихъ изъ генератора. Особенно это выгодно дѣлать въ томъ случаѣ когда газъ для окончательной очистки долженъ быть пропущенъ черезъ скрубберъ и теплота его все равно пропадетъ даромъ, (моторный газъ), а также при газификаціи торфа.

Какъ извѣстно сушка формовочнаго торфа очень затруднительна и примѣненіе недостаточно высушеннаго торфа (съ 50% воды) для полученія моторнаго газа было-бы вообще невозможно безъ подогрева воздуха и пара, т. е. въ генераторѣ расходовалось-бы слишкомъ большое количество тепла на испареніе влаги. Такимъ образомъ предварительнымъ нагрѣвомъ воздуха и пара рѣшается весьма важный вопросъ выгоднаго использованія торфяниковъ.

На рис. 10 изображенъ такой генераторъ, работающій на торфѣ, системы Гёрлицкаго Машиностроительнаго завода (въ Германіи). Какъ видно, для подогреванія смѣси воздуха съ парами воды устроенъ еще особый чугунный колпачекъ, который вставляется въ самую горячую часть генератора. Рисунокъ 11 изображаетъ газовый моторъ прибол. въ 500 лощ. с., системы

того-же завода¹⁾. Такихъ установокъ и другихъ системъ (Дейцъ, Кертингъ, Лютеръ) имѣется нѣсколько и у насъ въ Россіи. Такъ напр., въ Екатеринбургѣ на одной мукомольной мельницѣ установлено устройство системы Гёрлицкаго завода ва 500 лош. силъ.

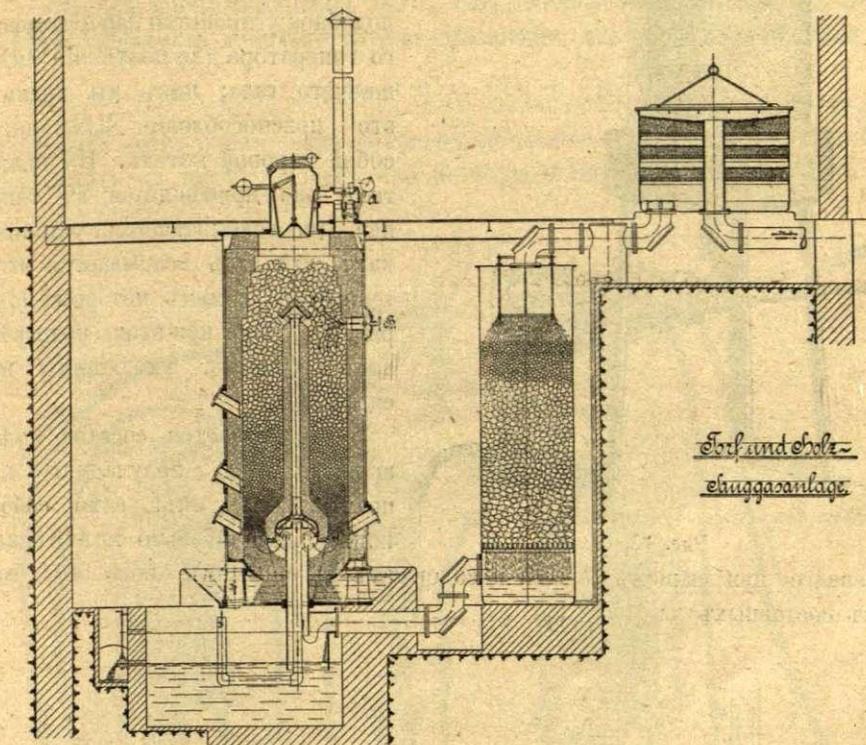


Рис. 10.

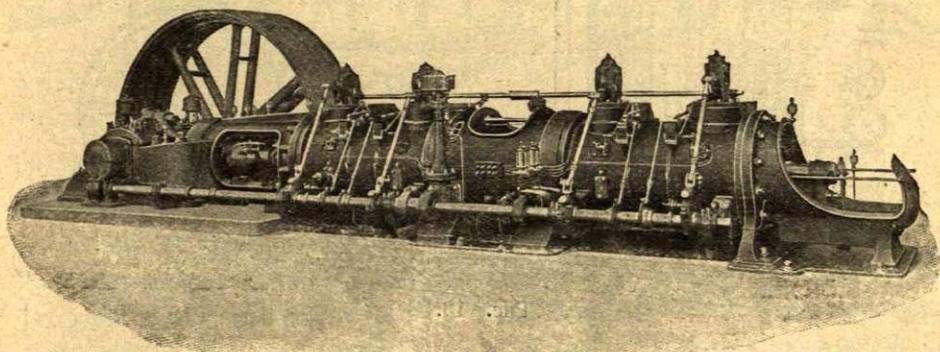


Рис. 11.

¹⁾ Клише намъ представлены Редакціей Rigasche Industrie—Zeitung, которой онѣ были присланы представителемъ нѣзв. завода въ Петербургъ, Г-мъ Г. Графъ (Кирочная 23).

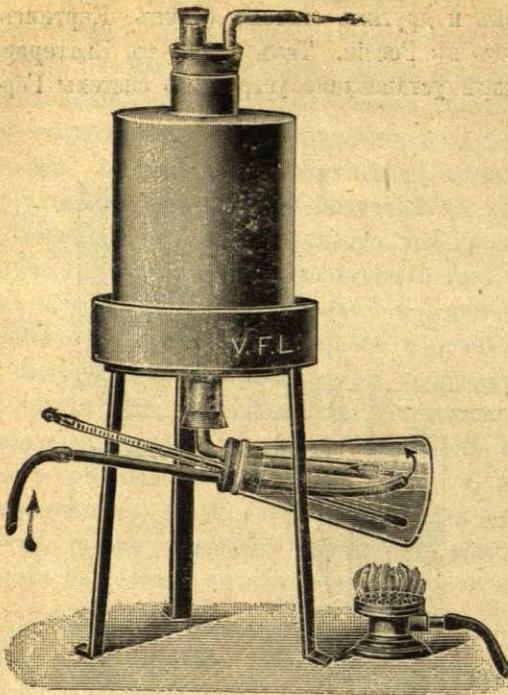


Рис. 12.

полученнаго при нашемъ опытѣ и содержать въ среднемъ около 50% горючихъ составныхъ частей.

Очень часто воздухъ, вдвѣваемый въ генераторъ предварительно пропускаютъ надъ поверхностью воды, нагрѣтой до 40 — 60° Ц. На рис. 12 изображено подобное устройство лабораторнаго генератора для получения смѣшаннаго газа; какъ мы видимъ это приспособленіе замѣняетъ собой паровой котель. На практикѣ оно примѣняется въ такъ наз. газосасывающихъ установкахъ, гдѣ газъ всасывается изъ генератора самимъ моторомъ (см. рис. 13). Вода при этомъ подогревается газомъ, уходящимъ въ скрубберъ.

Что касается состава смѣшаннаго газа, получаемаго на практикѣ, то онъ, само собой понятно, значительно богаче газа,

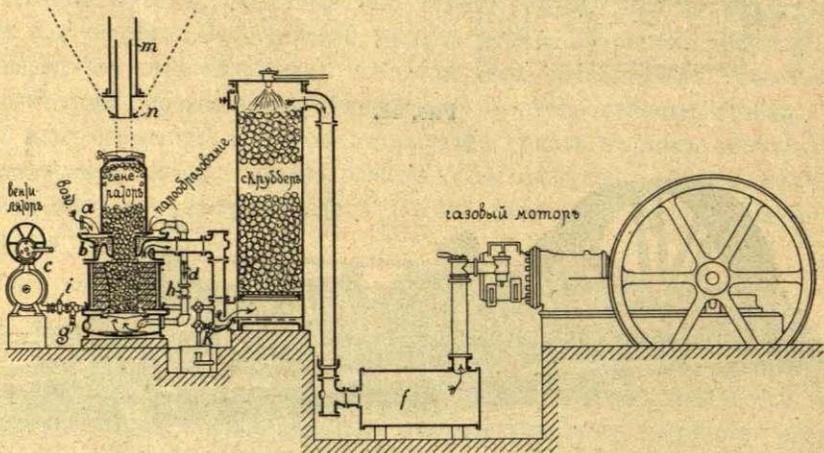


Рис. 13.

Въ заключеніе упомянемъ здѣсь еще о томъ, что въ генераторахъ для смѣшаннаго газа надъ топливомъ можетъ происходить реакція



Эта реакція экзотермическая и вслѣдствіе присутствія влаги въ топливѣ и не слишкомъ высокой температуры условія для протеканія этой экзо-

термической реакціи очень благоприятны. Ею вѣроятно объясняются тѣ, часто встрѣчающіяся, въ смѣшанномъ газѣ большія количества H_2 при небольшомъ содержаніи CO .

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію анализовъ второй и третьей пробъ, представляющихъ водяной газъ.

Вторая проба содержитъ 8,9% CH_4 . Образование метана въ данномъ случаѣ, объяснить довольно трудно. Возможно, что произошла реакція



о которой еще очень мало извѣстно. Большое количество азота — 53,1% указываетъ на то, что у насъ или не былъ достаточно плотно закрытъ кранъ

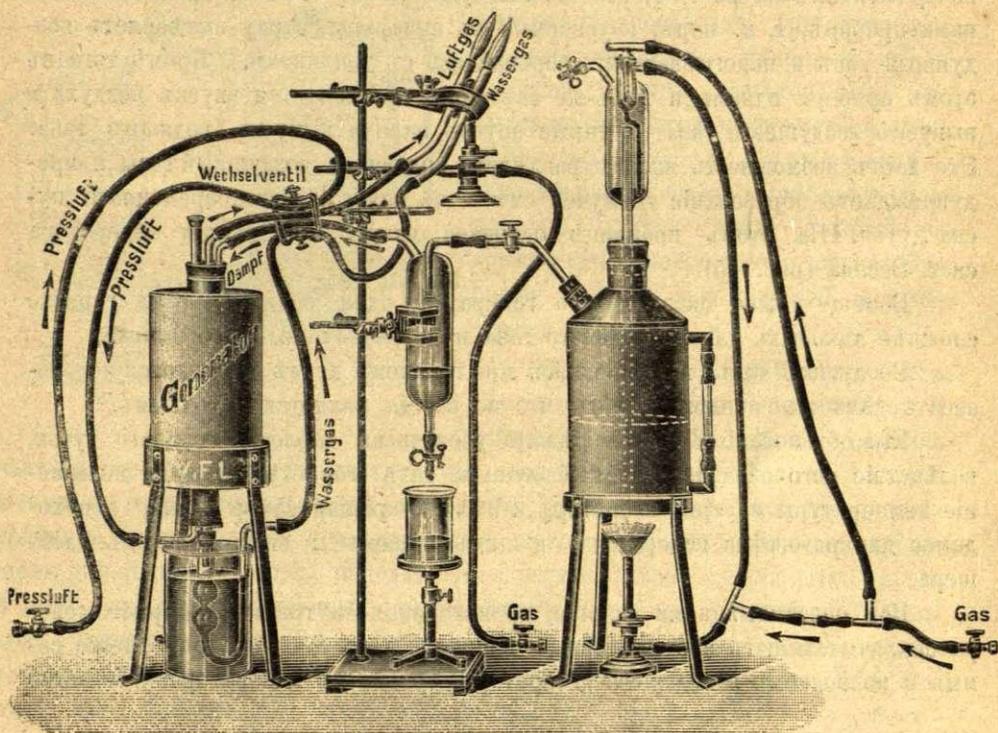


Рис. 14.

воздухопровода или въ трубкахъ воздухъ еще не былъ вытѣсненъ, а также на то, что въ генераторѣ находился еще воздушный газъ.

Слѣдующая, третья проба уже значительно лучше: азота всего 5,3%. Большое количество H_2 — 52,5%, тогда какъ въ теоретическомъ водяномъ газѣ должно быть не болѣе 50% водорода, объясняется повидимому реакціей



дающей, какъ уже было говорено раньше, 66,5% H_2 и 33,3% CO_2 .

Этимъ, а также недостаточно высокой температурой¹⁾ генератора, объясняется и высокое содержаніе CO_2 — 22,4%.

Тѣмъ не менѣе, полученный нами газъ довольно хорошъ, т. к. содержитъ 71,9% горючихъ составныхъ частей.

Чтобы получить большее количество водяного газа, необходимо, прекративъ впускъ водяного пара или такъ наз. холодное дутье, пустить одинъ воздухъ—горячее дутье. Остывшій, во время полученія водяного газа, генераторъ при этомъ снова разогревается.

Какъ видно изъ анализовъ, полученіе хорошаго водяного газа довольно таки затруднительно, особенно трудно отдѣлать отъ водяного газа воздушный газъ, образующійся при горячемъ дутьѣ. Въ лабораторномъ приборѣ, изображенномъ на рис. 14, это сдѣлать уже легче, чѣмъ въ примѣнявшемся нами приборѣ, т. к. паръ, впускаемый въ аппаратъ сверху вытѣсняетъ воздушный газъ и подогревается, соприкасаясь съ топливомъ. Кромѣ того въ этомъ приборѣ однимъ и тѣмъ-же зажимомъ производится впускъ воздуха и выпускъ воздушнаго газа, а также впускъ пара и выпускъ водяного газа. Это даетъ возможность вполне раздѣлить водяной и воздушный газы и предупреждаетъ образованіе гремучей смѣси въ случаѣ преждевременнаго пуска дутья. На этомъ принципѣ основана напр., конструкция генератора сист. Эссена (рис. 15).

Вообще нужно сказать, что генераторы для водяного газа гораздо сложнѣе таковыхъ для смѣшаннаго газа и потому значительно дороже.

Воздушный газъ, получающійся при горячемъ дутьѣ приходится использовать тѣмъ или инымъ путемъ, что не всегда является выгоднымъ.²⁾

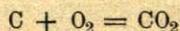
Его образованія можно избѣгать увеличивая давленіе горячаго дутья, вслѣдствіе чего образовавшійся воздушный газъ сгораетъ, ускоряя повышеніе температуры внутри генератора и тѣмъ сокращая самое время, необходимое для разогрева генератора горячимъ дутьемъ³⁾: сист. Дельвикъ-Флойшера.

Всѣ описанныя нами явленія, происходящія внутри лабораторнаго генератора, составляютъ азбуку даннаго вопроса. Они точь въ точь тѣ-же самыя и во всякомъ заводскомъ генераторѣ, только въ лабораторіи ихъ легче

1) О наивыгоднѣйшей температурѣ образованія водяного газа см. выноски на стр. 11.

2) Въ сист. Humphrey и Glasgow теплота горѣнія воздушнаго газа идетъ на разложеніе нефтяныхъ остатковъ или др. маселъ для полученія маслянаго газа, который затѣмъ примѣшивается къ водяному газу и даетъ хорошій свѣтильный газъ (напр. на Ревельскомъ газовомъ заводѣ). Карбурированіе водянаго газа.

3) Большое содержаніе при этомъ CO_2 въ воздушномъ газѣ, Габеръ объясняетъ тѣмъ, что CO_2 , образовавшаяся по реакціи



при сильномъ дутьѣ не успѣваетъ войти въ реакцію съ углеродомъ, т. е. реакціи между твердыми и газообразными тѣлами протекаютъ вообще очень медленно (лит. 45 стр. 238).

наблюдать и демонстрировать. Какъ мы кромѣ того видимъ, явленія эти далеко не просты и лишь внимательное ихъ изученіе можетъ облегчить намъ дальнѣйшее усвоеніе предмета.

Перейдемъ теперь къ описанію самаго анализа.

Въ задачѣ IV мы уже имѣли случай познакомиться съ газовымъ анализомъ, основаннымъ на поглощеніи газовъ (CO_2 , O , CO) различными растворами. При изслѣдованіи генераторныхъ газовъ необходимо опредѣлять также и содержаніе H_2 и CH_4 , а иногда еще и такъ назыв. тяжелыхъ углеводородовъ¹⁾ — этана, этилена, бензола и т. п.

Опредѣленіе H_2 , CH_4 и CO удобнѣ всего производить гризметромъ, который вмѣстѣ съ приборомъ Орса является вполне достаточнымъ для быстрого и вполне надежнаго анализа. Совмѣстнаго со ст. М. Киссой мной — Блахеромъ былъ выработанъ гризметръ особаго типа, похожій на гризметръ Фишера, но отличающійся болѣе простой конструкціей и удобствомъ обращенія.

Приборъ (рис. 16) состоитъ изъ толстаго стекляннаго резервуара А (объемомъ около 300 куб. см.) верхняя

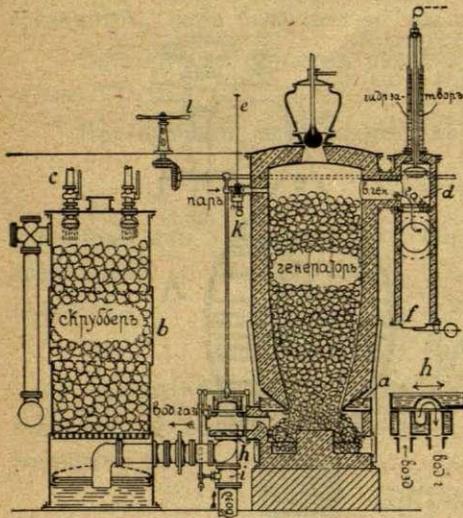


Рис. 15.

часть котораго вытянута въ трубку *g*, съ трехходнымъ краномъ на ней. Внизу въ горлышко вставлена резиновая пробка, черезъ нее пропущенъ тройникъ *b*, съ пробкой *c* на наружномъ концѣ. Черезъ тройникъ *b* пропущены двѣ толстостѣнныхъ, наполненныхъ ртутью узкихъ стеклянныхъ трубки *d* и *d*₁, къ концамъ которыхъ посредствомъ толстыхъ резиновыхъ обрѣзковъ прикрѣплены желѣзные зажимы *f* и *f*₁. Въ верхнюю часть каждой трубки вставлено по небольшому изогнутому куску мѣдной проволоки *h* (см. отдѣльный, увеличенный видъ), образующей какъ бы пружину, чѣмъ достигается достаточно прочное закрѣпленіе ея въ трубкѣ. Концы этихъ мѣдныхъ проволокъ соединены между собой платиновой спиралью *e*.

Резервуаръ А тройникомъ *b* и толстой резиновой трубкой *a* соединенъ съ воронкой В. Поднимая воронку В, наполняютъ резервуаръ А ртутью до самаго трехходнаго крана и, соединивъ трубку *g* съ приборомъ Орса, производятъ всасываніе пробы изъ него, опуская воронку. Набравъ немного газа въ резервуаръ А—однако такъ чтобы уровень ртути былъ нѣсколько ниже концовъ трубокъ *d* и *d*₁—запираемъ трехходный кранъ. Предварительно зажимы *f* и *f*₁ должны быть соединены съ проводами реостата. Нами примѣ-

1) Ихъ поглощаютъ крѣпкой сѣрной кислотой или бромистой водой.

нялся для постоянного тока въ 110 вольтъ, реостатъ изъ лампочекъ накаливанія, при чемъ было достаточно включить 4 лампочки по 16 свѣчей. Включивъ токъ мы накаливаемъ спираль е до темно-краснаго каленія. Сильнѣе раскаливать спираль не слѣдуетъ, т. к. она можетъ прогорѣть. Какъ только спираль накалится въ резервуарѣ А происходитъ небольшая вспышка (если газъ не очень бѣдный). Затѣмъ мы снова открываемъ трехходный кранъ и набираемъ слѣдующую порцію газа. Повторяя это 2, 3, 4 раза, смотря по величинѣ пробы, мы сожжемъ всю пробу. Подождавъ пока верхняя часть

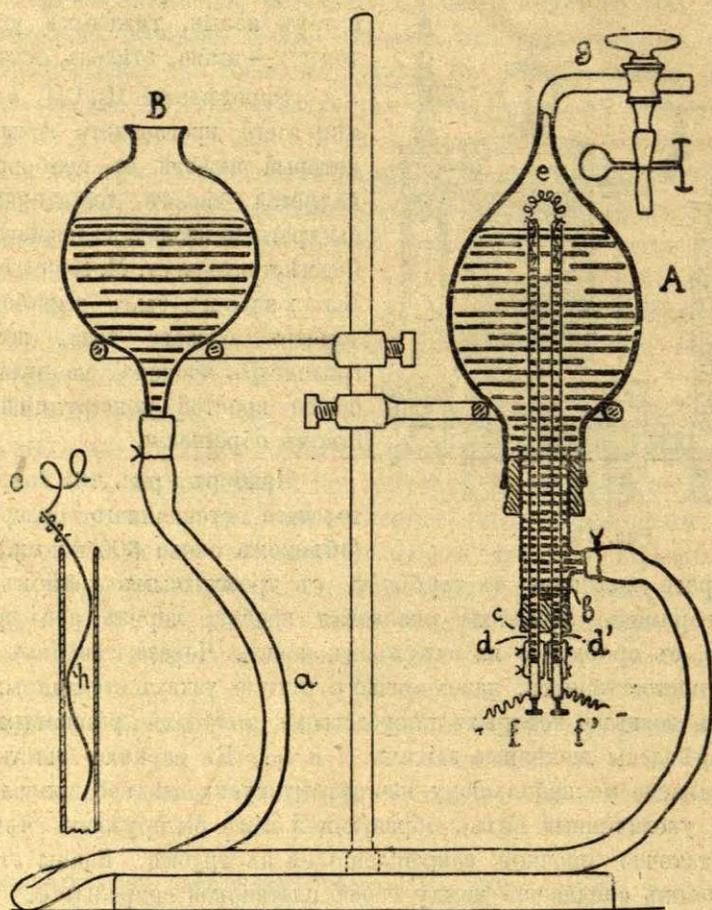


Рис. 16.

резервуара А охладится (соприкасаясь съ холодной ртутью она можетъ треснуть), перегоняемъ продукты горѣнія обратно въ приборъ Орса и производимъ ихъ дальнѣйшее изслѣдованіе. Въ случаѣ очень бѣднаго газа операцию сжиганія лучше повторить разъ другой.

Теперь опишемъ какъ производится анализъ въ приборѣ Орса.

Сначала набираемъ 100 кб. см. газа и производимъ анализъ на содержаніе O и CO₂ обычнымъ путемъ, какъ было описано въ задачѣ IV.

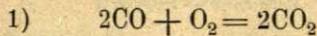
Оставшійся въ бюреткѣ газъ частью выпускаемъ, оставляя 25 кб. см. (для бѣднаго газа можно брать и больше) и набираемъ, необходимый для сжиганія газа воздухъ:

для 25 кб. см. воздушнаго газа достаточно	40 кб. см. воздуха
” ” ” ” водяного	” ” 75 ” ” ”
” ” ” ” смѣшаннаго	” ” 50 ” ” ”

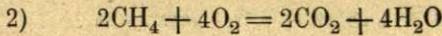
Полученную смѣсь соответствующаго газа и воздуха переводимъ въ гризометръ, какъ было только что говорено, и производимъ сжиганіе.

Остатокъ перегоняемъ обратно въ приборъ Орса и определяемъ количество CO_2 и O .

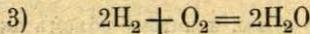
При сжиганіи происходятъ слѣдующія три реакціи:



при этомъ изъ 3 объемовъ газа образуются 2 объема. Величина сокращенія составляетъ 1 объемъ для 2 объемовъ CO , а для 1 объема CO она равна $\frac{1}{2}$.



тутъ изъ 6 объемовъ газа образуются 2 объема. Величина сокращенія составляетъ 4 объема, считая на 2 объема CH_4 , а для 1 объема CH_4 она составитъ 2.



здѣсь изъ 3 объемовъ газа не остается ничего (продуктъ горѣнія—вода конденсируется). Величина сокращенія составляетъ значить 3 объема, считая на 2 объема H_2 , а для 1 объема H_2 сокращеніе составитъ $\frac{3}{2}$.

Обозначивъ CO черезъ c , CH_4 черезъ m и H_2 черезъ w получимъ, что сумма сокращеній

$$n = \frac{1}{2} c + 2 m + \frac{3}{2} w$$

Обозначивъ далѣе количество CO_2 , образовавшейся при горѣнія CO и CH_4 черезъ $k = c + m$, а общій объемъ активной смѣси. т. е. горючихъ частей взятаго количества газа (въ нашемъ случаѣ 25 кб. см.) черезъ $v = c + m + w$ получимъ слѣдующія формулы¹⁾ для опредѣленія количества составныхъ частей смѣси:

Водорода	$w = v - k$
окси углерода	$c = \frac{1}{2} k + v - \frac{2}{3} n$
метана	$m = \frac{2}{3} k - v + \frac{2}{3} n$

¹⁾ Формулы предложены Бунзеномъ. Wohlfahrt считаетъ ихъ не точными и хотѣлъ замѣнить ихъ другими, но Габеръ (лит. 45 стр. 288) доказалъ ихъ вѣрность.

ПРИМЪРЪ I.

Опредѣленіе состава воздушнаго газа.

Набрано въ приборъ Ореса 100 кб. см.

$$\begin{aligned} \text{Опредѣлено } \text{CO}_2 &= 100 - 88,6 = 11,4\% \\ \text{„ } \text{O} &= 88,6 - 88,6 = 0\% \end{aligned}$$

Изъ оставшихся 88,6 кб. см. для анализа въ гризометръ взято . . . 25 кб. см.
 Прибавлено воздуха 40 „ „
 Итого переведено въ гризометръ смѣси 65 кб. см.

Сокращеніе объема смѣси послѣ сжиганія, измѣренное въ приборъ Ореса
 $n = 65 - 60,8 = 4,2$

Количество образовавшейся въ продуктахъ горѣнія CO_2 (поглощено ѣдкимъ натромъ)
 $k = 60,8 - 56,8 = 4$

Количество, содержавшагося въ продуктахъ горѣнія кислорода (поглощено пирогаллоломъ)
 $56,8 - 51,5 = 5,3$

Такъ какъ въ 40 кб. см. воздуха содержится

$$31,6\% \text{ азота} + 8,4\% \text{ кислорода}$$

то вычтя количество азота, введеннаго вмѣстѣ съ воздухомъ въ смѣсь, но не имѣющаго значенія для реакціи получимъ объемъ азота въ первоначальномъ газѣ, взятомъ для анализа.

$$51,5 - 31,6 = 19,9 \text{ кб. см.}$$

Для анализа было взято 25 кб. см. и потому объемъ активной смѣси, т. е. горючихъ составныхъ частей газа будетъ

$$v = 25 - 19,9 = 5,1$$

Подставляя найденныя величины въ ранѣе приведенныя формулы, находимъ, что въ 25 кб. см. газа содержится:

$$\begin{aligned} \text{Водорода } w &= v - k = 5,1 - 4 = 1,1 \\ \text{окиси углер. } c &= \frac{1}{3} k + v - \frac{2}{3} n = 1,3 + 5,1 - 2,8 = 3,63 \\ \text{метана } m &= \frac{2}{3} k - v + \frac{2}{3} n = 2,6 - 5,1 + 2,8 = 0,36 \\ \text{Итого } &5,09, \text{ вѣрнѣе: } 5,1. \end{aligned}$$

Въ 88,6 кб. см. газа слѣдовательно будетъ

$$\begin{aligned} \text{H} &= \frac{1,1 \times 88,6}{25} = 3,9\% \\ \text{CO} &= \frac{3,63 \times 88,6}{25} = 12,83 \\ \text{CH}_4 &= \frac{0,36 \times 88,6}{25} = 1,28 \end{aligned}$$

И такъ анализъ воздушнаго газа слѣдующій:

CO ₂	11,4 %
O	—
H	3,9
CO	12,83
CH ₄	1,28
N	70,59
	100,00

ПРИМЪРЪ II.

Опредѣленіе состава водяного газа.

Взято 100 кб. см.

$$\text{Опредѣлено } \text{CO}_2 = 100 - 77,6 = 22,4 \text{ \%}$$

$$\text{„ } \text{O} = 77,6 - 77,2 = 0,4$$

Изъ 77,2 кб. см. взято для анализа 25 кб. см.

$$\text{Прибавлено воздуха } 75 \text{ „ „}$$

$$\text{Итого смѣси } 100 \text{ кб. см.}$$

Сокращеніе объема послѣ сжиганія

$$n = 100 - 69,2 = 30,8$$

Количество образовавшейся CO_2

$$k = 69,2 - 62,8 = 6,4$$

Количество, содержавшагося O

$$62,8 - 60,8 = 2$$

Т. к. въ 75 кб. см. воздуха

$$59,2 \text{ N} + 15,8 \text{ O}$$

то объемъ азота въ газѣ, взятомъ для анализа, составитъ

$$60,8 - 59,2 = 1,6 \text{ кб. см.}$$

Для анализа было взято 25 кб. см. и потому объемъ активной смѣси:

$$v = 25 - 1,6 = 23,4$$

И такъ въ 25 кб. см. газа содержится:

$$\text{водорода} \dots \dots \dots w = v - k = 23,4 - 6,4 = 17$$

$$\text{окиси углер.} \dots \dots \dots c = \frac{1}{3} k + v - \frac{2}{3} n = 2,1 + 23,4 - 20,5 = 5$$

$$\text{метана} \dots \dots \dots m = \frac{2}{3} k - v + \frac{2}{3} n = 4,2 - 23,4 + 20,5 = 1,3$$

$$\text{Итого } 23,3 \text{ вѣрнѣе } 23,4$$

Въ 77,2 кб. см. газа слѣдовательно будетъ

$$\text{H} = \frac{17 \times 77,2}{25} = 52,5 \text{ \%}$$

$$\text{CO} = \frac{5 \times 77,2}{25} = 15,4$$

$$\text{CH}_4 = \frac{1,3 \times 77,2}{25} = 4$$

И такъ анализъ водяного газа слѣдующій

CO_2	22,4 %
O	0,4
H	52,5
CO	15,4
CH_4	4,0
N	5,3
	100,00



ПРИМЪРЪ III.

Опредѣленіе состава смѣшаннаго газа.

Взято 100 кб. см.

$$\text{Опредѣлено } \text{CO}_2 = 100 - 87,8 = 12,2 \text{ \%}$$

$$\text{„ } \text{C} = 87,8 - 87,4 = 0,4$$

Изъ 87,4 кб. см. взято для анализа 25 кб. см.
 прибавлено воздуха $\frac{50}{\text{ " "}}$
 Итого смѣси 75 кб. см.

Сокращеніе объема послѣ сжиганія

$$n = 75 - 65 = 10$$

Количество образовавшейся CO_2

$$k = 65 - 60,9 = 4,1$$

Количество содержавшагося O

$$60,9 - 55,4 = 5,5$$

T. к. въ 50 кб. см. воздуха

$$39,5 \text{ N} + 10,5 \text{ O}$$

то объемъ азота въ первоначальномъ газѣ

$$55,4 - 39,5 = 15,9 \text{ кб. см.}$$

Для анализа было взято 25 кб. см. и потому объемъ активной смѣси:

$$v = 25 - 15,9 = 9,1$$

Итакъ въ 25 кб. см. газа содержится:

$$\text{водорода} \dots \dots \dots w = v - k = 9,1 - 4,1 = 5$$

$$\text{окси углер.} \dots \dots \dots c = \frac{1}{3} k + v - \frac{2}{3} n = 1,36 + 9,1 - 6,6 = 3,87$$

$$\text{метана} \dots \dots \dots m = \frac{2}{3} k - v + \frac{2}{3} n = 2,72 - 9,1 + 6,6 = 0,22$$

Итого 9,09, вѣрнѣе 9,1.

Въ 87,4 кб. см. газа будетъ

$$\text{H} = \frac{5 \times 87,4}{25} = 17,5$$

$$\text{CO} = \frac{3,87 \times 87,4}{25} = 13,5$$

$$\text{CH}_4 = \frac{0,22 \times 87,4}{25} = 0,77$$

И такъ анализъ смѣшаннаго газа

CO_2	12,2 v/o
O	0,4
H	17,5
CO	13,5
CH_4	0,77
N	55,63
	100,00

При условіи свѣжести раствора закиси мѣди, опредѣленіе количества CO можно произвести и въ аппаратѣ Орса такъ, какъ это было описано въ задачѣ IV. Однако сжиганіе всегда даетъ болѣе точные результаты и потому предпочтительно.

Кромѣ гризометра для сжиганія примѣняется еще приборъ Drehschmidt'a, гдѣ изслѣдуемый газъ пропускается черезъ платиновую капиллярную трубку, нагрѣваемую извнѣ газовой горѣлкой.

Опредѣленіе количества H_2 и CH_4 можно также производить при помощи такъ наз. дробнаго сожиганія, пропуская смѣсь газа съ воздухомъ черезъ слабо накаленный палладій (400°C.) при чемъ сгораетъ только H_2

(и CO, если таковая имѣется), CH_4 сжигаютъ затѣмъ, повышая температуру палладіевого азбеста. Вмѣсто палладія для фракціоннаго сжиганія можетъ быть примѣняема и окись мѣди.

Анализъ газа производятъ также пропуская электрическую искру черезъ смѣсь газа съ воздухомъ или кислородомъ. Способъ неудобенъ, т. к. отъ взрыва часто лопаются приборы.

Количество водорода можно опредѣлить пользуясь поглощательной способностью палладія (способъ Гемпеля). Количество азота находятъ обыкновенно вычисленіемъ, вычитая сумму найденныхъ составныхъ частей газа изъ 100. Однако проф. Лидовымъ найденъ способъ и непосредственнаго опредѣленія азота при помощи раскаленнаго магнія.

Задача VIII. Полезное дѣйствіе генераторовъ.

Въ одной изъ предыдущихъ задачъ мы опредѣляли полезное дѣйствіе лабораторнаго котелка, точно такимъ-же образомъ мы въ состояніи опредѣлить полезное дѣйствіе и лабораторнаго генератора. Въ обоихъ случаяхъ, на основаніи чисто лабораторныхъ опытовъ, получаются выводы весьма важные для заводской практики. Полезнымъ дѣйствіемъ мы въ данномъ случаѣ назовемъ то-же самое отношеніе использованной энергіи, заключающейся въ генераторномъ газѣ, къ энергіи топлива, расходуемой на газификацію въ генераторѣ.

Для рѣшенія поставленной задачи, очевидно, необходимо знать:

- 1) Полезную теплопроизводительность древеснаго угля.
- 2) Полезную теплопроизводительность полученнаго генераторнаго газа.
- 3) Количество генераторнаго газа, полученнаго изъ одной вѣсовой единицы древеснаго угля.

Средній составъ древесн. угля возьмемъ слѣдующій (лит. 7 т. I ч. 1 стр. 219)

Углерода	75 ⁰ / ₁₀₀
Кислорода	12 „
Водорода	2,5 „
Золы	1 „
Гигроскоп. воды	9 „

Составъ полученнаго нами воздушнаго генераторнаго газа (см. задачу VII)

CO_2	11,4 ^v / ₁₀₀
O	—
H	3,9
CO	12,83
CH_4	1,28
N	70,59

I Полезная теплопроизводительность древеснаго угля.

Опредѣлимъ ее по формулѣ Герм. инженеровъ.

$$\mathcal{M} \text{ пол.} = \frac{8140 C + 28800 (H - \frac{0}{8}) - 600 W}{100}$$

$$\mathcal{M} \text{ пол.} = 8140 \times 0,75 + 28800 (0,025 - \frac{0,12}{8}) - 600 \times 0,09$$

$$\mathcal{M} \text{ пол.} = 6344 \text{ кал.}$$

II Полезная теплопроизводительность генераторного газа.

Приведем сначала пол. теплопроизводительности отдѣльныхъ составныхъ частей генераторного газа, въ малыхъ калоріяхъ (большихъ) по отношенію къ 1 литру (1 кв. метру) газа.

Водородъ (образовавшаяся вода конденсировалась)	34200	$\times 0,0896 =$	3065 кал.
Водородъ (вода осталась въ видѣ пара)	28800	$\times 0,0896 =$	2580 кал.
Окись углерода	2440	$\times 1,26 =$	3070 кал.
Метанъ (вода конденсировалась)	13300	$\times 0,716 =$	9510 кал.
Метанъ (вода осталась въ видѣ пара)	9510	$- 0,25 \times 5400 \times 0,716 =$	8545 кал.

Полезная теплопроизводительность, полученнаго нами воздушнаго генераторнаго газа будетъ слѣдовательно:

$$2580 \times 0,039 + 3070 \times 0,1283 + 8545 \times 0,013 = 605 \text{ кал.}$$

Газъ нашъ очень бѣденъ, такъ какъ на практикѣ теплопроизводительность воздушнаго газа въ среднемъ 800 -- 1000 кал.

Теоретическая пол. теплопроизв. воздушнаго газа, полученнаго изъ чистаго углерода

$$0,347 \times 3070 = 1065 \text{ кал.}$$

гдѣ 34,7% содержаніе CO въ теор. возд. газѣ, (см. задачу VII) а 3070 теплопроизв. окиси углерода.

III Количество воздушнаго газа изъ одной вѣсовой единицы угля.

Какъ и раньше, въ задачѣ VII, такъ и здѣсь мы для этого должны прежде всего опредѣлить количество углерода, содержащагося въ газѣ и въ углѣ.

Количество углерода въ 1 л. генер. газа.

Составъ 1 л. газа.	гр. С въ 1 л. сост. части газа.	гр. С въ отдѣльной сост. части газа.	теплоемк. въ кал. отд. частей при 300° Ц.
CO ₂ 0,114	$\frac{1,98 \times 12}{44} = 0,54$	0,54 $\times 0,114 = 0,0615$	$0,114 \times 0,45 \times 300 = 15,4$
CO 0,1283	$\frac{1,26 \times 12}{28} = 0,54$	0,54 $\times 0,1283 = 0,0695$	$0,128 \times 0,31 \times 300 = 11,9$
CH ₄ 0,0128	$\frac{0,039 \times 12}{16} = 0,0293$	$0,0283 \times 0,0128 = 0,0037$	$0,013 \times 0,42 \times 300 = 1,6$
H ₂ 0,0390			$0,039 \times 0,31 \times 300 = 3,6$
N 0,7059			$0,705 \times 0,31 \times 300 = 66,0$
		0,1348	98,5

Слѣдовательно изъ 1 гр. угля получается

$$\frac{0,75}{0,1348} = 5,56 \text{ литра газа.}$$

или, считая на 1 гр. углерода

$$\frac{5,56}{0,75} = 7,42 \text{ литра газа.}$$

Полученная, слишком большая, величина также указывает на то, что наш газ не особенно хорошъ. Напр. Дихманъ (лит. 68 стр. 61) считаетъ, что по количеству газа, получаемому изъ 1 гр. С можно судить о болѣе или менѣе нормальномъ ходѣ генератора.

Теоретически изъ 1 гр. углерода должно получиться

$$\frac{1}{0,187} = 5,3 \text{ литра газа,}$$

гдѣ $0,187 = \frac{0,347 \times 12 \times 1,26}{28}$ количество углерода въ 1 л. теоретическаго воздушнаго газа. По Дихману при генераторномъ газѣ изъ каменнаго угля 1 гр. (1 кгр.) углерода долженъ давать не болѣе 5 л. (5 кб. м.) газа. Чѣмъ большее количество образовавшагося газа преждевременно сгораетъ, тѣмъ болѣе попадаетъ въ него азота и тѣмъ значительно увеличивается объемъ газа при одновременномъ уменьшеніи его полезнаго дѣйствія.

Итакъ полезное дѣйствіе нашего генератора будетъ

$$\frac{556 \times 605}{6344} = 53\%$$

Для теоретическаго воздушнаго газа этотъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія ¹⁾ составляетъ

$$\frac{5,3 \times 1065}{8140} = \infty 70\%$$

гдѣ 5,3, какъ было вычислено ранѣе, количество возд. газа изъ 1 гр. углерода, а 1065 теор. Тепл. этого газа.

Полезное дѣйствіе нашего генератора — 53%, какъ мы видимъ очень низко. Это обуславливается, очевидно, тѣмъ, что часть газа сожжена проникшимъ въ генераторъ воздухомъ, а также недостаточнымъ возстановленіемъ CO_2 , вслѣдствіе слишкомъ низкой температуры въ генераторѣ. Кромѣ того при вычисленіи полезнаго дѣйствія, мы не приняли въ расчетъ температуры самаго газа, ведя вычисленіе лишь на основаніи скрытой теплоты, т. е. теплопроизводительности газа. Такой расчетъ допустимъ, если газъ передъ употребленіемъ охлаждается, какъ это показано напр. на рис. 10 и 13, но если генераторъ расположенъ около самой печи, то газъ будетъ входить въ печь горячимъ и теплота его будетъ использована, а потому должна быть также принята въ расчетъ.

Вводя въ вычисленіе температуру газа, является однако затрудненіе въ рѣшеніи вопроса, гдѣ собственно должно измѣрять эту температуру.

¹⁾ Какъ мы увидимъ впоследствии, онъ носитъ названіе абсолютнаго или минимальнаго.

По отношенію къ данному случаю спрашивается, нужно-ли измѣрять температуру газа при выходѣ его изъ генератора, или при выходѣ изъ отростка г (рис. 7). Положимъ температура газа, выходящаго изъ генератора = 320°Ц., а около мѣста его воспламененія она равна температурѣ окружающаго пространства 20°. Тогда въ величину потерь = 47% входитъ кромѣ теплоты, потерянной вслѣдствіе плохой изоляціи, еще и та теплота, которую газъ потерялъ на пути отъ генератора до отростка г, охладившихся на 300°, и 53% будетъ представлять полезное дѣйствіе, отнесенное къ мѣсту г.

Если коэффициентъ полезнаго дѣйствія опредѣляется для газа, непосредственно выходящаго изъ генератора, то къ скрытой теплотѣ газа, полученнаго изъ 1 гр. угля, нужно прибавить еще его явную теплоту, которую мы опредѣлили въ 98,5 кал. (см. таблицу, помѣщенную ранѣе). Для круглаго счета возьмемъ 100 кал. Тогда коэффициентъ полезн. дѣйствія

$$\frac{556 \times (605 + 100)}{6344} = \approx 62\%$$

Слѣдовательно самъ генераторъ теряетъ 38,1%. Предположимъ газъ въ мѣстѣ г имѣть температуру ниже 300° Ц., но выше температуры окружающаго пространства, тогда получился бы еще третій коэффициентъ полезнаго дѣйствія.

Для всѣхъ этихъ коэффициентовъ, вполне воспроизводящихъ условія заводской практики, Асѣевъ¹⁾ предложилъ слѣдующія обозначенія:

Минимальнаго или абсолютнаго коэфф. для холоднаго газа.

Максимальнаго или относительнаго коэфф. для горячаго газа, выходящаго изъ генератора. Нами (въ „Теплотѣ въ зав. д.“) было предложено обозначеніе „практическій коэфф.“ генераторной установки, отнесенный къ той температурѣ, съ которой газъ идетъ въ дѣло, такъ напр. въ регенеративныхъ газовыхъ печахъ для расчета берется температура газа въ распредѣлительномъ аппаратѣ.

Коэффициенты полезнаго дѣйствія генераторныхъ установокъ для смѣшаннаго и для водяного газовъ вычисляются такимъ-же точно образомъ.

Только для смѣшаннаго газа необходимо еще ввести въ расчетъ количество топлива, израсходованнаго на парообразование, а при водяномъ газѣ не нужно упускать изъ виду потери, связанной съ образованіемъ воздушнаго газа при горячемъ дутьѣ.

На практикѣ были опредѣлены слѣдующіе коэффициенты (по Дементьеву)

А. Для генераторовъ воздушнаго газа

абсолютный коэфф. пол. дѣйствія 70—80%

относительный „ „ „ 70—90%

В. Для генераторовъ водяного газа

въ обыкновенныхъ приборахъ въ ср. около 40%

въ новыхъ приборахъ Дельвикъ-Флейшера около 75%

¹⁾ Горн. Журн. 1903, III. 1.

С. Для генераторовъ смѣшаннаго газа

въ среднемъ около 80⁰/₀

Понятно и здѣсь, какъ и вообще во всей топочной техникѣ, всѣ дальнѣйшія усилія должны быть направлены прежде всего къ повышенію полезнаго дѣйствія. Какими путями идти для достиженія этой цѣли, объ этомъ было говорено въ предыдущей задачѣ. Особенное значеніе имѣеть постоянный контроль работы генераторовъ различными приборами, всего лучше саморегистрирующими, о чемъ мы уже говорили въ свое время при описаніи веденія контроля топки парового котла.

Литература къ задачамъ VII и VIII.

- 47) Лидовъ, А. П. Анализъ газовъ. Харьковъ 1907.
- 48) Лидовъ, А. П. Краткій курсъ газоваго производства. Харьковъ 1911.
- 49) Павловъ, М. Изслѣдованіе генераторныхъ газовъ Холуницкаго и Омутнинскаго заводовъ. 1892. (Горн. журн. 1891. IV. 323).
- 50) Ламанскій. Довсоновскій газъ для техническихъ цѣлей. 1889.
- 51) Можаровъ, В. Очеркъ новыхъ системъ генераторовъ для каменныхъ углей. Горн. Журн. 1906.
- 52) Верто, С. Новѣйшіе генераторы. Ур. Техн. 1909. № 9.
- 53) Schmatolla, Gasfeuerungen und Gaserzeuger. 1908.
- 54) F. Fischer. Das Kraftgas. 1910.
- 55) Toldt—Wilcke. Die Regenerativgasöfen. 1907.
- 56) Lieckfeld. G. Die Sauggasanlagen. 1909.
- 57) Kietaihl C. Das Generatorgas. 1910.
- 58) Koerting J. Ueber Gaserzeugez, Stahl und Eisen 1907. № 20.
- 59) Hoffmann J. Ueber Gaserzenger, Stahl und Eisen 1910. № 24.
- 60) Wendt. Untersuchungen am Gaserzeuger. Zeitschr. des Vereins Deutscher Ingenieure, Forschungsarbeiten Heft 31.
- 61) Voigt J. Ueber den Einfluss des Wasserdampfes und des Strahlungsverlustes der Vergasungszone auf die Vergasung fester Brennstoffe im Gaserzeuger. Gasmotorentchnik 1908. S. 37. Rigasche Industrie—Zeitung 1911. S. 98.
- 62) Strache H. Das Wassergas 1902.
- 63) Geitel E. Das Wassergas und seine Verwendung in der Technik. 1900.
- 64) Nagel, Oskar, Producer Gas Fired Furnace 1909.
- 65) Latta N. American Producer Gas Practice and Industrial Gas Engineering. 1910.
- 66) Allen H. Modern power gas producer, practice and applications: a practical treatise dealing with the gasification of various classes of fuels by the pressure and suction system of producer. New-York 1909.
- 67) Vellemen G. Les gazogenes continus et giscontinus. 1900.
- 68) Dichmann C. Der basische Herdofenprocess. 1910.

Кромѣ того см. въ учебникахъ по металлургіи Липина, Павлова-Нобеля и др. и въ общей литературѣ, указанной выше.

Вышеописанными восьмью задачами, понятно, отнюдь не исчерпывается программа лабораторныхъ занятій по технологіи теплоты. Непремѣнно слѣдуетъ заставлять Г-дъ студентовъ выполнять и чисто аналитическія задачи, какъ напр. опредѣленіе выхода кокса изъ каменнаго угля, содержанія въ немъ золы и сѣры или даже опредѣленіе элементарнаго состава топлива. Но пока

еще классификація топлива на основаніи анализа мало развита, такъ что собрать все относящееся сюда въ одно цѣлое и составить отдѣльную задачу съ педагогической точки зрѣнія является преждевременнымъ. А соотвѣтствующіе аналитическіе приемы описаны какъ въ общей литературѣ, такъ и въ появившихся въ послѣднее время специальныхъ изданіяхъ (напр. Н а с т ю к о в а и Ш а л ф е в а „Примѣры технического анализа“, Москва 1910, Лунге-Лейхманъ „Технохимическій анализъ“ СПб. 1905, и т. п.).

К. К. Блахеръ и В. А. Гродскій.

