LGIFARENKO KUPNNAH. KOMH. NEYN 1010 子红 J 111 157

# Инженеръ И, Цыганенко.

Преподаватель 1-хъ московскихъ строительныхъ курсовъ инженера М. Пріорова, инженеръ технической конторы «В. Вальсскій и В. Чаплинь» въ Москвь.

# Кирпичныя комнатныя печи большой теплоемкости

назначенныя для топки дровами, торфомъ, углемъ, нефтью и другими видами топлива.

#### отпълъ і.

Нъкоторыя вспомогательныя главы изъ технической физики.

Съ чертежами въ текств и техническими справочными таблицами.



І-е Изданіе Технической Конторы Торговаго Дома "В. ЗАЛЪССКІЙ и В. ЧАПЛИНЪ" въ Москвъ. MOCKBA — 1913.



### Инженеръ И. Цыганенко.

Преподаватель 1-хъ московскихъ строительныхъ курсовъ инженера М. Пріорова, инженеръ технической конторы «В. Зальсскій и В. Чаплинъ» въ Москвъ.

# Кирпичныя комнатныя печи большой теплоемкости

назначенныя для топки дровами, торфомъ, углемъ, нефтью и другими видами топлива.

#### отпълъ і.

Нъкоторыя вспомогательныя главы изъ технической физики.

І-е Изданіе Технической Конторы

Торговаго Дома "В. ЗАЛЪССКІЙ и В. ЧАПЛИНЪ" въ Москвъ. МОСКВА — 1913.

#### ПРЕДИСЛОВІЕ.

Первый отдѣлъ книги посвященъ краткому изложенію нѣкоторыхъ главъ изъ Технической Физики, знаніе которыхъ является необходимымъ при изученіи вопросовъ, связанныхъ съ техникою отопленія и вентиляціи. Для удобства пользованія справочными таблицами весь первый отдѣлъ выпускается въ отдѣльной обложкѣ и съ самостоятельной нумераціей страницъ.

И. Цыганенко.

# 

верхности педи и процесст нереноса теплоты устанавляются не-

#### Законы распространенія теплоты.

#### 1. Три способа распространенія теплоты.

Опытъ показываетъ, что существуютъ три существенно различные способа распространенія теплоты отъ тъла болье нагрътаго къ тълу менъе нагрътому, именно:

- 1) Теплопроводность (или проводимость), подъ которой обыкновенно понимають сравнительно медленную передачу теплоты отъ одной части тъла къ другой, или отъ одного тъла къ другому, непосредственно соприкасающемуся съ первымъ. Нъкоторая часть внутренней теплоты земли именно этимъ способомъ постепенной передачи отъ слоя къ слою достигаетъ поверхности, а солнечная теплота проникаетъ въ толщу земной коры.
- 2) Переносъ теплоты или конвекція, подъ которымъ обыкновенно разумъютъ передачу тепловой энергіи отъ источника высшей температуры въ данномъ мъстъ въ другое мъсто съ помощью перемъщенія тъхъ отдъльныхъ частицъ матеріи, съ которыми связаны запасы тепловой энергіи. Грандіознымъ примъромъ переноса тепловой энергіи въ природь-можеть служить извъстное океаническое теченіе-Гольфштремъ, начинающееся въ Мексиканскомъ заливъ и доходящее въ видъ ръки въ водяныхъ берегахъ океана до береговъ Скандинавіи и нашего Мурмана. Солнечная теплота подъ тропикомъ въ Мексикаискомъ заливъ поглощается массою воды потока и частицами этой воды, съ которою теплота какъ бы связана, переносится черезъ весь Атлантическій океань до береговь Европы.

То же самое явленіе происходить при нагръваніи помъщенія теплотою, выдъляемою обращенною въ комнату печною поверхностью: частицы воздуха непосредственно соприкасающіяся съ нагрѣтою поверхностью печи сами нагрѣваются; по мѣрѣ нагрѣванія онѣ становятся легче и подъ напоромъ притекающихъ снизу болѣе тяжелыхъ холодныхъ частицъ поднимаются вверхъ, скользятъ вдоль потолка, доходять до стѣнь и оконь и отдають (переносять на нихъ) часть унесенной теплоты, постепенно охлаждаются и падають вдоль поверхностей ствиь и оконь къ полу; снова притекають къ нагрвтой поверхности печи и процессъ переноса теплоты устанавливается непрерывно.

3) Лучеиспуснаніе или такой случай передачи теплоты отъ одного тъла къ другому, находящемуся отъ него на нъкоторомъ разстояніи, при которомъ среда, заполняющая пространство между тълами, не воспринимаетъ теплоту, а только переноситъ ее отъ тъла высшей температуры на тъло низшей температуры, хотя самый переносъ теплоты совершается при посредствъ различныхъ процессовъ, совершающихся въ этой промежуточной средъ.

Изучение способовъ распространения теплоты и законовъ ими управляющихъ начнемъ со случая теплопроводности.

#### II. Теплопроводность.

#### 1) Основаніе теоріи Фурье.

По ученію современной намъ кинетической теоріи газовъ теплота опредъляется, какъ хаотическое (нестройное, неупорядоченное) движеніе молекуль тъла 1).

Этой хаотичностью объясняются и всѣ трудности построенія законовъ теплопроводности. Если бы движеніе молекуль, являющееся источникомъ тепловой энергіи въ тѣлахъ, было подчинено извѣстной закономѣрности, иначе говоря, если бы мы знали то движеніе, которое имѣютъ молекулы при нагрѣваніи тѣлъ, то, вѣроятно, съ помощью математическаго анализа оказалось бы возможнымъ установить законы теплоты, какъ это уже сдѣлано для свѣта и звука; до настоящаго времени наука еще не въ силахъ разрѣшить эту задачу въ общемъ случаѣ; законы распространенія теплоты путемъ теплопроводности установлены пока только для совершеннаго газа (не существующаго въ природѣ).

Въ 1822 году Фурье поставилъ себъ задачею построить математическую теорію распространенія теплоты въ тълахъ, не прибъгая ни къ какимъ гипотезамъ относительно природы теплоты.

Фурье сдълалъ только слъдующее допущеніе: частицы нагръваемаго тъла поглощаютъ тепловые лучи отъ источника нагръванія и затъмъ сами начинаютъ испускать теплоту на смежныя съ ними частицы тъла, вслъдствіе чего температура вокругъ этихъ частицъ должна съ теченіемъ времени измъняться. Задача, такимъ образомъ, сводится къ опредъленію хода распространенія температуръ, зависящихъ отъ частичнаго лучеиспусканія.

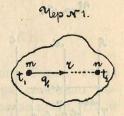
Не всѣ, но большинство результатовъ, къ которымъ пришелъ Фурье, подтвердились позже экспериментальнымъ путемъ, что въ свою очередь доказываетъ а posteriori правильность теоріи Фурье.

Теорія эта покоится на следующихъ положеніяхъ или гипотезахъ:

<sup>1)</sup> А. Бачинскій. Введеніе въ кинетическую теорію газовъ. Лекціи въ Московскомъ университетъ. 1907.

а) Пусть m и n суть двѣ сосѣднія частицы одного и того же тѣла. (Черт. № 1), частица m нагрѣта болѣе, чѣмъ частица n и высылаетъ по направленію частицы n въединицу времени ко-

по направленію частицы п въединицу времени количество теплоты равное  $q_1$ ; это количество настолько быстро уменьшается столько быстро уменьшается столько частиць, что уже при достиженіи весьма малаго значенія для r,  $q_1$  обращается въ нуль.



г, q<sub>1</sub> ооращается въ нуль.

Итакъ, q<sub>1</sub> есть нъкоторая функція растоянія г т.-е.:

$$q_1 = f(r)$$
. . . . . . . (1)

b) Количество теплоты  $q_1$ , передаваемое отъ точки m къ точкb п въ единицу времени пропорціонально разности температуръ  $t_1$  и  $t_2$  объихъ частицъ; предположеніе это было необходимымъ слbдствіемъ перваго, такъ какъ предbльное разстояніе, на которомъ прекращается лучеиспусканіе между частицами, весьма мало и такъ какъ d1 обращается въ нуль при d1 — d2 = 0.

На этомъ основании въ дальнъйшихъ выводахъ возможно пренебрегать безконечно малыми высшихъ порядковъ.

Принимая во вниманіе оба высказанныя выше положенія, можно написать:

$$q_1 = (t_1 - t_2)$$
. f (r). . . . . . . . . (2)

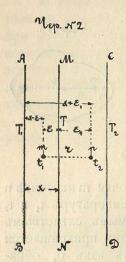
с) Къ этимъ двумъ положеніямъ Фурье добавляетъ еще третье: Количество теплоты  $\mathbf{q}_1$  зависитъ только отъ разности температуръ  $\mathbf{t}_1 - \mathbf{t}_2$ , т.-е. отъ абсолютной величины избытка температуры  $\mathbf{t}_1$  надъ  $\mathbf{t}_2$  и не измѣняется при измѣненіи температуры  $\mathbf{t}_2$  частицы  $\mathbf{n}$ .

Это предположеніе, повидимому, не можеть быть оправдано раціональными доводами, такъ какъ при изученіи законовъ охлажденія тъль принимають, что количество теплоты, отданной тъломъ, пропорціально не только избытку его температуры надъ температурою оболочки, но, что, кромъ того, оно зависить еще и отъ абсолютной температуры послъдней. Единственно, что говорить въ пользу допущенія Фурье, или, лучше сказать, что позволяеть не противоръчить ему, это согласіе съ данными опытовъ его конечныхъ выводовъ. Съ этою оговоркою и можно приступить къ выводу закона теплопроводности, основанному на высказанныхъ выше трехъ основныхъ положеніяхъ Фурье.

#### 2) Выводъ закона теплопроводности.

Положимъ дана (черт.  $\mathbb{N}$  2) однородная твердая стѣна, ограниченная двумя безконечно большими параллельными плоскостями  $\overline{\mathrm{AB}}$ 

и CD, находящимися другъ отъ друга на нѣкоторомъ конечномъ раз-



Положимъ, что во всѣхъ точкахъ плоскости  $\overline{AB}$  сохраняется постоянная температура  $T_1$ , а въ плоскости  $\overline{CD}$ , другая, меньшая, но тоже постоянная температура  $T_2$ .

Если вообразить себѣ между плоскостями  $\overline{AB}$  и  $\overline{CD}$  нѣкоторую параллельную имъ плоскость MN, отстоящую отъ плоскости AB на разстояніи х, то во всѣхъ точкахъ этой промежуточной плоскости, какъ находящихся въ совершенно одинаковыхъ условіяхъ, должна сохраняться неизмѣнною нѣкоторая постоянная температура T отличная отъ температурь  $T_1$  и  $T_2$  въ плоскостяхъ  $\overline{AB}$  и  $\overline{CD}$ .

Очевидно, что для даннаго момента времени температура T есть функція разстоянія плоскости  $\overline{MN}$  оть плоскости  $\overline{AB}$ , т.-е. что:

Нъкоторая частица m, лежащая слъва отъ плоскости  $\overline{MN}$  посылаетъ частицъ n, лежащей справа отъ  $\overline{MN}$ , количество теплоты:

$$q_1 = (t_1 - t_2) f(r)$$
 . . . . . . (2)

гдъ:  $t_1$  и  $t_2$  суть температуры въ точкахъ m и n, а r — разстояніе между этими двумя точками.

Аналогично этому и всъ прочія частицы, лежащія слъва отъ плоскости MN, будутъ посылать теплоту, точкамъ лежащимъ справа отъ этой плоскости и если разстоянія между первыми частицами (лъвыми) и вторыми (правыми) будутъ меньше предъльныхъ, то полное количество теплоты N, которое можетъ въ единицу времени пройти черезъ единицу плоскости MN выразится зависимостью:

Обозначимъ черезъ  $\epsilon$  разстояніе точки m отъ плоскости  $\overline{MN}$ , а черезъ  $\epsilon_1$  разстояніе до этой же плоскости точки n, тогда разстояніе точекъ m и n до плоскости  $\overline{AB}$  будутъ соотвътственно равны:

-drift Endles woodland as 
$$x \rightarrow \varepsilon_1$$

Такъ какъ температуры точекъ въ толщѣ стѣны вообще суть функціи разстояній ихъ до плоскости  $\overline{AB}$ , то для температуръ  $t_1$  и  $t_2$  въ точкахъ m и n можемъ написать выраженія:

разложивъ въ рядъ функціи (4), имъемъ: човать и опадат в опадат опада

$$t_1 = \varphi(x) - \varepsilon \frac{d\varphi(x)}{dx} + \dots$$

$$t_2 = \varphi(x) + \varepsilon_1 \frac{d\varphi(x)}{dx} + \dots$$
(5)

Такъ какъ величины є и є, по 1-му положенію Фурье очень малы, то при разложеніи функціи  $\varphi$  въ рядъ Тейлора свободно можемъ ограничиться только двумя первыми членами разложенія, что и представленно формулами (5) и (6); вычитая выраженіе (6) изъ выраженія (5) имѣемъ:

Подставляемъ значение  $t_1-t_2$  въ уравнение (3) и находимъ:

$$N = -\sum (\varepsilon + \varepsilon_1) f(r) \frac{d\varphi(x)}{dx} \dots (8)$$

выраженіе:

$$\Sigma$$
 ( $\varepsilon + \varepsilon_1$ ) f (r)

для заданной стѣны есть величина постоянная. Обозначаемъ его черезъ  $\lambda$  и переписываемъ выраженіе (8) въ видѣ:

мъ выражене (о) въ видъ: 
$$N = -\lambda \frac{d\phi(x)}{dx}. ... ... ... (9)$$

Но, по равенству (1):

поэтому:

$$\varphi(x) = T,$$

$$N = \frac{1}{2} \lambda \frac{dT}{dx} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (10)$$

Послѣ нѣкотораго промежутка времени разсматриваемая нами стѣна  $\overline{AB}$ — $\overline{CD}$  должна притти къ состоянію теплового равновѣсія, называемому періодомъ инерціи или «установившагося» дѣйствія. Съ этого момента времени количество теплоты, проходящей въ единицу времени черезъ любую промежуточную плоскость  $\overline{MN}$  стѣны уже не должно зависѣть отъ разстоянія х этой плоскости до плоскости  $\overline{AB}$ . Дѣйствительно, если бы этого не было, то раздѣляя стѣну на рядъ слоевъ параллельными плоскостями мы убѣдились бы, что одинъ какой-нибудь слой получаетъ отъ предыдущаго теплоты больше, чѣмъ передаетъ слѣдующему и долженъ нагрѣваться, или же получая меньше, чѣмъ отдаетъ самъ, наоборотъ, долженъ бы былъ охлаждаться.

Оба эти допущенія должны быть отвергнуты, какъ противорьчащія положенію, по которому количества входящей въ стъну и выходящей изъ стъны теплоты другь другу равны. Слѣдовательно, N должно быть постояннымъ, а это влечетъ за собою выраженія:

$$N = Const = -\lambda \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots \dots (11)$$

Величина  $\lambda$  сама по себѣ постоянна для каждаго случая, слѣдовательно, необходимо, чтобы:

гдв С постоянная величина.

Взявъ неопредъленный интегралъ дифференціальнаго выраженія (13) имъемъ:

$$\int dT = \int C \cdot dx$$

откуда:

гдъ D-постоянная интегрированія.

Постоянныя С и D находятся изъ предѣльныхъ условій:

при 
$$x = 0$$
;  $T = T_1$ ;

откуда по ур-нію 14-му:

$$D=T_{t}$$
 аналидия диависиности к

Точно также;

при 
$$x = e; T = T_2;$$

что доставляетъ:

$$T_2 = C \cdot e + D$$

откуда:

$$C = \frac{T_2 - D}{e} = \frac{T_2 - T_1}{e} = -\frac{T_1 - T_2}{e}$$

Теперь ур-ніе (14) перепишется въ видѣ:

$$T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{e} x \cdot \dots \cdot \dots \cdot (15)$$

ур—ніе (15) показываетъ, что температуры внутри стѣны убываютъ въ ариөметической прогрессіи, разность которой равна:

$$\frac{T_1 - T_2}{e}$$
;

въ то время какъ разстояніи до АВ съченій, для которыхъ опредъляются температуры возрастають въ ариометической прогрессіи, разность которой равна единицъ.

Взявъ въ ур—ніи (15) первую производную отъ Т по х, найдемъ:

Подставляя же значеніе  $\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}$  въ ур-ніс (11) имѣемъ:

$$N = \lambda \, \frac{T_1 - T_2}{e}$$

или:

$$N = \frac{\lambda}{e} (T_1 - T_2) \dots \dots (17)$$

ур—ніе (17) представляетъ выраженіе для количества теплоты проходящаго въ единицу времени черезъ единицу площади любого съченія  $\overline{\text{MN}}$ .

Положивъ, далѣе,  $T_1-T_2=1^{\,0}$  с, а e=1-цѣ длины (толщины) найдемъ:

величина  $\lambda$  называется коэффиціентом в внутренней теплопроводности, при чемъ подъ этимъ терминомъ понимають количество вступающей въ стѣну или выходящей изъ нея теплоты въ единицу времени черезъ поверхность равную квадратной единицъ при разности температуръ объихъ крайнихъ поверхностей въ  $1^{\circ}$  с и при толщинъ стѣны равной единицъ длины.

Въ техникъ отопленія и вентиляціи за единицу времени принимается часъ, за единицу длины (толщины) І mtr,—поверхности—1 mtr.<sup>2</sup>

При этихъ единицахъ коеффиціентъ внутренней теплопроводности  $\lambda$  опредъляется какъ количество теплоты въ большихъ  $\left(\frac{\mathrm{klgr.}}{\mathrm{cel.}}\right)$  калоріяхъ, вступающее въ стѣну или выходящее изъ нея въ теченіе часа черезъ поверхность въ I  $\mathrm{mt}^2$  при толщинѣ стѣны е въ I  $\mathrm{mt}$  и при разности температуръ наружныхъ поверхностей въ  $1^{\circ}$  с.

Въ уравненіе (17) 
$$N = \frac{\lambda}{e} (T_1 - T_2)$$

Отношеніе  $\frac{\lambda}{e}$  коэффиціента внутренней теплопроводности даннаго вещества къ толщинъ проводящаго слоя обозначимъ черезъ  $\xi$ .

$$\xi = \frac{\lambda}{e}$$

и будемъ называть его внутренней проводимостью.

Для слоевъ изъ одного и того же вещества при  $\lambda = \text{Const}$ , но разной толщины, должны быть справедливы равенства:

$$\xi_1\!=\!rac{\lambda}{e_1};\quad \xi_2\!=\!rac{\lambda}{e_2};\quad \xi_3\!=\!rac{\lambda}{e_3}\,\ldots\,\xi$$
п  $=\!rac{\lambda}{e_n}$ , показывающіе

что внутренняя проводимость в обратно пропорціональна толщинт слоя е.

При одной и той же толщинъ слоевъ е и одинаковомъ  $\lambda$ , какъ слъдуетъ изъ выраженія (17), количество проведенной теплоты пропорціонально температурной разности,  $\tau$ -е.:

$$Q = \xi [T_1 - T_2] \dots (20)$$

 Таблица № 1.

 Коэффиціентовъ λ внутренней теплопроводности нѣкоторыхъ тѣлъ.

The state of the s	Зваченія коэф	фиціентовъ λ.	
Названіе вещества.	По даннымъ Пекле.	По даннымъ другихъ изслъдова- телей.	Изслѣдователи.
оходи и 1. Металлы:	. Disserte	u stunction	oraga (71) sine-q
Жельзо	28,00 69,00	60,00 360,00(300)	Lorenz (и другія.) Mitchel (Ритшель).
Латунь	90,00	anse-Th	Ритшель.
Цинкъ	30,00 110,00		District Charles
11. Древесные матеріалы:			
Сосна (поперекъ волоконъ)	0,093		Георгіевскій.
" (вдоль волоконъ)	0,170		г
Дубъ (поперекъ волоконъ)	0,211		Георгіевскій.
Ель (вдоль волоконъ)	HWHILE) KE	0.170	Георгіевскій. Георгіевскій.
Опилки сосновыя	OHESE ROM	0.087	Lamb и Wilson.
Древесная зола . Соломо	William Mari	0,060	Георгіевскій.
Древесный уголь (въ порошкѣ)		0,080	Ритшель.
Пробковое дерево	0,143	0,047	Lees.
III. Камни (естественные).	TRUBER OA)	SHAKE ATTACH	MA SE WORK ROTUS
Известнякъ (мелкозернистый).	1,70-2,08	3,22	Stadler.
Мраморъ бълый	2,780		Christianser.
" сърый	3,480	SPARTER AND	comparting ear
Известнякъ раковистый строи-		0.000	Чаплинъ.
тельный	1,320		(пл. 2.57) 2. 90 Stadler.
Шиферъ.	- 1,020	0.290	Ритшель.
IV. Камни (искусственные).			Account of the second
Бетонъ	201346/1 43	0.800	Ритшель Чаплинъ.
Гипсъ (искусственный)		0.320	Ритшель, Чапл <b>инъ.</b> Weber.
Глина (обожж.) (плотн. 1.98-1.85).	0,69-0,51	conde is at	
Красный кирпичъ различныхъ сор-			
товъ	_	0,34-0,36	Георгіевскій.
Цементный растворъ очень тощій	TABLE ZIANI	0.26	Cooppionarii
(събольшимъ содержаніемъ песка) Цементный растворъ (съ различ-	7	0,50	Георгіевскій.
нымъ содержаніемъ песка)		до 0,680	Георгіевскій.
Кирпичная кладка	-	0,690	Ритшель.
Алебастровыя плиты для перего.			
родокъ ,	_	0,600	Чаплинъ.
Древесный цементъ	and hear the rest	0,040	Чаплинъ.
V. Земли.	- CONT. 1	The second second	The same of the sa
Песокъ.	0,270	0,760	Георгіевскій.
Земляная засынка	ENGRAPHA DATE	0,150	Чаплинъ. Ритшель,
Мѣлъ въ порошкѣ		0,090	I MILICID,
VI. Разные матеріалы.	1 1 1 miles		T1 YYZ!!
Бумага	0,034		Lamb и Wilson. Lees.
Воздухъ	0,034		Lees.
Пухъ	0,039		2003.
Стекло	0,75-0,88	0,80-0,90	
Шерсть	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0,038	Георгіевскій.
Войлокъ		0,032	Георгіевскій.
Коксъ плотный-измельченный	DESERTED OF THE	5,000—0,160	Ритшель.
Штукатурка		0,69	Чаплинъ. Ритшель.
Хлопокъ		0.04	Ритшель.
Пробковыя плиты для изоляціи.			Чаплинъ.
		,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	

1	11	1	1	T				1	1	100		1	100000000000000000000000000000000000000								Name of Street, or other Persons				The second second		-	Contract of the last							The state of
r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
																															3 1 4 3 3				
1"	0,3588	0,7593	0,7117	0,6936	0,6753	0,6580	0,6477	0,6394	0,6326	0,6268	0,6218	0,6176	0,6136	0,6101	0,6071	0,6043	0,6017	0,5995	0,5973	0,5953	0,5935	0,5918	0,5902	0,5817	0,5874	0,5860	0,5848	0,58 6	0,5825	0,5814	0,5804	0,5794	0,5785	0,5776	0,5768
2"	0,8010	0,7083	0,6648	0,6470	0,6298	0,6137	,6042	0,5964	0,5900	0,5846	0,5800	0,5760	0,5723	0,5691	0,5663	0,5637	0,5613	0,559	0,5571	0,555	0,5536	0,5520	0,5505	0,501	0,5479	0,5466	0,5454	0,5444	0,5433	0,5423	0,5414	0,5406	0,5396	0,5388	0,5380
3"	0,7754	0,6856	0,643	0,6263	0,6097	0,5941	0,5848	0,5773	0 5712	0.5659	0,5614	0,5576	0,5540	0,5509	0,5481	0,5456	0,5433	0,5413	0,5 93	0,5375	0,539	0,5344	0,5329	0,5316	0,5304	0,5291	0,5280	0,5269	0,5259	0,5250	0,5241	0,5232	0,5224	0,5215	0,5208
4"	0,7601	0.6721	0,6308	0 6139	0,5976	0,5823	0,5733	0,5659	0,5599	0,5547	0,5503	0,5466	0,5431	0,5400	0,5373	0,5349	0,5326	0,5306	0,5287	0,5269	0,5253	0,5238	0,5225	0,5111	0,5199	0,5687	0,5176	0,5165	0,5155	0,5146	0,5137	0,5128	0,5120	0,5113	0,510
5"	0,7495	0,6677	0,6220	0,6054	0,5894	0,5743	0,5654	0,5581	0,5521	0,5471	0,5427	0,5390	0,5356	0,5326	0,5299	0,5275	0,5252	0,5233	0,5213	0,5196	0,5180	0,5166	0,5152	0,59	0,5127	0,5115	0,5104	0,5094	0,5084	0,5075	0,5066	0,5057	0,5050	0,5042	0,5034
6"	0.7419	0,6560	0.615	0,5992	0,5834	0,5684	0,5596	0,5524	0,5465	0 5415	0,5372	0,5335	0,5301	0,5271	0,5245	0,5221	0,5199	0,5180	0,5160	0,5143	0,5128	0,5115	0,5099	0,586	0,5075	0,5063	0,5052	0,5042	0,5032	0,5023	0,5014	0,5006	0,5008	0,4990	0,498
7"	0,7341	0,6491	0,6099	0,5929	0,5772	0,5624	0,5537	0,5476	0,5417	0,5367	0,5315	0,5279	0,5245	0,5215	0,5189	0,5166	0,5144	0,5125	0,5106	0,5089	0,5073	0,5059	0,5045	0,5032	0,5021	0,5009	0,4999	0,4989	0,4979	0,4970	0,4961	0,4953	0,4945	0,4938	0,4931
8"	0,7312	0,6465	0,6069	0,5906	0,5749	0,5602	0,5515	0,5444	0 5386	0,5337	0,5294	0,5258	0.5225	0,5195	0,5169	0,5145	0,5121	0,5105	0,5086	0,5069	0,5054	0,5039	0,5025	0,013	0,5002	0,4988	0,4979	0,4969	0,4960	0,4950	0,4942	0,4934	0,4926	0,4918	0,491
9"	0,7272	0,6440	0,603	0,5878	0,5718	0,5571	0,5485	0,5416	0 5357	0,5307	0,5265	0,5229	0,5196	0,5167	0,5141	0,5117	0,5095	0,5077	0,5058	0,5041	0,5026	0,5011	0,4988	0,4888	0,4974	0,4962	0,4952	0,4942	0,4932	0,4923	0,4915	0,4906	0,4909	0,4891	0,4884
10"	0,7237	0,6400	0,600	0,5846	0,5691	0,5545	0,5459	0,5389	0,5321	0,5282	0.5240	0,5205	0,5171	0,5142	0,5116	0,5093	0,5071	0,5053	0,5034	0,5017	0,5002	0,4988	0,4974	0,4967	0,4951	0,4939	0,4928	0,4917	0,4909	0,4900	0,4893	0,4883	0,4876	0 4868	0.486
11"	0,7209	0,6374	0,5989	0,5822	0,5668	0,5523	0,5437	0,5367	0,5310	0,5261	0,5220	0,5184	0,5151	0,5122	0,5096	0,5073	0 5051	0,5033	0,5014	0,4997	0,4983	0,4968	0,4954	0,4142	0,4931	0,4919	0,4909	0,4898	0,4880	0,4870	0,4872	0,4864	0,4856	0,4849	0,484
12"=1	0,7184	0,6352	0,5965	0,5802	0,5649	0,5504	0,5418	0,5349	0,5292	0,5243	0,5201	0,5166	0,5133	0,5104	0,5087	0,5055	0,5034	0,5015	0,4997	0,4980	0,4965	0,4951	0,4937	0,4925	0,4914	0,4901	0,4982	0,4881	0,4863	0,4854	0,4853	0,4846	0,4840	0,4882	0,4818
1,5'	0,7079	0,6259	0,5889	0,5717	0,5566	0,5423	0,5339	0,5271	0,5214	0,5166	0,5125	0,5091	0,5058	0,5029	0,5004	,4983	0,4960	0,4942	0,4923	0,4907	0,4892	0,4878	0,4865	0,4858	0,4842	0,4830	0,4820	0,4810	0,4801	0,4792	0,4784	0,4776	0,4769	0,4761	0,4750
2	0,7004	0,6193	0,5818	0,5657	0,5507	0,5366	0,5283	0,5215	0,5159	0,5112	0,5071	0,5037	0,5004	0,4976	0,4951	0,4928	0,4918	0,4890	0,4872	0,4855	0,4841	0,4827	0,4814	0,4802	0,4791	0,4780	0,4769	0,4760	0,4751	0,4742	0,4734	0,4726	0,4718	0,4711	0 470
2,5	0,6978	0,6166	0,5788	0,5632	0,5483	0,5343	0,5260	0,5192	0,5137	0,5089	0,5049	0,5015	0,4983	0,4955	0,4930	0,4907	0,4886	0,4869	0,4850	0,4834	0,4820	0,4806	0,4793	0,4781	0,4770	0,4759	0,4749	0,4739	0,4730	0,4721	0,4713	0,4705	0.4698	0,4691	0,468
3	0,6948	0,6139	0,5762	0,5608	0,5459	0,5319	0,5237	0,5179	0,5114	0,5067	0,5027	0,4993	0,4961	0,4933	0,4908	0,4886	0,4865	0,4847	0,4829	0,4813	0,4798	0,4785	0,4772	0,4760	0,4749	0,4738	0,4728	0,4718	0,4709	0,4700	0,4693	0,4685	0,4677	0,4670	0,466
3 5	0,6918	0,6717	0,5749	0,5588	0,5439	0,5300	0,5218	0,5151	0,5096	0,5049	0,5009	0,4975	0,4943	0,4914	0,4891	0,4868	0,4848	0,4830	0,4812	0,4796	0,4781	0,4768	0,4755	0,4743	0,4732	0,4721	0,4711	0,4701	0,4692	0.4684	0,4676	0,4668	0,4661	0,4653	0,464
4	0,6899	0,6100	0,572	0,5572	0,5425	0,5286	0,5204	0,5137	0,5082	0,5035	0,4995	0,4961	0,4929	0,4902	0,4877	0,4855	0,4834	0,4816	0,4793	0,4783	0,4768	0,4754	0,4741	0,4729	0,4719	0,4708	0,4697	0,4688	0,4679	0,4671	0,4663	0 4685	0,4648	0,4640	0 463
4.5	0,6882	0,6085	0,570	0,5558	0,5411	0,5273	0,5191	0,5124	0,5069	0,5022	0,4983	0,4949	0,4917	0,4889	0,4865	0,4843	0,5822	0,4804	0,4786	0,4771	0,4756	0,4743	0,4730	0,4718	0,4707	0,4696	0,4686	0,4677	0 4668	0,4659	0,4651	0,4643	0,4636	0,4629	0,4625
5	0,6868	0,6073	0,5690	0,5547	0,5401	0,5262	0,5180	0,5115	0,5059	0,5013	0,4973	0,4939	0,4907	0,4880	0,4855	0,4833	0,4813	0,4795	0,4777	0,4761	0,4747	0,4733	0,472	0,5703	0,4698	0,468	0,4677	0,4667	0,4659	0,4650	0,4642	0,4634	0,4627	0,4620	0,461
							11								*				1																
		1 minus	14.5 64	1	- North	1			Las I									17 3 15	The Marie of		STATE OF THE PARTY	STATE OF	SERVE !					White the last			1	No. of the last	all some de	A THORSE	

a lorganistical and more particular december of the control of

#### III. Передача теплоты соприкосновеніемъ (конвекція).

Явленіе перенесенія теплоты съ одного твердаго тѣла на другое при помощи частицъ подвижной среды, заполняющей пространство между тѣлами основано на измѣненіи плотности вещества среды и на нарушенія условій равновѣсія, существовавшихъ до нагрѣванія.

Явленія переноса теплоты отъ однихъ частицъ жидкой массы къ другимъ, а также и въ газовой средѣ легко поддаются опытному наблюденію. Однакоже, въ силу чрезвычайной сложности процессовъ теоретическое изученіе явленій конвекціи до сихъ поръ еще находится въ зародышѣ и современная наука обладаетъ лишь крайне несовершенными законами, которымъ подчинены эти явленія, столь важныя въ вопросахъ отопленія и вентиляціи.

## 1) Формула Ньютона.

Ньютону принадлежить первая попытка дать математическое выражение для закона передачи теплоты отъ тъла въ окружающую среду путемъ соприкосновения частицъ среды съ поверхностью охлаждающагося тъла.

На основаніи опытнаго изученія явленій Ньютонъ допустиль, что потеря теплоты прикосновеніемь, въ томъ случав, когда средою является воздухъ, зависить:

а) Отъ абсолютнаю значенія разности температург поверхности тъла и среды:

$$T-t=\tau;$$

- b) Отъ величины, формы и положенія тыла, поверхность котораю отдает теплоту; потеря теплоты въ этомъ случав не зависить:
- с) Отъ рода и состоянія поверхности, т. е. не зависить отъ свойствъ вещества тѣла, поверхность котораго отдаетъ теплоту соприкосновеніемъ съ окружающимъ воздухомъ.
- d) Отъ температуры t среды—воздуха. По Ньютону для тѣлъ, поставленныхъ въ одинаковыя условія охлажденія: отношеніе количествъ теплоты, отдаваемыхъ въ единицу времени путемъ конвекціи:

$$N_1 N_1' N_1'', \dots N_1(n)$$

къ температурнымъ разностямъ

$$T-t=\tau;$$
  $T_1-t_1=\tau_1$  . . . .  $T_n-t_n=\tau_n$ 

суть величины постоянныя, т.-е.:

$$\frac{N_1}{\tau} = \frac{N_1''}{\tau_1} = \frac{N_1''}{\tau_2} = \cdots = \frac{N_1(n)}{\tau_n} = k_1 \cdot \cdots \cdot (1)$$

Отсюда вытекаетъ извъстная формула Ньютона:

$$N_1 = k_1 (T - t) = k_1 \tau \dots (2)$$

по которой количество теплоты, теряемое въ единицу времени единицей поверхности тъла путемъ конвекціи пропорціонально разности температуръ поверхности тъла Т и среды t.

Коэффиціентъ пропорціональности  $k_1$  при T-t=единицѣ равенъ  $N_1$ ; слѣдовательно, представляетъ количество теплоты, теряемое въ единицу времени единицей поверхности тѣла при разности температуръ въ 1° С.

Для поверхностей одинаковой формы и положенія коэффиціентъ  $\mathbf{k_1}$  величина постоянная.

#### 2) Формула Дюлонга и Пти.

Болъе точные опыты, произведенные Дюлонгомъ и Пти показали, что законъ теплопередачи путемъ конвекціи данный Ньютономъ является точнымъ только въ весьма ограниченныхъ предълахъ температурныхъ разностей, именно до  $5^{0.1}$ ).

При дальнъйшемъ же возрастании температурной разности  $\tau = T - t$ .

Отношеніе количества отдаваемой теплоты N къ этой температурной разности  $\tau = T - t$  также возрастаетъ вмѣстѣ съ абсолютной величиной послѣдней, такъ что при:

$$au_0 > au_1 > au_2 > \dots > au_n$$

$$\frac{N_{1}}{\tau_{0}} = k_{1} \ \alpha_{0}; \ \frac{N_{1}'}{\tau_{1}} = k_{1} \ \alpha_{1}; \ \frac{N_{1}''}{\tau_{2}} = k_{1} \ \alpha_{2} \ \dots \ \frac{N_{1}(n)}{t_{n}} k_{1} \ \alpha_{n}$$

при чемъ:

$$\alpha_0 > \alpha_1 > \alpha_2 > \ldots > \alpha_n$$

Обозначивъ вообще черезъ  $\alpha_1$  множитель при  $k_1$ , характеризующій возрастаніе  $k_1$  въ зависимости отъ возрастанія абсолютнаго значенія  $\tau$ , можемъ представить исправленную формулу Ньютона въ видѣ:

$$N_1 = k_1 \alpha_1 (T - t) = k_1 \alpha_1 \tau \dots (3)$$

гдъ, по указаніямъ опытовъ Дюлонга и Пти  $\alpha_1$  есть нѣкоторая функція оть  $\tau$ , возрастающая съ возрастаніемъ абсолютнаго значенія самого  $\tau$ ,  $\tau$ .-е.:

$$\alpha_1 = \varphi (\tau) \dots (4)$$

<sup>1)</sup> Хвольсенъ "Курсъ физики" т. ПІ.

Дюлонгъ и Ити для коэффиціента  $\alpha_1$  предложили численное выраженіе:

$$\alpha_1 = \frac{0.552 (T - t)^{-1,233}}{T - t} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (5)$$

Подставляя въ равенство (3) значеніе  $\alpha_1$  изъ формулы (5), получаемь формулу Дюлонга и Пти въ видѣ выраженія:

$$N_{1} = \frac{0.552 (T-t)^{-1}.^{233}}{T-t} k_{1} (T-t) \dots (7)$$

или по сокращеніи:

$$N_1 = 0.552 k_1 (T-t)^{-1},^{233} \dots (7)$$

Согласно пункта (b), значеніе коэффиціента  $k_i$  въ формулахъ Ньютона и Дюлонга зависить только отъ величины, формы и положенія теплоотдающей поверхности.

Для нѣкоторыхъ частныхъ случаевъ были выведены формулы, выражающія эту зависимость, напримѣръ:

а) Для поверхности сферическаго тъла радіуса г:

$$k_1 = 0.4033 + \frac{0.0968}{r} \dots \dots$$
 (a)

b) Для поверхности вертикальнаго цилиндра или трубы радіуса г и высоты h:

$$k = \left(0.3458 + \frac{0.0298}{\sqrt{-r}}\right) \cdot \left(1.157 + \frac{0.7566}{\sqrt{-h}}\right) \cdot \cdot \cdot (b)$$

с) Для вертикальной плоскости высоты h выраженіе для  $k_1$  легко получить изъ предыдущаго, положивъ  $r=\infty$ , тогда, послѣ преобразованій, получаемъ:

$$k_1 = 0,4002 + \frac{0,2613}{\sqrt{h}} \dots \dots (c)$$

d) Для поверхности горизонтальнаго цилиндра или трубы радіуса г:

$$k_1 = 0.4669 + \frac{0.0284}{r} \cdot \dots \cdot (d)$$

е) Для горизонтальной плоскости изъ выраженія (d) при  $r = \infty$  получаемъ:

$$k_4 = 0,4669...$$
 (e)

Для облегченія вычисленій въ случаяхъ практическаго пользованія приводимъ здѣсь таблицы, содержащія значенія  $k_1$  для нѣкоторыхъ чаще встрѣчающихся въ техникѣ формъ поверхностей.

См. табл. № 2 на вкладн. листъ.

Таблица № 3-й.

Коэффиціентовъ  $k_1$  для вертикальныхъ плоскостей, высоты которыхъ измѣняются отъ h=0.5 фут. до h=35 фут.

Высста въ футахъ.	Величина к <sub>1</sub> .	Высота въ футахъ.	Величина к1.
0,5	0,7706	14 98 01	0,4702
qoo lamena	0,6615	15	0,4677
1,5	0,6143	16.	0,4655
27 20/0	0,5850	17	0,4635
2,5	0,5655	18	0,4618
3,,	0,5511	19	0,4602
3,5	0,5399	20	0,4586
4	0,5309	21	0,4572
4,5	0,5233	22	0,4559
5	0,5171	23	0,4547
5,5	0,5116	24 0	0,4535
6	0,5069	25	0,4525
6,5	0,5027	26	0,4514
7	0,4990	27	0,4505
7,5	0,4956	28	0,4495
8	0,4926	29	0,4487
8,5	0,4898	30	0,4479
9(0)	0,4873	31	0,4471
9,5	0,4850	32	0,4463
10	0,4818	33	0,4456
T NEW SQUAR	0,4790	34	0,4450
12	0,4756	35	0,4444
13 (6)	0,4726	20 + palente	i d

Таблица № 4-й.

Коэффиціентовъ  $k_1$  для поверхностей горизонтальныхъ цилиндровъ, радіусы которыхъ измѣняются отъ r=1" до r=12" и отъ r=1 фут. до r=5 фут.

Радіусь въ дюймахъ.	$k_1$	Радіусь въ дюймахъ.	$k_1$	Радіусь въ футахъ.	karan (a	Радіусь въ футахъ.	k <sub>1</sub>
N.156.0	81	30 F	098		u p. in i	0020	ener of
1	0,8077	7	0,5156	1,5	0,4856	4,5	0,4732
1,5	0,6941	7,5	0,5123	1,75	0,4831	4,75	0,4729
0012000	0,6373	8	0,5095	2000	0,4811	5	0,4726
2,5	0,6052	8,5	0,5070	2,25	0,4795		lon.
3	0,5805	9	0,5047	2,50	0,4782		70 80
3,5	0,5641	9,5	0,5027	2,75	0,4772		00
4	0,5521	10	0,5010	3	0,4764		00
4,5	0,5426	10,5	0,4993	3,25	0,4756		
5	0,5349	11	0,4979	3,50	0,4750		103
5,5	0,5289	11,5	0,4965	3,75	0,4745	5 .080A	60
6	L V	12 <del>=</del> 1 ф.		4	0,4740		10ê
6,5	o francis	1,25 ф.	0,4896	4,25	0,4735		
0,0	0,0190	1,20 ψ.	0,4000	4,20	0,4100	8008	so a
100.0	,				324	7858	00
01100.0					d= i_i		2)
01400,02	22	ilgs .	m. 1	00100			00

Значенія коэфиціентовъ  $k_1$ , взятыя изъ таблицъ, подставляются въ формулы Ньютона или Дюлонга и Пти, (2) или (6).

Для дальнъйшаго упрощенія пользованія формулою Дюлонга, здъсь помъщается таблица коэффиціентовъ  $\alpha_1$ , вычисляемыхъ по уравненію (5).

Таблица № 5-й.

Коэффиціентовъ  $\alpha_1$  въ формулѣ Дюлонга и Пти для температурныхъ разностей отъ  $\tau=20^{\circ}$  С. до  $\tau=500^{\circ}$  С. черезъ  $10^{\circ}$ .

α <sub>1</sub> (прикосновеніемъ).	$lpha_1$ Разность коэфф. соотвётствующая увеличенію $(T-t)$ на $1^0$ .		α <sub>1</sub> (прикоснове- ніемъ).	Разность коэфф. соотв'ятствующая увеличенію (T—t) на 1°.				
0,9209		260	1,9673	0,00178				
1,0823		270	1,9847	0,00174				
1,1883		280	2,0016	0,00169				
1,2720		290	2,0180	0,00164				
1,3398		300	2,0340	0,00160				
1,3979	The state of the s	310	2,0496	0,00156				
1,4491		320	2,0648	0,00152				
1,4949		330	2,0797	0,00149				
1,5364		340	2,0942	0,00145				
1,5747		350	2,1084	0,00142				
1,6100		360	2,1223	0,00139				
1,6430		370	2,1360	0,00137				
1,6743	THE PERSON NAMED IN COLUMN	380	2,1492	0,00132				
1,7030		390	2,1622	0,00130				
1,7307		400	2,1750	0,00128				
1,7569		410	2,1876	0,00126				
1,7820	The Assert Street Street	420	2,1999	0,00122				
1,8058		430	2,2119	0,00120				
1,8287	And the second second second	440	2,2239	0,00120				
1,8507		450	2,2357	0,00118				
1,8723		460	2,2473	0,00116				
1,8922		470	2,2583	0,00110				
1,9120	ALLOSS WEST BUSTON	480	2,2693	0,00110				
1,9310	0,00190	490	2,2802	0,00109				
1,9495	0,00185	500	2,2910	0,00108				
	0,9209 1,0823 1,1883 1,2720 1,3398 1,3979 1,4491 1,4949 1,5364 1,5747 1,6100 1,6430 1,6743 1,7030 1,7307 1,7569 1,7820 1,8058 1,8287 1,8507 1,8723 1,8922 1,9120 1,9310	0 0,9209 1,0823 0,01614 1,1883 0,01060 0,00837 0,00678 1,3398 0,00581 0,00581 0,00512 0,00458 0,00415 0,00383 1,5747 0,00353 0,00330 1,6430 0,00330 1,6743 1,7030 0,00287 1,7307 0,00262 1,7820 0,00251 0,00251 0,00251 0,00229 1,8507 0,00220 1,8507 0,00220 1,8723 0,00198 1,9310 0,00195	0 0,9209	0       0,9209       260       1,9673         1,0823       0,01614       270       1,9847         1,1883       0,01060       280       2,0016         1,2720       0,00837       290       2,0180         1,3398       0,00581       300       2,0340         1,3979       0,00512       320       2,0496         1,4491       0,00458       330       2,0797         1,5364       0,00415       340       2,0942         1,5747       0,00383       350       2,1084         1,6100       0,00353       360       2,1223         1,6430       0,00330       370       2,1360         0,00313       380       2,1492         1,7030       0,00287       390       2,1622         0,00287       390       2,1622         1,7820       0,00262       410       2,1876         1,8287       0,00238       430       2,2119         1,8287       0,00229       440       2,2239         1,8507       0,00220       450       2,2357         1,8723       0,00198       480       2,2693         1,9310       0,00190       490       2,2583				

Формулу Дюлонга и Пти, считали достаточно точной до темпе-

ратурной разности въ 250° С. 1).

Однако позднъйшими работами Пекле установлено, что эта формула при разностяхъ температуръ уже близкихъ къ  $60^{\circ}$  даетъ несогласные съ опытомъ результаты. Пользованіе этой формулой, кромъ того затруднительно еще и въ силу ея сложности и громоздкости, что и побудило Пекле предложить свое выраженіе для  $N_{\rm t}$  въ предълахъ температурныхъ разностей отъ  $\tau = 25^{\circ}$  С. до  $\tau = 65^{\circ}$  С.

# 3) Формула Пекле.

Замѣтивъ на основаніи своихъ опытовъ, что коэффиціентъ  $k_1$  возрастаетъ съ возрастаніемъ абсолютнаго значенія температурной разности  $\tau$ , Пекле выражаетъ исправленную формулу Ньютона подобно Дюлонгу и Пти въ формѣ:

$$N_1 = k_1 \alpha_1 (T - t) = k_1 \alpha_1 \tau$$
. (8)

гдъ:

На основаніи сказаннаго а, должно удовлетворить условію:

$$\alpha_1 > 1;$$

Слѣдовательно,  $\alpha_1$  можетъ быть выражено въ видѣ:

$$\alpha_1 = 1 + \delta_1$$
 represent a groups, and  $\alpha_1$ 

гдъ  $\delta_1$ —нъкоторое перемънное число. Такъ какъ  $\alpha_1$  является функціей температурной разности, то простъйшей формой зависимости будетъ:

$$\alpha_1 = 1 + \delta_1 = 1 + \gamma_1 \tau^1 \dots (9)$$

Значеніе множителя 71 подлежить уже опытному опредъленію.

Для предъловъ температурной разности отъ  $\tau=25^{\circ}$  С. до  $\tau=65^{\circ}$  С. и при температуръ воздуха  $t=+12^{\circ}$  С Пекле нашелъ для  $\gamma_1$  величину равную 0,0075, что доставляетъ для  $\alpha_1$  значеніе:

$$\alpha_1 = 1 + 0,0075 \ \tau = 1 + 0,0075 \ (T - t) \dots (10)$$

Подставляя далѣе значеніе  $\alpha_1$  изъ выраженія (10) въ формулу (8) найдемъ:

$$N_1 = k_1 \ \alpha_1 \ \tau = k_1 \ [1 + 0.0075 \ \tau] \ \tau \dots \dots (11)$$

<sup>1)</sup> Проф. С. Лукашевичъ "Курсъ отопленія и вентиляціи". Изданіе 3-е стр. 29.

Это и будетъ выраженіе, данное Пекле, для потери теплоты поверхностью тѣла путемъ соприкосновенія съ воздухомъ, справедливое въ указанныхъ выше предѣлахъ.

Для коэффиціента k, Пекле были даны численныя значенія, оказавшіяся, по признанію самого Пекле, малодостовърными приближеніями. Провъркою цифръ, найденныхъ Пекле, нъсколько позже занялись Руссперъ и затъмъ Германъ Фишеръ, наблюдая охлажденіе желъзныхъ и чугунныхъ трубъ, согръваемыхъ паромъ. Опыты подтвердили недостаточность коэффиціентовъ, данныхъ Пекле. Въ виду недостаточной степени точности и позднъйшихъ цифровыхъ величинъ, найденныхъ для k, въ настоящее время для практическихъ приложеній считаютъ необходимымъ удваивать цифры, данныя Пекле; такимъ образомъ составлена нижепомъщаемая таблица.

Таблица № 6-й.

Основныхъ коэфиціентовъ передачи тепла соприкосновеніемъ по Грасгофу и Фишеру:

Поверхности воспринимающія и отдающія теплоту соприкосновеніемъ съ воздухомъ.	Коэффиціентъ k <sub>1</sub> .
Поверхности со стороны воздушныхъ прослойковъ	Отъ 2 до 3.
Внутренннія поверхности огражденій зданій (стѣнъ, половъ, потолковъ, оконъ)	Отъ 3 до 4.
Внъшнія поверхности, защищенныя отъ непосредственнаго вліянія вътра	Отъ 4 до 5.
Наружныя поверхности, не защищенныя отъ дъйствія вътра	Отъ 5 до 6.

#### III. Передача теплоты лучеиспусканіемъ.

1) Сущность лучистой энергіи.

На основаніи принципа сохраненія энергіи необходимо представлять себ'в возникновеніе любой формы энергіи только путемъ преобразованія части или всего им'вющагося запаса другой формы энергіи. Согласно этого положенія, лучистая энергія періодическаго движенія въ эфир'в должна им'вть своимъ источникомъ запасъ какого-либо другого вида энергіи. Чаще всего лучистая энергія возникаетъ всл'вдствіе перехода въ нее тепловой энергіи молекулъ твердыхъ, жидкихъ или газообразныхъ т'влъ.

Такой переходъ называется колорическим лучеиспусканіем. Переходъ тепловой энергіи въ лучистую современная физика представляеть себъ происходящимъ слъдующимъ образомъ:

Эфиръ заполняетъ все свободное пространство между молекулами тѣла; энергія движенія молекуль непрерывно передается эфиру и распространяется въ немъ по всѣмъ направленіямъ; если бы эта энергія не пополнялась притокомъ извнѣ отъ другихъ сосѣднихъ тѣлъ, то тѣло въ очень короткій промежутокъ времени потеряло бы весь запасъ тепловой энергіи; молекулы пришли бы въ относительный покой. Подобнаго истощенія запасовъ энергіи въ природѣ не наблюдается вслѣдствіе непрерывнаго ея притока въ видѣ лучистой энергіи, непрерывно исходящей отъ всѣхъ окружающихъ тѣлъ и переходящей въ тепловую энергію движенія молекулъ.

Отъ всякаго тѣла при всѣхъ условіяхъ и при всякой, даже самой низкой температурѣ непрерывно исходитъ потокъ лучистой энергіи; въ то же время тѣло непрерывно поглощаетъ потоки энергіи исходяшіе отъ другихъ тѣлъ.

Если потокъ лучистой энергіи, испускаемый тѣломъ, больше или меньше потока поглощаемаго, то запасъ тепловой энергіи, а слѣдовательно и температура тѣла уменьшается или увеличивается, тѣло охлаждается или нагрѣвается.

Характеръ потока лучистой энергіи, испускаемой тѣломъ, вѣроятно, зависитъ отъ характера тѣхъ молекулярныхъ движеній, которыя происходятъ въ данный моментъ. Когда температура тѣла низка, тогда движенія большинства молекулъ сравнительно медленны; они способны вызывать въ эфирѣ также медленныя колебанія, распространяъющіяся лучами съ большею длиною волны.

По мъръ повышенія температуры тъла увеличивается и число молекуль совершающихъ болье быстрыя, чъмъ раньше, колебанія, соотвътственно этому усиливаются и потоки лучистой энергіи съ болье короткой волной и большой преломляемостью.

Когда температура тѣла достигнетъ нѣкотораго значенія, тогда часть испускаемой лучистой энергіи, обладая длиною волны въ 0,0007 mm, начинаетъ дѣйствовать на нашъ глазъ, вызывая вцечатлѣніе краснаго свѣта. Это значитъ, что тѣло достигло температуры «темно краснаго каленія».

При дальнъйшемъ повышеніи температуры увеличивается энергія лучей съ все болъе и болье короткой волной и большей преломляемостью: дълаются видимыми послъдовательно лучи оранжевые, желтые, зеленые, голубые, синіе и, наконецъ, фіолетовые (температура бълаго каленія), далъе тъло будетъ испускать лучи, которые снова не способны дъйствовать на нашъ органъ зрънія—это лучи ультра-фіолетовые.

Такимъ образомъ лучистая теплота представляетъ одну изъ формъ лучистой энергіи вообще и поэтому подчиняется въ своемъ распространеніи общимъ физическимъ законамъ, управляющимъ явленіями лучистой энергіи.

- а) Тепловые лучи распространяются прямолинейно во всё стороны отъ теплового центра, подобно лучамъ свётовымъ.
- b) Напряженіе теплоты обратно пропорціонально квадратамъ разстояній и Sinus'амъ угловъ, составляемыхъ тепловыми лучами съ плоскостью, на которую они падаютъ. Тепловые лучи испускаемые солнцемъ и всякимъ раскаленнымъ тѣломъ называются свътплыми тепловыми лучами; потокъ лучей, выходящихъ изъ камина въ помѣщеніе, представляетъ смъсь свѣтлыхъ и темныхъ лучей, наконецъ, нагрѣтая поверхность голландской печи посылаетъ въ пространство только мемные тепловые лучи.

#### 2) Формула Ньютона.

Въ предълахъ температурныхъ разностей, не превосходящихъ  $\tau=5^{\circ}$  С., справедливъ предложенный Ньютономъ законъ потери теплоты поверхностью тъла черезъ лучеиспусканіе:

$$N_2 = k_2 [T - t] = k_2 \tau \dots (1)$$

по которому количество теплоты отданной лучеиспусканіемъ нагрѣтаго тѣла температуры Т въ среду температуры t въ единицу времени черезъ поверхность въ 1 кв. единицу пропорціонально первой степени разности температуръ:

$$\tau = (T - t)$$

Коэффиціентъ пропорціональности  $k_2$  въ уравненіи (1) при T-t= единицѣ, равенъ  $N_2$ ; слѣдовательно,  $k_2$  представляетъ собою количество теплоты теряемой лучеиспусканіемъ въ единицу времени, черезъ единицу поверхности при разности температуръ тѣла и пространства въ 1° С.  $k_2$  называется коэффиціентомъ лучеиспусканія.

Количество теплоты  $k_2$  теряемое въ единицу времени единицею поверхности лучеиспускающаго тъла при разности температуръ въ 1° С. зависитъ какъ показываетъ опытъ,

а) отъ рода и состоянія поверхности, а при температурныхъ разностяхъ, большихъ  $\tau=5^{\rm 0}$  С. еще и отъ абсолютнаго значенія температуры среды t.

Значенія коэффиціентовъ лучеиспусканія для нѣкоторыхъ тѣлъ приводятся въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Таблица № 7-й.

Коэффиціенть  $(k_2)$  лучеиспускательной способности для плоскихъ поверхностей нѣкоторыхъ тѣлъ (по Пекле).

Наименованіе тълъ. въ с на mt	1	въ ф/ц. ед. т.на 1 кв. футъ.	Наименованіе тѣлъ.	въ cal на 1 mt².	въ ф/ц. ед. т.на 1 кв. футъ.
				HE CONTRACTOR	
I. Металлы:		919 Ir	III. Разные мате		
	17	A STATE OF THE PARTY OF THE PAR	ріалы:		
Company of the Compan	$\frac{36}{16}$	A STATE OF THE PARTY OF THE PAR	Бумага	3,80	THE RESERVE OF THE PARTY OF THE
THE RESIDENCE OF THE PROPERTY	$\frac{24}{22}$	THE STREET STREET, STREET STREET, STRE	Бумага посеребренн. Бумага позолоченная.	$0,42 \\ 0,23$	0,0522
Желъзо полированное. 0,	45 $65$	0,1021	Промажная матерія.	3,65	AND DESCRIPTION OF THE PERSON NAMED IN COLUMN TWO IS NOT THE PERSON NAMED IN COLUMN TWO IS NAMED IN COLUMN TWO I
" обыкновенное. 2,	77	0,6284	Шерсть и шерстяная	3,70	
Серебро полировани. 0,	36 13	0,0295	III a managa man	3,70 3,53	0,8348
Латунь полировани. О,	26	0,0585	Дерево	3,60	THE RESERVE OF THE PARTY OF THE
II. Камни и			Древесно - угольный порошокъ	3,42	SECTION OF SECTION AND ADDRESS.
Земли:		, 1	Стекло (сухое)	2,91 4,00	THE RESERVE OF THE PARTY OF THE
	60 60			5,30 3,70	AND THE PERSON NAMED IN COLUMN
Гипсъ	$60 \\ 32$	0,8167	Штукатурка извест-	3,60	
	62			3,80	

Примъчаніе. Для перевода м'връ метрическихъ въ русскія 1-го столбца надо д'влить на 4,41 и обратно для перевода русскихъ въ метрическія цифры 2-го столбца надо умножать на 4.41.

#### 3) Формула Дюлонга и Пти.

Такъ какъ формула Ньютона оказывается неточною уже при малыхъ температурныхъ разностяхъ, то Дюлонгъ и Пти предложили свою эмпирическую формулу:

$$N_2 = 124.72k_2$$
.  $a^t [a \frac{(T-t)}{-}1]$ . . . . . . . . . . . . . . . . . (2)

гдѣ  $k_2$  — коэффиціентъ лучеиспусканія, выбираемый по таблицѣ № 7 й въ русскихъ мѣрахъ, а — численный множитель, равный постоянному числу 1,0077.

Въ формулу Дюлонга входитъ членъ  $a^t$ , выражающій зависимость теплопередачи лучеиспусканіемъ отъ абсолютнаго значенія температуры среды t.

Положивъ:

можемъ представить формулу Дюлонга въ формъ, подобной формулъ Ньютона:

Таблица № 8-й. Коэффиціентовъ  $\alpha_2$  въ формулъ Дюлонга и Пти при  $t=+15^{\circ}$  С.

Pashocra remueparypra (T-t).	а <sub>2</sub> (лучеиспу- сканіемъ).	Разность коэфф, соотвѣтствующая увеличенію ( $T$ — $t$ ) на $1_0$ .	Pashocrb Temmeparypr (T-t).	α <sub>2</sub> (лучеиспу- сканіемъ).	Разность ноэфф, соотвътствующая увеличенію ( $T$ — $t$ ) на $1^{\circ}$ .
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220	1,1860 1,2328 1,2832 1,3353 1,3907 1,4489 1,5101 1,574 1,6433 1,7154 1,7915 1,8720 1,9570 2,0468 2,1415 2,2417 2,3480 2,4598 2,5786 2,7042 2,8371 2,9779	0,00468 0,00504 0,00521 0,00554 0,00582 0,00612 0,00647 0,00685 0,00721 0,00761 0,00805 0,00850 0,00850 0,00898 0,00947 0,01002 0,01063 0,01118 0,01188 0,01256 0,01329 0,01408	260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 400 410 420 430 440 450 460 470	3,6296 3,8137 4,0171 4,2286 4,4527 4,6907 4,9737 5,2118 5,4962 5,7988 6,1203 6,4608 6,8234 7,2102 7,6200 8,0536 8,5170 9,0095 9,5470 10,0900 10,6832 11,3232	0,01774 0,01841 0,02034 0,02141 0,02115 0,02380 0,02830 0,03881 0,02844 0,03126 0,03215 0,03405 0,03626 0,03868 0,04098 0,04336 0,04634 0,04925 0,05375 0,05430 0,05932
230 240 250	3,1270 3,2891 3,4522	0,01491 0,01621 0,01631	480 490 500	11,3232 11,9864 12,7029 13,4634	0,06400 0,0663 <b>2</b> 0,07165 0,07605

#### Дополкительная таблица № 9-й

поправочныхъ коэффиціентовъ  $\beta$  для случаевъ  $t \gtrsim +15^{\circ}$  С.

Коэффиціентъ ( $\beta$ ), на который слѣдуетъ умножить ( $\alpha_2$ ), если температура поверхности не равна 15 $^{\circ}$  Ц.

Температура поверхности.	00	10	17	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Значеніе коэф.	0,89	0,96	1,016	1,04	1,12	1,21	1,31	1,31	1,52	1,65	1,78	1,92

#### умот 4) Формула Пекле. уд вметон и викт запедо иманитове во онов

Позднъйшие опыты Пекле и другихъ показали неточность формулы Дюлонга; такъ оказалось, что потеря тепла лучеиспусканиемъ пропорціональна не первой степени температурной разности 2, а степени высшей, чъмъ первая.

Отношеніе количества  $N_2$  къ температурной разности  $\tau$ , не есть постоянная величина  $k_2$ , какъ это допущено Ньютономъ, но измѣняется, возрастая съ возрастаніемъ абсолютнаго значенія  $\tau$ ,  $\tau$ .-е. что:

$$\frac{N_2}{\tau_0} = k_2 \; \alpha_0; \; \frac{N_2}{\tau_1} = k_2 \; \alpha_1; \; \frac{N_2''}{\tau_2} = k_2 \; \alpha_2 \; \dots \; \frac{N^{(n)}}{\tau_n} = k_2 \; \alpha_n$$
 причемъ 
$$\alpha_0 > \alpha_1 > \alpha_2 > \dots \; \alpha^n \; .$$

Обозначая вообще черезъ  $\alpha_2$  множитель при  $k_2$ , характеризующій возрастаніе  $k_2$  съ возрастаніемъ  $\tau$ , можемъ написать что:

$$\alpha_2 = \varphi (\tau).$$

При этомъ 🛛 должно удовлетворять условію:

$$\alpha_2 > 1$$
.

Если это такъ, то  $\alpha_2$  можетъ быть представлено въ формъ суммы:

idiagod de nell h 
$$a_2 = 1 + \delta_2$$
, avagod astreasemon ourcom

гдъ δ<sub>2</sub> — нъкоторое перемънное число.

Такъ какъ  $\alpha_2$  зависитъ отъ  $\tau$ , являясь ея функцій, то

$$\alpha_2 = 1 + \delta_2 = 1 + \gamma_2 \tau \dots (6)$$

коэффиціентъ  $\gamma_2$  опредъленъ былъ опытомъ и найденъ равнымъ 0,0056; что доставляетъ для  $\alpha_2$  значеніе:

$$\alpha_2 = 1 + 0,0056 \ \tau = 1 + 0,0056 \ (T - t) \dots (7)$$

Подставляя значение  $\alpha$ , въ формулу (4) находимъ:

 $N_2 = k_2 \alpha_2 (T - t) = k_2 [1 + 0,0056 (T - t)] = k_2 (1 + 0.0056 \tau) \dots (8)$ формула (8) считается справедливой при температуръ среды + 12° С. и въ предълахъ температурныхъ разностей:

отъ 
$$\tau = 25^{\circ}$$
 С. до  $\tau = 65^{\circ}$  С.

#### IV. Общій случай передачи теплоты.

#### Соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ.

1) Основныя формулы. Въ общемъ случать внъшняго охлаждения нагрътое тъло теряетъ теплоту одновременно какъ черезъ соприкосновеніе съ частицами среды, такъ и путемъ лучеиспусканія, поэтому полная потеря теплоты N въ единицу времени черезъ единицу поверхности при разности температуръ  $T-t=\tau$  поверхности и среды должна быть равна суммъ частныхъ слагающихъ потерь  $N_1$  и  $N_2$ , т.-е.:

$$N = N_1 + N_2.$$

а) При малыхъ разностяхъ температуръ до  $au=10^{\circ}$  С. достаточна точность, представляемая формулами Ньютона, по которымъ:

$$N = N_1 + N_2 = k_1 (T - t) + k_2 (T - t) = (k_1 + k_2) [T - t] \dots (1)$$
 или;

$$N = (k_1 + k_2) \tau \dots (1).$$

Въ уравненіяхъ (1) и (1')  $(k_1 \ k_2 +)$  равно сумм коэффиціентовъ теплопередачи соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ;

Since we are considered 
$$\overline{\tau} = \overline{t}$$
 and the results of the resu

есть разность температуръ поверхности охлаждающагося тъла и окружающей его среды.

в) При разностяхъ температуръ въ предълахъ

оть 
$$\tau = 10^{\circ}$$
 С. до  $\tau = 60^{\circ}$  С.

$$t = 15^{\circ}$$
 C. OTALLIST OF MECH.

можно пользоваться формулами Дюлонга и Пти въ формъ:

или

$$N = |k_1 \alpha_1 + k_2 \alpha_2 \beta| \tau \dots (2^1)$$

(U-T) 8300 01 1 - 8600 6' 1-

причемъ:

$$\alpha_1 = \frac{0.552 \left[T - t\right]^{1.233}}{T - t};$$

$$\alpha_2 = \frac{124.72 \text{ a}^{t} \text{ [a}^{(T-t)} \text{ 1]}}{T-t}$$

а значенія β берутся по таблицѣ № 9-й для данной температуры t.

ү) Наконецъ, въ предълахъ температурныхъ разностей

отъ 
$$\tau = 25^{\circ}$$
 С. до  $\tau = 65^{\circ}$  С.

и при температурѣ среды:  $t=+12^{\circ}$  C.

$$t = +12^{\circ} C.$$

Наиболье удобной для техническаго пользованія является формула Пекле, по которой:

или

$$N = N_1 + N_2 = |k_1 \alpha_1 + k_2 \alpha_2| \tau \dots (3^1)$$

причемъ:

причемъ: 
$$\begin{array}{c} \alpha_1 = 1 + 0,0075 \ \tau; \\ \alpha_2 = 1 + 0,0056 \ \tau; \end{array}$$

что по подставленіи въ уравненія (3) и (31) доставляеть:

$$N=k_1$$
 [1  $+$  0,0075 (T  $-$  t)] (T  $-$  t)  $+$   $k_2$  [1  $+$  0,0056 (T  $-$  t)] [T  $-$  t]  $=$   $=$  [( $k_1+k_2$ )  $+$  (0,0075  $k_1+$ 0,0056  $k_2$ ) (T  $-$  t)] (T  $-$  t) . . . . (4) или

$$N = [(k_1 + k_2) + (0,0075 \ k_1 + 0,0056 \ k_2) \ \tau] \ \tau$$
 . . . . . (41)

- 2) Преобразованіе основныхъ формулъ теплопередачи соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ.
- а) Обозначая въ уравненіяхъ (1) и (11) сумму коэффиціентовъ потери теплоты  $(k_1 + k_2)$  черезъ  $\mathbb{Q}$ , т.-е. полагая

$$\mathbf{k_1} + \mathbf{k_2} = \mathbf{Q},$$

получаемъ ур-ніе Ньютона въ формѣ:

$$N = Q (T - t) = Q \tau \dots (5)$$

В) Положивъ, точно также, въ формулъ Дюлонга.

$$k_1 \alpha_1 + k_2 \alpha_2 = Q,$$

или при

$$t \lesssim +15^{\circ} C.$$

$$k_1 \alpha_1 + k_2 \alpha_2 \beta = Q;$$

найдемъ, по подстановленіи въ формулы (2) и (2<sup>1</sup>):

и, наконецъ, уколооп виото 11 личиндоф нак отумиточнок оториначада

γ) Обозначивъ также черезъ Q выраженія:

$$(k_1 + k_2) + (0,0075 \ k_1 - 0.0056 \ k_2) \ (T - t) = Q$$

найдемъ, какъ и выше:

$$N = Q \cdot (T - t) = Q \cdot \tau \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (7)$$

Выраженія (5), (6) и (7) въ совершенно одинаковой формѣ выражають потерю теплоты черезъ соприкосновеніе и лучеиспусканіе поверхностью нагрѣтаго тѣла. Само собою разумѣется, что при пользованіи этими формулами значенія Q въ нихъ различны и зависять отъ указанныхъ выше условій теплоизліянія.

Съ достаточной точностью можно принимать, что явленія нагрѣванія тѣлъ или такъ называемые процессы поглощенія теплоты соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ подчинены тѣмъ же законамъ, что и разсмотрѣнныя выше явленія охлажденія. Слѣдовательно, могутъ быть выражаемы тѣми же формулами, какія выведены для закономъ охлажденія.

Необходимо еще имъть въ виду, что не всегда потеря теплоты происходитъ одновременно соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ: въ нъкоторыхъ случаяхъ потеря можетъ происходить или только соприкосновеніемъ или только лучеиспусканіемъ.

Въ этихъ случаяхъ соотвѣтствующіе коэффиціенты  $k_1$ ,  $k_2$  или  $k_1$   $\alpha_1$  и  $k_2$   $\alpha_2$  или  $k_2$   $\alpha_2$   $\beta$  обращаются въ нуль.

3) Численные примъры на опредъленіє потери теплоты черезъ внѣшнее охлажденіе.

#### Примѣръ № 1-й 124 (24 гда насовного март

**Заданіе**: дана вертикальная желѣзная труба радіуса  $r{=}12''$  и высоты h=21

Температура внъшней поверхности трубы  $T=+100^{\rm o}$  С.; температура окружающаго воздуха  $t=+15^{\rm o}$  С

требуется вычислить часовой расходъ теплоты поверхностью всей трубы W въ  $\Phi$ ./µ. ед. т.

#### Рѣшеніе:

Разность температуръ

$$T-t=100-15=85^{\circ}$$
 C.

превышаетъ допустимую для формулы Ньютона, поэтому должна быть

примънена формула Дюлонга (уравненіе (2), такъ какъ потеря теплоты совершается одновременно соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ.

$$N = [k_1 \ \alpha_1 + k_2 \ \alpha_2 \ \beta] \ (T - t) \dots (a)$$

для вертикальнаго цилиндра радіуса r=12'' и h=21 согласно таблицы N 2-й коэффиціенть  $k_1=0,4965;$  по таблиць N 4 для разности температурь T-t=100-15=85 С, коэффиціенть

$$lpha_1 = 1.4949 + 0.00415 \times 5 = 1.5157;$$

$$\alpha_1 \quad k_1 = 1.5157 \times 0.4965 = 0.7525;$$

по таблицѣ № 6-й для желѣза коэффиціентъ лучеиспусканія:

$$k_2 = 0.6284;$$

по таблицѣ № 7-й, въ предположеніи температуры оболочки равной  $T = +15^{\circ} \text{ C.}$ 

при разности

$$T-t=85^{\circ}$$
 and the standard differential tensor for

коэффиціентъ

$$\alpha_2 = 1,5748 + 0,00647 \times 5 = 1.6172;$$

по таблицъ 9-й поправочный коэффиціентъ (при температуръ оболочки

$$T = +100^{\circ} \text{ C.}$$
)  $\beta = 1.92;$   
 $k_2 \alpha_2 \beta = 0.6284 \times 1.6172 \times 1.92 = 1.9543.$ 

Откуда:

$$N = (0.7525 + 1.9543)$$
 (100 — 15) = 230,078 ф./ц. ед. т.

съ одного кв. фута теплоотдающей поверхности.

Величина этой поверхности:

$$S=2 \pi r h=2\times 3.14\times 1\times 21=131,88$$
 кв. фут.

Полная часовая теплоотдача внёшнею поверхностью трубы:

$$W = N.S = 230,078 \times 131.88 = 30342,69$$
 ф./ц. ед. т.

#### Примѣръ № 2-й.

Заданіє: дана вертикальная, плоская кирпичная стѣна, внѣшняя поверхность которой поддерживается при температур $^{\rm t}$   $^{\rm tem}$   $^{\rm tem}$  воздуха  $^{\rm tem}$   $^{\rm tem}$  высота стѣны  $^{\rm tem}$   $^{\rm tem}$  поверхность  $^{\rm tem}$   $^{\rm tem}$  кв. Фут.

Ръшеніе. Такъ какъ 
$$T-t=120^{\circ}-20^{\circ}=100^{\circ}$$
 С, то

$$N = [k_1 \alpha_1 + k_2 \alpha_2 \beta] (T - t).$$

по табл. № III-й: для вертикальной плоскости h = 5 фут.  $k_1=0.5171;$  по табл. № IV-й: для  $T-t=120-20=100^{6}$  C;  $\alpha_1=1.5747;$  по табл. № VI-й:  $k_2=0.8167;$  по табл. № VII-й:  $\alpha_2=1.7154;$  и по табл. VIII-й:  $\beta=1.04.$ 

При этихъ данныхъ:

$$N = [(0,5171 \times 1,5747) + (0,8167 \times 1,7154 \times 1,04)]$$
  $100 = [0,8143 + 0,4570]$   $100 = 227,13$  ф/ц. ед. т.  $W = N.S$   $227,13 \times 40 = 9085,20$  ф/ц. ед. т. въ часъ.

#### Примѣръ № 3-й.

Задянів. Дана наружная стѣна жилого зданія сложенная изъ известняка толщиною e=0.38 mtr.; внѣшняя ея поверхность имѣетъ т—ру  $T=+15^{\circ}$  C; т—ра воздуха снаружи  $t=+5^{\circ}$  C. Поверхность стѣны S=25 mtr²; требуется вычислить часовую потерю тепла черезъ поверхность S въ calor/Cels. по формулѣ Пекле.

Ръшеніе. По формуль Пекле имъемъ:

$$N = [k_1 + k_2 + (0,0075 k_1 + 0,0056 k_2) (T - t)] (T - t);$$

по табл.  $\mathbb{N}$  V-й коэффиціентъ  $k_1=6$  (для внѣшней стѣны не защищенной отъ дѣйствія вѣтра); по табл.  $\mathbb{N}$  VI-й коэффиціентъ лучеиспусканія для известняка:  $k_2=3,60$ ;

$$T-t=15-5=10^{\circ} C;$$

поэтому:

$$N = [(6+3,60) + (0,0075 \times 6 + 0,0056 \times 3,60) \times 10] \times 10 = [9,60+0,0652 \times 10]$$

$$10 = 102,52 \text{ calor.}$$

$$W=N.S=102,52 \times 25=2563$$
 cal. въ часъ.

#### Примѣръ № 4-й.

Ръшеніе. Въ данномъ случать передача тепла происходитъ только соприкосновеніемъ воздуха съ чугунной поверхностью, лучеиспускательная, а слъдовательно и поглощательная способность котораго близка къ нулю. Точки поверхности самой трубы, лучеиспуская одна по направленію къ другой, будутъ столько же получать сколько и терять теплоты.

При этихъ условіяхъ:

$$k_2 = 0; \ \alpha_2 = 0; \ \beta = 0; \ N = \alpha_1 k_1 \ [T - t];$$

при

$$T-t=100-15=85^{\circ}$$
 C.

По табл. № ІІ-й: для вертикальнаго цилиндра r=9" и h=15 фут.

$$k_1 = 0,5141;$$

по табл. № IV-й при T — t = 85° C.

ндельничили стоя, можеме 
$$a_1$$
  $a_2$   $a_3$   $a_4$   $a_5$   $a_6$   $a_6$   $a_7$   $a_7$   $a_8$   $a_$ 

при этихъ данныхъ:

$$N=1,51 \times 0,5141 \times 85=66,13$$
 Ф/ц. ед. т. въ часъ съ 1 кв. ф.

Внутренняя поверхность трубы

$$S=2$$
  $\times 3,14$   $\times 0,75$   $\times 15=70,65$  кв. фут.;

слѣдовательно:

$$W = N.S = 66,13 \times 70,65 = 4623,30$$
 Ф/ц. ед. т въ часъ.

Примѣчаніе. Къ случаю, приведенному въ примѣрѣ N 3 й можно было примѣнить и простую формулу Ньютона, такъ какъ  $T-t=15-5=10^{9}\,\mathrm{C}$ .

Въ этомъ случав получили бы:

$$N = (k_1 + k_2) (T - t) = (6,00 + 3,60) 10 = 96,00 \text{ cal.}$$

И

$$W = N.S = 96 \times 25 = 2400$$
 cal. въ часъ,

что меньше вычисленнаго по формулъ Пекле.

# V. Выраженіе для количества проведенной теплоты N въ случаѣ нѣсколькихъ разнородныхъ слоевъ. (Черт. № 3-й).

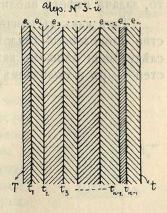
Положимъ имъется вертикальная стъна, состоящая изъ n разнородныхъ по матеріалу слоевъ, толщины которыхъ послъдовательно обозначаемъ черезъ  $e_1$ ,  $e_2$ .... $e_{n-1}$ ,  $e_n$ .

Температура внѣшней поверхности край. няго лѣваго слоя извѣстна и равна Т; точно также т—ра внѣшней поверхности послѣдняго слоя равна t.

Такъ какъ матеріалъ каждаго слоя извъстенъ, то извъстны и коэффиціентъ внутренней ихъ теплопроводности  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ .... $\lambda_n$ .

Обозначимъ черезъ  $t^1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ .... $t_{n-1}$  неизвъстныя  $\tau$ —ры въ плоскостяхъ разграниченія отдъльныхъ слоевъ.

На основаніи уравненія (19-го) § II-го для перваго слоя можемъ написать выраженіе Т для количества проведенной теплоты:



$$N = \frac{1}{e_1} (T - t_1) \dots a$$

Разсматривая періодъ инерціи или установившагося дѣйствія, т. е. тотъ случай, когда каждый слой проводитъ сквозь свою толшу и передаетъ слѣдующему за нимъ слою въ ед—цу времени тоже самое

количество теплоты N, каксе за то же время получаетъ самъ отъ предыдущаго слоя, можемъ для второго слоя составить выражение аналогичное выражению (а), именно:

$$N = \frac{\lambda_2}{e_2} (t_1 - t_2) \dots (b)$$

Точно также для каждаго посл $\pm$ дующаго промежуточнаго слоя включая и предпосл $\pm$ дній (n — 1)-й составляем $\pm$  такія же выраженія, именно: для третьяго:

$$N = \frac{\lambda_3}{e_3} (t_2 - t_3) \dots \dots (c)$$

для четвертаго:

seas neury con there are more as

для (n — 1)-го:

$$N = \frac{\lambda_{n-1}}{e_{n-1}} (t_{n-2} - t_{n-1}) \dots (n-1)$$

и, наконецъ, для послъдняго наружнаго слоя:

$$N = \frac{\lambda_n}{e_n} (t_{n-1} - t) \dots (n)$$

Такъ какъ въ системъ уравненій отъ (a) до (n) заключается п неизвъстныхъ:

$$N, t_1, t_2, \ldots, t_{n-1}$$

то, задача имъетъ вполнъ опредъленное ръшеніе.

Такъ какъ въ концѣ концовъ искомымъ является только количество проведенной теплоты N, то простѣйшимъ рѣшеніемъ является слѣдующее: рѣшаемъ каждое изъ (n) уравненій относительно разностей т—ръ и получаемъ слѣдующую систему:

$$T-t_{1}=N\frac{e_{1}}{\lambda_{1}}$$

$$t_{1}-t_{2}=N\frac{e_{2}}{\lambda_{2}}$$

$$t_{2}-t_{3}=N\frac{e_{3}}{\lambda_{3}}$$

$$\vdots$$

$$t_{n-2}-t_{n-1}=N\frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}}$$

$$t_{n-1}-t=N\frac{e_{n}}{\lambda_{n}}$$

Сложивъ первыя и вторыя части всѣхъ n ур—ній системы (1) найдемъ, что въ лѣвой части сократятся всѣ неизвѣстныя температуры  $t_1$ ,  $t_2$ ... до  $t_{n-1}$ ; во второй же вынесется за скобки общій множитель N и тогда:

$$T - t = N \left[ \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{e_n}{\lambda_n} \right]. \quad (2)$$

Ръшая ур-ніе 2 относительно искомаго N, получаемъ окончательно:

$$N = \frac{T - t}{\left[\frac{e}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{e_n}{\lambda_n}\right]} \dots (3)$$

Ур—ніе (3) показываетъ, что въ случаѣ проведенія теплоты сквозь толщу нѣсколькихъ разнородныхъ слоевъ, количество теплоты, проводимой въ ед—цу времени черезъ ед—цу поверхности пропорціонально температурной разности внѣшнихъ поверхностей крайнихъ слоевъ сложной стѣны и обратно пропорціонально суммѣ отношеній толщинъ слоевъ къ соотвѣтствующимъ коэффиціентамъ внутренней теплопроводности.

#### ГЛАВА ІІ.

Всеобщій коэффиціентъ теплопередачи К и формы его выраженія въ частныхъ случаяхъ.

#### 1. Выводъ формулы для всеобщаго коэффиціента теплопередачи К.

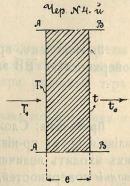
Положимъ имъется представленная на черт.  $\mathbb{N}$  4-й однородная вертикальная стъна  $\overline{AB}$ , толщины е; обозначимъ черезъ  $T_1$ , т—ру воздуха и твердыхъ предметовъ съ лъвой стороны стъны, т.-е. со сто-

роны поверхности  $\overline{AA}$ ; пусть т—ра самой поверхности  $\overline{AA}$  обозначена черезъ T; т—ра внъшней поверхности  $\overline{BB}$  черезъ t, а т—ра воздуха со стороны поверхности  $\overline{BB}$  положимъ, обозначена черезъ  $t_0$ , причемъ  $t_0 < T_1$ . При заданныхъ условіяхъ необходимо должно возникнуть и продолжаться движеніе тепла изъ пространства т—ры  $T_1$  въ среду низшей т—ры  $t_0$  черезъ раздѣляющую эти средины однородную стѣнку  $\overline{AB}$ , толщиною е.

Процессъ движенія или распространенія тепла очевидно будетъ продолжаться все время въ теченіе котораго будетъ поддерживаться постоян-

ство т—ръ  $T_1$  и  $t_0$  т. е. пока будеть существовать отличная отъ нуля разность т-ръ  $(T_1-t_0)$ .

Въ случав, когда  $T_1 - t_0 = \text{const}$  въ теченіе любого проме-



межутка времени, очевидно, имфемъ періодъ установившагося дфиствія или періодъ инерціи.

Процессъ движенія тепла будеть состоять изъ трехъ отдёльныхъ

и послѣдовательныхъ процессовъ:

а) Воспріятія или поглощенія тепла изъ среды т-ры Т, поверхностью АА ствнки, т-ра которой Т должна быть все время ниже

В) Процесса проведенія теплоты сквозь толщу е стіны АВ отъ поверхности AA т-ры T къ поверхности BB т-ры t низшей, чѣмъ Т;

у) Отдачи или изліянія теплоты поверхностью ВВ т-ры t средѣ

т-ры t<sub>0</sub>, низшей чѣмъ т-ра поверхности t.

Изъ самой сущности понятія о періодъ инерціи слъдуеть, что количества поглощенной, проведенной и отданной теплоты между собою равны.

Разсматриваемое сложное явленіе носить названіе передачи теплоты и представляетъ совокупность размотрфиныхъ уже нами явленій поглощенія теплоты, проводимости и охлажденія.

Теперь надлежитъ выразить математически зависимость между этими тремя отдъльными непрерывно протекающими процессами.

1) Воспріятіе или поглощеніе теплоты совершается совмъстно путемъ соприкосновенія частицъ болье теплой среды т-ры Т, съ поверхностно ствны АА т-ры Т и путемъ лучеиспусканія; поэтому, въ общемъ случав этотъ процессъ можетъ быть выраженъ ур-ніемъ:

$$N = Q_1[T_1 - T] \dots \dots \dots (1)$$

гдь: Q<sub>1</sub> вообще сложный коэффиціенть, различныя формы выраженій котораго зависять отъ частныхъ условій.

2) Проведеніе того же количества теплоты N сквозь толщу е однородной стънки АВ на основании законовъ теплопроводности выразится зависимостью:

$$N = \frac{\lambda}{e} [T - t] \dots (2)$$

3) Наконецъ, процессъ отдачи того же количества теплоты N поверхностью ВВ выражаемъ ур-ніемъ:

$$N = Q_2 [t - t_0] \dots (3)$$

Примъчаніе: Сложные коэффиціенты тепловоспріятія Q, и теплоизліянія Q, въ ур-ніяхъ (1) и (3) вообще не одинаковы, такъ какъ въ нихъ входятъ величины, характеризующія форму, родъ и особенно состояние поверхностей, напримъръ: внутренняя поверхность АА можетъ быть сухою, тогда какъ внъшняя ВВ влажною; это сейчасъ же отражается на величинъ коэффиціентовълученспусканія к, входящихъ въ выраженія для Q<sub>1</sub> и Q<sub>2</sub>; поверхность AA можетъ быть окрашена масляною краскою, поверхность же ВВ обълена известью и т. д.,

наконецъ, одна изъ поверхностей можетъ быть плоскостью, а другая нъкоторой криволинейной поверхностью и проч.

Ръшая каждое изъ 3-хъ ур-ній относительно разности т-ръ, получаемъ:

тучаемъ: 
$$T_1-T=N\;\frac{1}{Q_1};\;\;\;$$
  $T-t=N\;\frac{e}{\lambda};\;\;\;$   $t-t_0=N\;\frac{1}{Q_2};\;\;\;$ 

складывая почленно всѣ три ур-нія системы (4), находимъ:

$$T_1 - t_0 = N \left[ \frac{1}{Q_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_2} \right] \dots (5)$$

ур-ніе (5) будучи ръшено относительно искомаго N, доставляеть:

ур-ніе (6) показываеть, что количество теплоты переходящей въ ед-цу времени черезъ единицу поверхности изъ среды высшей температуры  $T_1$  въ среду низшей температуры  $t_0$  черезъ толщу раздълительной стѣнки е прямо пропорціонально разности т-ръ обѣихъ срединъ и обратно пропорціонально суммѣ трехъ дробей въ знаменателѣ; первый и послѣдніе дробные члены этой суммы представляютъ ед-цу дѣленную на коэффиціентъ воспріятія  $Q_1$  и отдачи  $Q_2$  теплоты, а средній есть величина обратная внутренней теплопроводности  $\xi$ .

При разности т-ръ  $T_1 - t_0 = единицъ$ 

$$N = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_2}} = \mathcal{K} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

величина N представляетъ количество теплоты, переходящее изъ среды высшей т-ры въ среду низшей т-ры черезъ ед-цу поверхности раздълительной стънки толщины е въ ед-цу времени при разности т-ръ въ 1°C.

Эту величину называють всеобщимь коэффиціентомь теплопередачи и обозначають черезь K.

Изъ выраженія

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_2}} = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{\xi} + \frac{1}{Q_2}} \dots (8)$$

видно, что всеобщій коэффиціенть теплопередачи К является линейной

функціей трехъ основныхъ коэффиціеновъ поглощенія, проведенія и отдачи теплоты, т.-е. что:

видъ функціи опредъляется ур-ніемъ (8)-мъ.

#### И. Случай воздушнаго прослойка въ сложной вертикальной стѣнкѣ.

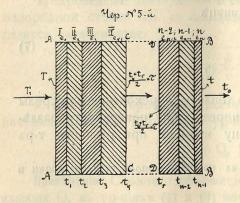
Найденное выше выражение для всеобщаго коэффиціента теплопередачи К въ случат сложной стънки, состоящей вообще изъ n соприкасающихся разнородныхъ по матеріалу и не одинаковыхъ по толщинъ слоевъ принимаетъ видъ:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n - 1}{\lambda_n - 1} + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{Q_2}},$$

и показываетъ, что въ этихъ случаяхъ въ знаменатель выраженія члены вида  $\frac{e}{\lambda}$ , характеризующіе проводимость слоевъ, входятъ слагаемымъ столько разъ, сколько имѣется различныхъ слоевъ; членовъ же вида  $\frac{1}{Q}$ , выражающихъ вліяніе воспріятія и отдачи теплоты въ общемъ случаѣ соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ совмѣстно, всегда только два, по числу внѣшнихъ поглощающихъ и отдающихъ теплоту поверхностей крайнихъ слоевъ.

Исключеніемъ изъ этого правила является тотъ случай, когда, кромъ п твердыхъ слоевъ въ вертикальной сложной стънкъ имъются одинъ или нъсколько воздушныхъ прослойковъ.

Положимъ, имъется вертикальная раздълительная стънка АВ, со-



стоящая изъ п твердыхъ слоевъ и одного воздушнаго прослойка, какъ показано на черт. № 5-й.

При данныхъ на чертежѣ обозначеніяхъ и при условіи  $T_1 > t_0$  для количества теплоты N, воспринимаемаго въ ед-цу времени ед-цей поверхности  $\overline{AA}$  отъ среды т ры  $T_1$  соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ въ періодъ установившагося дѣйствія, можемъ написать выраженіе:

$$N=Q_1 (T_1-T) \dots (a)$$

гдъ черезъ  $Q_1$  обозначенъ сложный коэффиціентъ тепловоспріятія соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ, выражаемый въ общемъ случаъ суммою:

Nonlinear parameter 
$$Q_1 = k'_1 + k'_2$$
; modern highered our formula

далъе, для количествъ теплоты N, проводимыхъ въ ед-цу времени сквозь толщу твердыхъ соприкасающихся слоевъ, черезъ ед-цу поверхности каждаго слоя, для того же періода инерціи составляемъ послъдовательно выраженія:

для І-го слоя: 
$$N = \frac{\lambda_1}{e_1} (T - t_1)$$
 

» ІІ-го »  $N = \frac{\lambda_2}{e_2} (t_1 - t_2)$  

» ІІІ-го »  $N = \frac{\lambda_3}{e_3} (t_2 - t_3)$  

» ІV-го »  $N = \frac{\lambda_4}{e_4} (t_3 - t_4)$ 

Слъдующій слой  $\overline{\text{CD}}$  заполненъ воздухомъ. Если бы, во-первыхъ воздухъ не былъ тепло-прозраченъ, т. е. если бы онъ былъ неспособенъ передавать лучистую теплоту отъ поверхности  $\overline{\text{CC}}$  на поверхность  $\overline{\text{DD}}$  и если бы, во-вторыхъ, воздухъ въ прослойкѣ могъ находится въ абсолютномъ покоѣ, то способы и условія передачи теплоты отъ поверхности  $\overline{\text{CC}}$  черезъ воздушный слой къ поверхности  $\overline{\text{DD}}$  рѣшительно ничѣмъ не отличались бы отъ тѣхъ, при которыхъ передаютъ теплоту другъ другу твердые соприкасающіеся слои сложной стѣнки. Разница оказалась бы только въ количествѣ передаваемой въ ед-цу времени теплоты, что зависитъ отъ незначительной способности сухого неподвижнаго воздуха проводить теплоту, такъ какъ для него коэффиціентъ внутренней теплопроводности найденъ весьма малымъ и измѣняющимся въ узкихъ предѣлахъ отъ  $\lambda$ =0,02 до  $\lambda$ =0,04.

Въ дъйствительности оба указанныя условія не могутъ выполняться, такъ какъ воздухъ въ прослойкѣ не находится и не можетъ находиться въ покоѣ: частицы тонкаго воздушнаго слоя, прилегающаго къ болѣе холодной поверхности  $\overline{DD}$  т-ры  $t_s$  сами охлаждаются и, становясь тяжелѣе, стремятся опуститься внизъ вдоль этой поверхности, образуя непрерывный нисходящій потокъ; подъ напоромъ этого потока частипы болѣе теплаго тонкаго слоя воздуха соприкасающіяся съ поверхностью  $\overline{CC}$  болѣе высокой т-ры  $t_s$ , какъ болѣе легкія, стремятся подняться вверхъ, скользя вдоль этой поверхности и образуя теплый восходящій потокъ.

Легко видъть, что при такой непрерывной циркуляціи воздуха въ прослойкъ, продолжающейся до тъхъ поръ пока т-ры  $t_{1}$  и  $t_{5}$  не равны другъ другу, частицы восходящаго потока, воспринимая теплоту соприкосновеніемъ съ поверхностью  $\overline{CC}$ , переносять ее на поверхность  $\overline{DD}$  при обратномъ нисходящемъ теченіи вдоль этой послъдней поверхности.

Описанный характеръ движенія воздуха въ прослойкъ даетъ намъ право полагать его среднюю т-ру равною средней ариөметической изъ т-ръ  $t_4$  и  $t_5$  поверхностей  $\overline{\rm CC}$  и  $\overline{\rm DD}$ .

Обозначимъ эту среднюю т ру черезъ  $\tau = \frac{t_4 + t_8}{2}$  и найдемъ выраженіе для количества теплоты  $n_1$  отдаваемой въ ед-цу времени единицей поверхности  $\overline{CC}$  воздуху черезъ соприкосновеніе съ нимъ; обозначивъ черезъ  $k_1^{\prime\prime\prime}$  коэффиціентъ теплопередачи соприкосновеніемъ для даннаго случая, можемъ написать выраженіе:

$$n_1 = k_1''' \left( t_4 - \frac{t_4 + t_5}{2} \right) = k_1''' (t_4 - \tau);$$

кромѣ того, сухой воздухъ почти абсолютно теплопрозраченъ и, слѣдовательно, въ высокой степени способенъ передавать теплоту испускаемую поверхностью  $\overline{CC}$  въ направленіи поверхности  $\overline{DD}$ .

Обозначивъ количество теплоты, излучаемой въ ед-цу времени ед-цей поверхности  $\overline{\rm CC}$ , черезъ  ${\bf n_2}$  и зная, что оно приблизительно пропорціонально разности т-ръ ( ${\bf t_4}-{\bf t_5}$ ) можемъ написать:

$$n_2 = k_2''' (t_4 - t_5),$$

гдъ  $k_2$  — коэффиціентъ теплоотдачи лучеиспусканіемъ для поверхности  $\overline{CC}$ .

Въ условіяхъ установившагося дѣйствія сумма  $n_1 + n_2$ , очевидно должна быть равна N, поэтому для количества теплоты отдаваемаго воздуху въ ед-цу времени ед-цей поверхности  $\overline{CC}$  можемъ составить выраженіе:

$$N = n_1 + n_2 = k_1''' \left( t_4 - \frac{t_4 + t_5}{2} \right) + k_2''' (t_4 - t_5);$$

преобразуемъ это выраженіе, имъя въ виду, что:

$$t_4 - \tau = t_4 - \frac{t_4 + t_5}{2} = \frac{t_4 - t_5}{2}$$

и что, слѣдовательно,

$$t_4 - t_5 = 2 (t_4 - \tau);$$

подставляя значенія

$$(t_4 - t_5)$$
 и  $\frac{(t_4 - t_5)}{2}$ 

въ предыдущее выражение для N, имфемъ:

$$N = n_1 + n_2 = k_1''' (t_4 - \tau) + k_2''' 2 (t_4 - \tau)$$

или окончательно:

$$N = (k_1''' + 2 k_2''') (t_4 - \tau);$$

замѣчая, что по составу послѣднее выраженіе аналогично выраженію (а) можемъ, положивъ:

$$k_1''' + 2 k_2''' = Q_3$$

представить его въ общей формь:

$$N = Q_3 (t_4 - \tau)$$
 . . . . . . . . . . (c)

Точно также для количества теплоты  $\mathbf{n_1}$  воспринимаемаго ед-цей поверхности  $\overline{\mathrm{DD}}$  соприкосновеніемъ съ воздухомъ можемъ написать выраженіе

 $n_i = k_1^{1V} \left( \frac{t_4 + t_5}{2} - t_5 \right) = k_1^{1V} (\tau - t_5);$ 

а для тепловоспріятія лучепоглощеніемь:

$$\mathbf{n_2} = \mathbf{k_2} \overset{\mathrm{IV}}{\smile} (\mathbf{t_4} - \mathbf{t_5})$$

Сумма послъднихъ двухъ выраженій, очевидно, должна быть равна N для періода инерціи, поэтому:

$$N = n_1 + n_2 = k_1 \stackrel{IV}{\smile} \left( \frac{t_4 + t_5}{2} - t_5 \right) = k_2 \stackrel{IV}{\smile} (t_4 - t_5)$$

но такъ какъ:

$$\tau - t_s = \frac{t_4 + t_5}{2} - t_s = \frac{t_4 - t_5}{2}$$

TO:

$$t_4 - t_5 = 2 \ (\tau - t_5)$$

и, слѣдовательно:

$$N = n_1 + n_2 = k_1 \stackrel{IV}{=} (\tau - t_5) + k_2 \stackrel{IV}{=} 2 (\tau - t_5)$$

или, окончательно,

$$\mathbf{N} = (\mathbf{k_1} \overset{\mathbf{IV}}{\smile} + 2 \; \mathbf{k_2} \overset{\mathbf{IV}}{\smile}) \; (\tau - \mathbf{t_3})$$

Или, положивъ, аналогично выраженію (с)

 $k_1 \overset{IV}{-} + 2 \ k_2 \overset{IV}{=} Q_1$ , можемъ представить послѣднее выраженіе въ формѣ  $N = Q_4 \ (\tau - t_5) \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (d).$ 

Послѣдующіе слои твердые и для нихъ справедливы выраженія вида:

Наконецъ, для количества теплоты, отдаваемой соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ въ ед-цу времени ед-цей поверхности ВВ, аналогично выраженію (а) имъемъ равенство:

$$N=Q_{2}\;(t-t_{0})$$
 . . . . . . . . . . . (f)  $Q_{2}=k_{1}{''}+k_{2}{''},$ 

т.-е.  $Q_2$  равно суммъ коэффиціентовъ теплоотдачи соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ для поверхности  $\overline{\mathrm{BB}}$ .

Ръшая относительно разностей т-ръ выраженія отъ (а) до (f), получаемъ рядъ равенствъ:

$$T_{1} - T = N \frac{1}{Q_{1}};$$

$$T - t_{1} = N \frac{e_{1}}{\lambda_{1}}$$

$$t_{1} - t_{2} = N \frac{e_{1}}{\lambda_{2}}$$

$$t_{2} - t_{3} = N \frac{e_{3}}{\lambda_{3}}$$

$$t_{3} - t_{4} = N \frac{e_{4}}{\lambda_{4}}$$

$$t_{4} - \tau = N \frac{1}{Q_{3}}$$

$$\tau - t_{5} = N \frac{1}{Q_{4}}$$

$$t_{5} - t_{6} = N \frac{e_{5}}{\lambda_{5}}$$

$$\vdots$$

$$t_{n-2} - t_{n-1} = N \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}}$$

$$t_{n-1} - t = N \frac{e_{5}}{\lambda_{n}}$$

$$t - t_{0} = N \frac{1}{Q_{2}}$$

Складывая почленно ур—нія системы (k) и рѣшая, затѣмъ, относительно N находимъ:

$$T_1-t_0=N\Big[\frac{1}{Q_1}+\frac{e_1}{\lambda_1}+\frac{e_2}{\lambda_2}+\ldots+\frac{1}{Q_3}+\frac{1}{Q_4}+\ldots+\frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}}+\frac{e_n}{\lambda_n}+\frac{1}{Q_2}\Big]$$
 откуда, наконецъ:

$$N = (T_1 - t_0) \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} + \dots + \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{Q_2}} (e)$$

При  $T_1 - t_0 = 1$ -цѣ, второй членъ второй части ур—нія (е) представляетъ собою выраженіе всеобщаго коэффиціента теплопередачи К для даннаго случая, т. е.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} + \dots + \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{Q_2}}$$
(1)

Переставивъ члены суммы въ знаменателъ выраженія (1) имъемъ:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{Q_{1}} + \frac{1}{Q_{2}}\right) + \left(\frac{1}{Q_{3}} + \frac{1}{Q_{4}}\right) + \left(\frac{e_{1}}{\lambda_{1}} + \frac{e_{2}}{\lambda_{2}} + \dots + \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{e_{n}}{\lambda_{n}}\right)} (II)$$

Выраженіе (II) даетъ право сдѣлать тотъ выводъ, что въ случаѣ сложной стѣнки изъ п твердыхъ слоевъ и одного возлушнаго прослойка въ знаменателѣ выраженія для K, кромѣ п членовъ вида  $\frac{e}{\lambda}$  и пары членовъ  $\frac{1}{Q_1}$  и  $\frac{1}{Q_2}$  входитъ еше пара членовъ  $\left(\frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4}\right)$ , характеризующихъ вліяніе присутствія воздушнаго прослойка.

Не трудно, поэтому, безъ всякихъ промежуточныхъ вычисленій записать выраженіе и для самаго общаго случая, когда, кромѣ п твердыхъ слоевъ въ составѣ сложной стѣнки имѣются еще т воздушныхъ прослойковъ, именно:

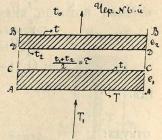
$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2}\right) + \left[\left(\frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4}\right) + \left(\frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4}\right) + \dots + \left(\frac{1}{Q_3^{(m)}} + \frac{1}{Q_4^{(m)}}\right)\right] + }$$
два члена.
$$\frac{1}{+\left[\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{e_n}{\lambda_n}\right]}$$
п членовъ.

111. Случай воздушнаго прослойка въ системъ горизонтальныхъ сопринасающихся слоевъ.

## а) Передача теплоты снизу вверхъ.

Положимъ даны (см. черт. № 6-й) два разнородные горизонтальные слоя, раздѣленные воздушнымъ прослойкомъ.

Обозначимъ, какъ показано на чертежѣ, т—ру среды со стороны внѣшней поверхности нижняго твердаго слоя черезъ  $T_1$ , т—ру поверхности  $\overline{AA}$  черезъ  $\overline{T}$ , т—ры поверхностей  $\overline{CC}$  и  $\overline{DD}$ , обращенныхъ въ прослоекъ, черезъ  $t_1$  и  $t_2$  соотвѣтственно, т—ру внѣшней поверхности  $\overline{BB}$  наружнаго слоя—черезъ  $t_1$  и  $t_2$  внѣшней среды—черезъ  $t_3$ .



Легко видъть, что въ данномъ случав въ воздушномъ прослойкъ должно происходить движение воздуха, слъдовательно передача теплоты въ прослойкъ и здъсь будетъ происходить не путемъ проведения, а лучеиспусканиемъ и перенесениемъ черезъ соприкосновение съ циркулирующимъ воздухомъ, слъдовательно, по аналоги съ предыдующимъ случаемъ, можемъ составить для К слъдующее выражение:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{Q_2}} \dots \dots (IV)$$

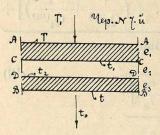
гдъ значенія коэффиціентовъ  $Q_1, Q_2, Q_3,$  и  $Q_4$  совершенно аналогичны съ ихъ значеніями въ предыдущихъ формулахъ.

Въ общемъ случат при и твердыхъ слоевъ и при и прослойкахъ воздуха выраженіе для К совершенно одинаково съ выраженіемъ III-мъ.

## в) Передача теплоты сверху внизъ.

Разсмотримъ еще систему, состоящую изъ двухъ твердыхъгоризонтальных слоев разделенных воздушным прослойком, при чемъ болъе теплый воздухъ (см. черт. 7-й) находится надъ поверхностью AA т-ры Т, болъе же холодный т-ры to снизу подъ поверхностью ВВ нижняго слоя.

Въ этомъ случат нельзя разсчитывать на движеніе частицъ воздуха въ прослойкъ въ вертикальномъ направлении, такъ какъ частицы слоя



теплаго воздуха, прилегающія къ болѣе нагрътой поверхности СС, какъ болъе легкія, стремятся пребывать у этой поверхности точно такъ же, какъ и болве холодныя частицы у слоя DD, какъ болье тяжелыя, не могутъ подниматься вверхъ; слъдовательно въ этихъ условіяхъ не слѣдуетъ разсчитывать на переносъ теплоты соприкосновениемъ; пере-

дача эта здъсь должна совершаться путемъ теплопроводности и лучеиспусканія. На этомъ основаніи при обозначеніяхъ данныхъ на чертежь, имьемь, посльдовательно:

$$\begin{split} N &= Q_1 \ (\Gamma_1 - T); \\ N &= \frac{\lambda_1}{e_1} \ (T - t_1) \\ N &= \frac{\lambda_2}{e_2} \ (t_1 - t_2) \ + \ Q_3 \ (t_1 - t_2) + Q_4 \ (t_1 - t_2) \ . \ . \ (a) \\ N &= \frac{\lambda_3}{e_3} \ (t_2 - t) \\ N &= Q_2 \ (t - t_0) \end{split}$$

гдъ:

$$Q_3 = k_2^{"'}$$
 if  $Q_4 = k_2^{IV}$ 

откуда:

otryda:  

$$N = (T_1 - t_0) \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \frac{1}{Q_2}} \cdot \cdot \cdot (b)$$

наконецъ:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{Q_2} + \frac{1}{Q_4} + \frac{e_3}{\lambda_2} + \frac{1}{Q_2}} \cdot \cdot \cdot \cdot (IV)$$

Выраженіе (IV) показываеть, что въ случать передачи теплоты сверху внизъ черезъ систему п разнородныхъ слоевъ, въ числъ которыхъ имѣются и воздушные прослойки, въ выражени для К число членовъ вида  $\frac{e}{\lambda}$  равно полному числу слоевъ, включая и воздушные прослойки, членовъ вида  $\frac{1}{Q}$  только два—соотвѣтственно числу внѣшнихъ тепловоспринимающей и теплоотдающей поверхностей и членовъ  $\left(\frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4}\right)$  столько, сколько прослойковъ воздуха. Въ общемъ случаѣ п слоевъ выраженіе для К имѣетъ видъ:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} + \left(\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_1} + \dots + \frac{e_{n-1}}{\lambda_{n-1}} + \frac{e_n}{\lambda_n}\right) + \left(\frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4}\right)}$$
(V)

Подъ случай (a) подходять условія передачи теплоты черезъ горизонтальныя и вообще верхнія двухъ-и многослойныя свътовыя покрытія и потолочныя конструкціи.

Случаю (b) соотвътствуетъ теплопередача черезъ полы при болъе холодномъ подпольи подвальномъ или вообще ниже расположенномъ этажъ зданія.

Положивъ, что во всѣхъ выше разсмотрѣнныхъ случаяхъ т-ры поверхностей слоевъ на всемъ ихъ протяженіи во всѣхъ направленіяхъ и точкахъ остаются величинами постоянными для данной поверхности, можемъ воспользоваться общими выраженіями для К въ цѣляхъ отысканія значеній его въ частныхъ случаяхъ различныхъ строительныхъ конструкцій.

# IV. Выраженіе всеобщаго коэффиціента теплопередачи К для вертикальныхъ оконныхъ рамъ и горизонтальныхъ свътовыхъ покрытій.

## 1) Рамы съ одиночнымъ застекленіемъ (черт. № 8-й).

Одиночное застекленіе представляеть случай простой раздѣлительной стѣнки; при данныхъ на чертежѣ обозначеніяхъ, общее выраженіе для всеобщаго коэффиціента теплопередачи имѣетъ видъ:

Въ выраженіи (1) сложные коэффиціенты тепловоспріятія  $Q_1$  и теплоизліянія выражаются по Ньютону черезъ:

 $Q_1 = k_1' + k_2'$  и  $Q_2 = k_2'' + k_2''$ ,

если температурныя разности  $(T_1 - T)$  и  $(t - t^0)$  не превосходять  $5^{\circ}$ С.

И

Въ тѣхъ же случаяхъ, когда эти разности отличаются отъ указаннаго maximum'a, ихъ слъдуетъ выражать по формулѣ Пекле:

$$Q_{1} = (k_{1}' + k_{2}') + (0,0075 k_{1}' + 0,0056 k_{2}') (T_{1} - T)$$

$$Q_{2} = (k_{1}'' + k_{2}'') + (0,0075 k_{1}'' + 0,0056 k_{2}'') (t - t_{0})$$

Что касается численных значеній величинь коэффиціентов тепловоспріятія и теплоотдачи соприкосновеніем  $k_1'$  и  $k_1''$ , то они зависять оть состоянія соприкасающейся среды.

При одиночномъ застекленіи и низкой (расчетной) наружной т-рѣ  $t_0$  комнатный воздухъ въ слоѣ, прилегающемъ къ одиночному стеклу, будетъ значительно охлаждаться и падать внизъ вдоль стекла, образуя нисходящіе токи. При столь энергичномъ движеніи воздуха слѣдуетъ полагать коэффиціентъ  $k_1'=5$ -ти; предполагая далѣе, что свободный наружный воздухъ находится въ болѣе подвижномъ состояніи, чѣмъ комнатный, приходится считать для наружной поверхности стекла  $k_1''=6$ -ти.

При выборѣ и назначеніи коэффиціентовъ лучеиспусканія и лучепоглощенія было бы ошибкою принять для внутренней (со стороны помѣщенія поверхности  $\mathbf{k_2}'=\mathbf{2_1}\mathbf{91}$ ; При одиночномъ застекленіи внутренняя поверхность стекла покрыта влагою, по причинѣ конденсаціи водяныхъ паровъ въ комнатномъ воздухѣ въ слоѣ соприкасающемся съ холоднымъ стекломъ, при чемъ т-ра этого слоя падаетъ до т-ры ожиженія паровъ.

Лучеиспускательная и лучепоглощательная способность мокраго стекла близка къ таковой же для воды, поэтому правильнѣе въ этомъ случаѣ полагать:  $k_2'=5,30$ ; для внѣшней же обычно сухой поверхности стекла, принимать  $k_2''=2,91$ ; При  $\lambda$  измѣняющемся для стекла въ предѣлахъ отъ 0,75 до 0,88, можно полагать въ среднемъ  $\lambda=0,80$ ; оставляя для толщины стекла прежнее обозначеніе черезъ е, можемъ составить общее выраженіе для отысканія значенія К для одиночныхъ застекленій любой толщины, именно:

а) При разностяхъ т-ръ  $(T_1-T)$  и  $(t-t_0)$  не большихъ  $5^{\circ}$ С имъемъ:

$$Q_1 = k_1' + k_2' = 5 + 5,30 = 10,30;$$
  
 $Q_2 = k_1'' + k_2'' = 6 + 2,91 = 8,91;$ 

поэтому:

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{10,30} + \frac{e}{0,80} + \frac{1}{8,91}} = \frac{1}{0,097 + \frac{e}{0,80} + 0,112}; \dots (2)$$

Подставляя въ выраженіе (2) заданную толщину стекла въ mtr'ахъ, можемъ найти и численное значеніе для К.

b) При разностяхъ т-ръ  $(T_1 - T)$  и  $(t - t_0)$ , превышающихъ 5°С. послъ подстановленія частныхъ коэффиціентовъ въ формулу Пекле, имъемъ:

$$Q_{\rm i}=5+5,30+(0,0075 imes 5+0,0056 imes 5,30) \; ({
m T_1-T});$$
  $Q_{\rm i}=6+2,91+(0,0075 imes 6+0,0056 imes 2,91) \; ({
m t-t_0})$  Что доставляеть:

$$Q_1 = 10,30 + 0,067 (T_1 - T)$$
 $Q_2 = 8,91 + 0,061 (t - t_0)$ 

въ этомъ случав коэффиціенты  $Q_1$  и  $Q_2$  являются функціями неизвыстныхъ еще температурныхъ разностей.

Проф. Ритшель для упрощенія вычисленій предложиль считать, что при наружной т-р $t_0 = -20 \, ^{\circ} \text{C}.$  и т-р $t_0 = +20 \, ^{\circ} \text{C}.$ т.-е. при  $T_1 - t_0 = 40$  °C. для одиночных в застекленій  $T_1 - T = t - t_0 = 20$  °C. Въ виду того, что въ нашихъ климатическихъ условіяхъ расчетная разность тръ считается нормально:

$$T_1 - t_0 = 20 - (-30) = 50^{\circ}$$
C.

и доходить до

$$T_1 - t^0 = 55^0$$
 и даже до  $60^{\circ}$ С.

Приведеннымъ указаніемъ слѣдуетъ пользоваться съ осторожностью. Для той же цёли назначенія температурных разностей въ формуль Пекле В. М. Чаплинымъ предложена эмпирическая формула, ставящая эту разность въ зависимость отъ приближеннаго значенія К', вычисленнаго по формуламъ Ньютона и отъ разсчетной разности т-ръ срединъ T, и t, именно:

$$T_1 - T = t - t_0 = 0.1 \text{ K'} (T_1 - t_0) \dots (3)$$

Пользованіе этой формулой и дальнъйшій ходъ вычисленій ясны: При заданных Т,, t, и е вычисляется по ур-нію (2) приближенное значеніе К' (не принимая во вниманіе зависимости отъ температурной разности коэффиціентовъ  $Q_1$  и  $Q_2$ ; затѣмъ, изъ ур-нія (3) вычисляются разности  $T_1 - T = t - t_0$  и значенія ихъ подставляются въ формулы Пекле. По этимъ формуламъ находятся  $Q_1$  и  $Q_2$  и новыя исправленныя ихъ значенія подставляются въ общее ур-ніе (1), откуда и находится уже точное значеніе К". Для поясненія приведеннаго хода разсчета достаточно одного численнаго примъра.

#### Численный примѣръ № 1-й.

$$T_1 = +20$$
°C.  $t_0 = -30$ °C.  $e = 0,002$  mtr.

Остальныя численныя величины даны выше. Пренебрегая временно вліяніемъ температурныхъ разностей  $(T_1 - T)$  и  $(t - t_0)$ , находимъ при заданной толщинъ стекла e = 0.002 mtr. и формуль (2) приближенное значеніе:

$$K' = \frac{1}{0,097 + \frac{0,002}{0,80} + 0,112} + 4,70;$$

что по подстановленіи въ формулу (3) доставляеть:

 $T_1 - T = t - t_0 = 0.10 \times 4.70 [20 - (-30)] = 5 \text{ K}' = 5 \times 4.70 = 23.50^{\circ}\text{C}.$ 

(Что превосходитъ норму предложенную проф. Риштелемъ): дальше, По формуламъ Пекле:

$$Q_1 = 10,30 + 0,067 \times 23,50 = 11,90;$$
  $Q_2 = 8,91 + 0,061 \times 23,50 = 10,40;$ 

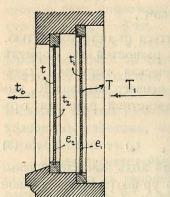
и, наконецъ по формулѣ (I):

$$K'' = \frac{1}{\frac{1}{11,90} + \frac{0.002}{0,80} + \frac{1}{10,40}} = 5,50$$
 Cal/mtr<sup>2</sup> въ час., въ русскихъ мѣ-

ражь это составить съ 1 кв. саж. въ часъ:  $K''=5,50 \times 11,08=60,94$  д./ц. ед. т.

.2) Случай двойныхъ (лѣтняго и зимняго) оконныхъ переплетовъ. (Черт. № 7).

Общее выраженіе для К въ этомъ случаѣ: 1



Mep. Ng-n

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{Q_2}} \dots (4).$$

Гдѣ, по прежнему:

 $Q_1 = k_1' + k_2';$  при чемъ надо имъть въвиду, что при двойныхъ оконныхъ рамахъ нисходящіе токи при движеніи охлаждающагося у поверхности внутренняго стекла комнатнаго воздуха гораздо слабъе, чъмъ при одиночномъ застекленіи; на этомъ основаніи принимаемъ  $k_1' = 4$ -мъ; внутренняя поверхность зимняго стекла въ этомъ случаъ, вообще говоря, не должна покрываться влагою, по-

этому:  $k_2'=2,91$  (какъ для сухого стекла). Для внѣшней поверхности наружнаго стекла какъ и раньше:

$$k_1'' = 6$$
 и  $k_2'' = 2,91;$ 

воздухъ въ междурамномъ пространствѣ находится въ состояніи большей подвижности, чѣмъ комнатный, и въ меньшей, чѣмъ наружный, поэтому въ выраженіяхъ для  $Q_3=k_1^{\ \ III}+2k_2^{\ \ III}$  и  $Q_4=k_1^{\ \ IV}+2\ k_2^{\ \ IV}$  полагаемъ:

$$k_1^{III} = k_1^{IV} = 5$$
-ти,

а для сухихъ поверхностей стеколъ, обращенныхъ въ междурамное пространство,  $k_2^{III}=k_2^{IV}=2,91;$  слѣдовательно:  $Q_3=Q_4=k_1^{III}+2k_2^{II}=k_1^{IV}+2k_2^{IV}=5+2\times2,91=10,82.$ 

При этихъ данныхъ по формулъ Ньютона имъемъ приближенно:

$$K' = \frac{\frac{1}{4+2,91} + \frac{e_1}{0,80} + \frac{1}{(5+2\times2,91)} + \frac{1}{(5+2\times2,91)} + \frac{e_2}{0,80} + \frac{1}{6+2,91}}{= \frac{1}{6,91} + \frac{e_1+e_2}{0,80} + \frac{2}{10,82} + \frac{1}{8,91}};$$

положивъ  $e_1=e_2=0,002$  mtr., найдемъ:

$$K' = \frac{1}{0,145 + 0,005 + 0,185 + 0,112} = \frac{1}{0,447} = 2,23 \text{ Cal/mtr}^2;$$

такъ какъ и въ этомъ случав температурныя разности срединъ и поверхностей будутъ превышать 5°, то необходимо ввести поправку,

вычисливъ коэффиціенты  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  и  $Q_4$  по формулѣ Пекле, для чего предварительно надо задаться этими температурными разностями.

Въ этомъ случаъ слъдуетъ вообще руководиться указаніемъ проф. Ритшеля, который считаетъ, что при разности т-ръ  $T_1 - t_0 = 40$ °C., разности:

$$T_1 - T = t_1 - \tau = \tau - t_2 = t - t_0 = 10^{\circ}C$$

или же при  $T_1 - t_0$  большемъ 40°С. пользоваться данной выше формулой В. М. Чаплина, полагая:

$$T_1 - T = t_1 - \tau = \tau - t_2 = t - t_0 = 0.10 \text{ K}'(T_1 - t_0)$$

откуда:

$$T_1 - T = t_1 - \tau = \tau - t_2 = t - t_0 = 0.10 \times 2.23 [20 - (-30)] = 2.23 \times 5 = 11.15$$
°C.

При этихъ значеніяхъ температурныхъ разностей:

$$Q_{1} = k_{1}' + k_{2}' + (0,0075 k_{1}' + 0,0056 k_{2}') (T_{1} - T) =$$

$$= 4,00 + 2,91 + (0,0075 \times 4,00 + 0,0056 \times 2,91) 11,15 =$$

$$= 6,91 + 0,51 = 7.42.$$

$$Q_{2} = k_{1}'' + k_{2}'' + (0,0075 k_{1}'' + 0,0056 k_{2}'') (t - t_{0}) =$$

$$= 6,00 + 2,91 + (0,0075 \times 6 + 0,0056 \times 2,91) 11,15 =$$

$$= 8,91 + 0,68 = 9,59.$$

$$Q_{3} = Q_{4} = k_{1}''' + 2 k_{2}''' + (0,0075 k_{1}''' + 0,0056 \times 2 k_{2}''') (t_{1} - \tau) =$$

$$= 5 + (2 \times 2,91) + (0,0075 \times 5 + 0,0056 \times 2 \times 2,91) 11,15 =$$

$$= 10,82 + (0,0375 + 0,0163) 11,15 =$$

$$= 10,82 + 0,60 = 11,42.$$

Поэтому:

$$K'' = \frac{1}{\frac{1}{7,42} + \frac{0,002 \times 2}{0,80} + \frac{2}{11,42} + \frac{1}{9,59}} = \frac{1}{0,135 + 0,005 + 0,175 + 0,104} = \frac{1}{0,420} = 2,38 \text{ Cal./mtr.}^2;$$

или въ русскихъ мърахъ:

 $K'' = 2,38 \times 11,08 = 26,37$  ф./ц. ед. т. въ часъ черезъ поверхность въ 1 кв. саж. при  $T_1 - t_0 = 1$ °С.

Поправку, аналогичную поправкъ Пекле, также въ зависимости отъ разности т-ръ среды отдающей и среды воспринимающей теплоту  $(T_1-t_0)$  предложилъ проф. Сальмоновичъ.

Если черезъ N обозначимъ искомую потерю тепла черезъ ед-цу поверхности двойного оконнаго переплета въ ед-цу времени при заданной разности т-ръ  $(T_1-t_0)$ , черезъ К—всеобщій коэффиціентъ теплопередачи для одиночнаго застекленія, то всеобщій коэффиціентъ для двойного переплета K'' можетъ быть вычисленъ съ помощью формулы:

 $N = K \frac{(T_1 - t_0)}{2} [1 + \alpha (T_1 - t_0)] . . . . . . . (5)$ 

гдъ: коэффиціентъ  $\alpha$  является функціей температурной разности и берется изъ прилагаемой здъсь таблицы:

Таблица	No	10	<b>коэффиціентовъ</b>	α.

Разность температуръ $T_1$ — $t_0$	отъ 250 до 300	огъ 30° до 35°	отъ 350 до 400	отъ 40° до 45°
Значенія ко- эффиціен- товъ а.	0,011;0,010;0,009	0,008;0,006;0,004	0,003;0,002	0,001

Такъ какъ для двойного переплета вообще:  $N = K''(T_1 - t_0)$ , то изъ сравненія съ выраженіемъ (5) можемъ получить:

$$K'' = \frac{K}{2} [1 + \alpha (T_1 - t_0)] \dots \dots \dots (6)$$

Вычисливъ по формулѣ Ньютона значеніе K для сухого одиночнаго стекла при разности т-ръ  $T_1$ — $t_0$  и исправивъ его съ помощью поправки Пекле, подставляемъ въ ур-ніе (6) откуда и находимъ значеніе K''.

Положимъ, напримѣръ  $T_1-t_0=50$ °C; тогда для одиночнаго застекленія имѣемъ формулу:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_2}};$$

полагая:

$${f k_1}'=5;$$
  ${f k_2}'=2{,}91$  (для сухой внутренней поверхности стекла).  ${f k_1}''=6;$   ${f k_2}''=2{,}91$   ${f e}=0{,}002$ 

и  $\lambda = 0,80$ . При этихъ данныхъ найдемъ:

$$K = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{7,91} + \frac{0,002}{0,80} + \frac{1}{8,91}} = 4,08 \text{ Cal/mtr}^2;$$

Вводя поправку Пекле, получаемъ: при  $T_1$ — $T=t-t_0=23,50$ °C.  $Q_1=5+2.91+(0,0075\times5+0,0056\times2.91)$  23,50=7.91+1,27=9,18;  $Q_2=6+2.91+(0,0075\times6+0,0056\times2.91)=8,91+1,49=10,40$ .

$$K = \frac{1}{\frac{1}{9,18} + \frac{0,002}{0,80} + \frac{1}{10,40}} = \frac{1}{0,109 + 0,0025 + 0,096} = 4,80 \text{ Cal/mtr}^2$$

и, наконецъ, по формул $\dot{a}$  (6), положивъ  $\alpha$ =0,001; находимъ:

$$K'' = \frac{4,80}{2} [1 + 0,001 \times 50] = 2,40 (1 + 0,05) = 2,52$$
 Cal./mt.<sup>2</sup> въ часъ.

## 3) Случай одиночной рамы съ двойнымъ застенленіемъ.

Для вычисленія коэффиціента К въ случа одиночной рамы съ двойнымъ застекленіемъ проф. Ритшель предложилъ слъдующій способъ:

Обозначимъ всеобщіе коэффиціенты для одиночнаго стекла, для двойного стекла и для твла самой деревянной рамы, последовательно, черезъ: К, К, К, а искомый коэффиціентъ для рамы съ двойными стеклами-черезъ Х, примемъ, далъе, за ед-цу общую поверхность оконнаго проема, т. е. сумму поверхностей застекленной части и самой рамы. Часть этой поверхности, занятую рамою, обозначимъ черезъ m, и назовемъ еще буквою А ту часть теряемой теплоты, которая должна быть отнесена на счетъ неплотности оконныхъзаполненій въ ствнахъ; при этихъ обозначеніяхъ можемъ составить слідующую пару ура-

m. 
$$K_1 + (1 - m) K_3 + A = K_1 
m.  $K_2 + (1 - m) K_3 + A = X$$$

рѣшая систему ур-ній (а) относительно Х, найдемъ:

$$X = K_1 - m (K_1 - K_2) \dots (I)$$

положивъ, для примъра, что при заданномъ рисункъ оконнаго переплета чистая поверхность стекляннаго заполненія оконной рамы составляеть 0,66 полной площади оконнаго просвъта, и обозначивъ для одиночнаго оконнаго стекла  $K_1 = 5,50$  и для двойного  $K_2 = 2,20$ , найдемъ по формулѣ (I)

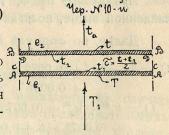
$$X = 5,50 - 0,66 (5,50 - 2,20) = 3,32 \text{ Cal.}$$

## 4) Горизонтальное двойное застекленіе (свѣтовой фонарь). (Черт. № 8 й).

Согласно общимъ указаніямъ, даннымъ въ пунктв II-мъ этой главы, выраженіе для К имфетъ въ данномъ случаф видъ:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{Q_2}} \cdot \cdot \cdot (I)$$

 $Q_1$   $\lambda_1$   $Q_3$   $Q_4$   $\lambda_2$   $Q_2$  при чемъ, для тепловоспріятія поверхностью  $Q_1$   $Q_2$   $Q_3$   $Q_4$   $Q_5$   $Q_$ для комнатнаго воздуха k<sub>1</sub>' равнымъ 4, а для сухой поверхности нижняго стекла по прежнему:  $k_2'=2,92$ .



Для внъшней теплоотдающей поверхности верхняго стекла  $Q_2 = k_1'' + k_2''$ , причемъ:

для подвижного, вообще говоря, наружнаго воздуха:  $k_i''=6$  и для сухой внъшней поверхности  $k_2'' = 2,91$ .

При накоторой подвижности воздуха въ междустекольномъ пространствъ въ выражении сложнаго коэффиціента  $Q_3 = k_1^{\text{III}} + k_2^{\text{III}}$ принимаемъ  $k_1^{III} = 5$ , а  $k_2^{III} = 2.91$ ; въ выраженіи для  $Q_4 = k_1^{IV} + k_2^{VI}$ , полагая возможнымъ неплотное закрытіе внутренней рамы и образованіе пота на внутренней поверхности болъе холоднаго верхняго стекла:  $k_2^{IV}$ =5,30 (какъ для воды); для  $k_1^{IV}$  слѣдуетъ принять то же значеніе, что и для  $k_1^{III} = 5$ .

При этихъ цифровыхъ данныхъ, положивъ еще  $e_1=e_2=0,002$  mtr. и зная, что  $\lambda_1=\lambda_2=0,80$  легко найти приближенное значение К по формулъ (1), именно:

$$K = \frac{1}{4+2.91} + \frac{2 \times 0.002}{0.80} + \frac{1}{5+2.91} + \frac{1}{5+5.30} + \frac{1}{6+2.91} = \frac{1}{0.144 + 0.005 + 0.126 + 0.097 + 0.112} = \frac{1}{0.484} = 2.07 \text{ Cal. mtr}^2.$$

При большихъ разностяхъ т-ръ  $(T_1-t_0)$  необходимо ввести поправку Пекле, опредъливъ предварительно разности т-ръ по формулъ Чаплина или задаваясь ими по Ритшелю.

Въ первомъ случаћ:

$$\begin{array}{c} T_{1}-T=t_{1}-\tau=\tau-t_{2}=t-t_{0}=0,10\text{ K }(T_{1}-t_{0})\text{ откуда при }T_{1}=+20^{\circ}\text{C}.\\ \text{и }t_{0}=-30^{\circ}\text{C}.\text{ находимъ: }T_{1}-T=t_{1}-\tau=\tau-t_{2}=t-t_{0}=0,10\times2,07\times\\ &\times[20-(-30)]=10,35^{\circ}\text{C}. \end{array}$$

Если же принять во вниманіе, что т-ра внутренняго воздуха у потолка, въ слоѣ прилегающемъ къ свѣтовому покрытію можетъ превосходить среднюю т-ру помѣщенія  $T_1$  на величину мѣняющуюся въ предѣлахъ отъ 0,5°C до 10°C и положивъ въ самомъ неблагопріятномъ случаѣ  $T_1 = t$  10°C, найдемъ болѣе надежныя значенія т-рныхъ разностей, поверхностей и срединъ равными:

$$T_1 - T = t_1 - \tau = \tau - t_2 = t - t_0 = 0.10 \times 2.07 [30 - (-30)] = 12.42$$
°C.

Примъчаніе: Проф. Ритшель даетъ величину очень близкую къ найденной выше, полагая ее равною  $12,50^{\circ}$ С.

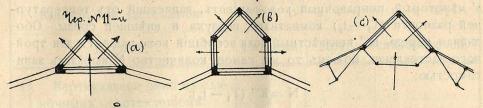
Далъе, по формулъ Пекле:

$$\begin{array}{c} Q_1 = k_1{}' + k_2{}' + (0,0075\,k_1{}' + 0,0056\,k_2{}')\; (T_1 - T) = 4 + 291 + (0,0075 \times 4 + 0,0056 \times 2,91)\;\; 12,42 = 6,91 + 0,58 = 7,49;\\ Q_3 = k_1{}''' + k_2{}''' + (0,0075\;k_1{}''' + 0,0056 \times k_2{}'')\;\; (t_1 - \tau) = 5,00 + 2,91 + 0,0075 \times 5 + 0,0056 \times 2,91)\;\; 12,42 = 7,91 + 0,67 = 8,58;\\ Q_4 = k_1{}^{1V} + k_2{}^{1V} + (0,0075\;k_1{}^{1V} + 0,0056\;k_2{}^{1V}\;(\tau - t_2) = 5 + 5,30 + 0,0075 \times 5 + 0,0056 \times 5,30)\;\; 12,42 = 10,30 + 0,83 = 11,13;\\ Q_2 = k_1{}'' + k_2{}'' + (0,0075\;k_1{}'' + 0,0056\;k_2{}'')\;(t - t_0) = 6 + 2,91 + (0,0075 \times 6 + 0,0056 \times 2,91)\;\; 12,42 = 8,91 + 0,78 = 9,69; \end{array}$$

При этихъ значеніяхъ основныхъ коэффиціентовъ:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7,49} + 0,005 + \frac{1}{8,58} + \frac{1}{11,13} + \frac{1}{9,69}} = \frac{1}{0,133 + 0,005 + 0,115 + 0,090 + 0,103} = \frac{1}{0,446} = 2,24 \text{ Cal. mtr}^2;$$

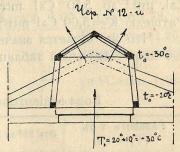
Къ разсматриваемому случаю относятся, главнымъ образомъ, свътовые фонари надъ заводскими мастерскими, а въ жилыхъ зданіяхъ надъ лѣстничными клѣтками. (См. черт. № 11 (а), (b), (c).



5) Свѣтовыя покрытія надъ жилыми помѣщеніями состоятъ иногда изъ одной горизонтальной рамы въ потолкѣ съ одиночнымъ застекленіемъ и вертикальной шахты, прорѣзывающей чердачное пространство и перекрытой выше крыши второю рамою также съ одиночнымъ застекленіемъ (черт. № 12).

Полагая въ этомъ случав т-ру чердачнаго пространства на  $10^{\circ}$ С. выше наинизшей наружной т-ры, т. е. принимая  $t_0 = -20^{\circ}$ С., а т-ру у потолка, какъ и выше  $T_1 = +30^{\circ}$ С. найдемъ по формулв Чаплина

$$T_1 - T = t_1 - \tau = \tau - t_2 = t - t_0 = 0.1$$
  $\times$  10° C. или, съ округленемъ: 10° С.



Кромѣ того, въ случаяхъ солиднаго устройства и исправнаго содержанія крыши и слуховыхъ оконъ: въ выраженіи для  $Q_2$  можно принимать  $k_1^{\ \Pi}=5$ -ти при этихъ условіяхъ путемъ подсчетовъ, аналогичныхъ тѣмъ, какіе даны въ предыдущемъ примѣрѣ, найдемъ значеніе:

$$K \simeq 2 16/Cal. mr^2$$

#### 6) Окна и свътовыя покрытія съ тройнымъ застекленіемъ.

Данныя выше обшія выраженія, будучи примінены къ случаю двухъ воздушныхъ прослойковъ, доставятъ путемъ послідовательныхъ вычисленій численное значеніе для всеобщаго коэффиціента теплопередачи черезъ вертикальный оконный просвіть или світовой фонарь при тройномъ застекленіи; поэтому, не останавливаясь на повтореніи всего извістнаго уже хода вычисленій, приведемъ способъ, данный для этого случая проф. Сальмоновичемъ.

Подобно общей формулѣ Сальмоновича, данной въ пунктѣ 6-мъ этой главы для двойного застекленія,

$$N = K \frac{T_1 - t_0}{2} \left[ 1 + \alpha \left( T_1 - t_0 \right) \right]$$

онъ даетъ для тройного застекленія формулу:

$$N = K \frac{T_1 - t_0}{3} \left[ 1 + \alpha' (T_1 - t_0) \right]. \qquad (1)$$

Гдв черезъ N обозначена часовая передача теплоты черезъ 1 кв. единицу поверхности тройного окна, при чемъ К представляетъ собоюизвъстный уже всеобщій коэффиціенть для одинарнаго застекленія, а  $\alpha'$  нъкоторый поправочный коэффиціенть, зависящій оть температурной разности  $(T_1 - t_0)$  комнатнаго воздуха и внъшней среды. Обозначая черезъ К" неизвъстный пока всеобщій коэффиціенть для тройного застекленія, можемъ то же самое количество N выразить зависимостью:

$$N = K''' (T_1 - t_0);$$

Сопоставляя оба выраженія для N и рѣшая ихъ относительно К", найдемъ:

$$K'''$$
, найдемъ:  $K''' = \frac{K}{3} \left[ \mathbf{1} + \alpha' \left( T_1 - t_0 \right) \right] \dots \dots \dots (1).$ 

Коэффиціентъ К быль нами опредъленъ выше и равенъ отъ 4.80 Cal. mtr<sup>2</sup> до 5.50 Cal mtr<sup>2</sup>, въ среднемъ его можно принимать по Ритшелю K = 5,00 Cal  $mtr^2$ ; rasinita ipoetratora es 10%, panesas-

Что же касается значеній коэффиціента а', то ихъ можно брать изъ нижеслѣдующей таблицы:

Таблица № 11-й. Коэффиціентовъ а' для тройного застекленія.

Разность т-ръ $(T_1 - t_0)$ .	Отъ 250 до 300.	Отъ 300 до 350.	Отъ 350 до 400.	Отъ 400 до 450.
Значенія коэф- фиціентовъ а'.	0,020; 0,015; 0,014.	0,013; 0,010; 0,008.	0,005, 0,004	0,003.

По подставленіи цифровыхъ значеній К и а для заданной температурной разности легко вычислить К" изъ формулы (1).

Положимъ, напримъръ,  $T_1 - t_0 = 50^{\circ}$  С. и примемъ  $\alpha' = 0,003$ (какъ для 45° разности).

Тогла:

$$K''' = \frac{5,00}{3} [1 + (0,003 \times 50)] = 1,66 \times 1,15 = 1,91$$
 Cal. mtr<sup>2</sup> въ часъ.

Въ качествъ общаго замъчанія необходимо указать, что на величину вообще очень значительной потери теплоты черезъ окна и фонари громадное вліяніе оказывають щели и неплотности въ рамахъ. Дъйствительная потеря всегда больше вычисленной; въ качествъ поправокъ являются предположенія о большей или меньшей подвижности воздуха и принятіе во вниманіе вліянія влажности на отпотъвающихъ поверхностяхъ стеколъ. На разнообразіе численныхъ значеній коэффиціентовъ на ряду съ этимъ вліяеть еще и выборъ частныхъ температурныхъ разностей, до сихъ поръ еще только приблизительно отвічающих дійствительности.

Таблица № 12-й.
Всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи для оконъ и свѣтовыхъ покрытій.

1	I. Окна.		All and the latter of the latt	
1		Ритшеля.	Друг. из	слѣдователей.
A BENTAL PROPERTY OF THE PROPE	Вертикальное окно съ одиночнымъ застекленіемъ: а) тонкое оконное стекло. b) толстное магазинное стекло (зеркальное)	Вн. вл. 5.30 Внутри влажн. 5,00	named name	Вн. влаж. 4.31, сухое 3,56.
2	Вертикальныя двойныя переплеты съ обыкновенными тонкими стеклами	Внутри влаж. 2.20. сух. 2,08	cyx. 2,07	Внутри влаж- ное 2,15, сухое 1.78.
3	Вертикальныя тройныя переплеты съ обыкновенными тонкими стеклами	A COMPANION		Вн. сухое 1.20, внутри влажная 1,30 (по Сальм. 1,91)
4	Вертикальн. одиночн. рама съ двумя стеклами по формулѣ (при потѣніи стеколь): $k=5-2.8~m=5-2.8\frac{\mathcal{Q}}{\omega};$ гдѣ т есть отношеніе поверхности стекла $\omega$ къ полн. поверхн. окна, (включая и раму) $\mathcal{Q}$ ; при сухихъ же стеклахъ: $k=5-2.92~m.$	При m = = 0,75 2,90 При m = = 0,75 2,81	n in shifting a	TOTAL CONTRACTOR
1 2 3	II. Свътовые фонари.  Одиночный переплетъ съ однимъ выходящимъ наружу стекломъ	Внутри влажное 5,10 3,60	haderagi haderagi haderagi	На 10% больше, чѣмъ для верти кальн. оконъ. — На 10% больше, чѣмъ для вертикальн. оконъ.
4	То же—выход. на чердакъ.	2,10	.ciu <del>ue</del> quen	r. Tourse second
5	Тройн. рамы верхн. свѣта.  Примъчание. Для перевода данъ	ныхъ этой т	1,50 аблицы въ ф	На 10 °/₀ больше, чѣмъдля вертик. по Сальмонов.

Въ прилагаемой здѣсь таблицѣ № 12-й сгруппированы коэффиціенты К для различныхъ застекленій, найденные различными изслѣдованіями.

#### II. Всеобщій коэффиціентъ теплопередачи для наружныхъ дверей.

Примъненіе общихъ формуль къ вычисленію всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи для наружныхъ дверей различныхъ конструкцій не представляетъ никакихъ затрудненій, но полученные такимъ образомъ коэффиціенты нуждаются въ поправкахъ, такъ какъ потеря теплоты черезъ наружныя входныя двери зависитъ не только отъ ихъ конструкціи толщины и неплотностей, но еще и отъ условій пользованія дверями, т. е, какъ часто и на какое время двери отворяются и остаются открытыми. Слъдовательно, многое зависитъ отъ назначенія того помъщенія, въ которое непосредственно ведетъ дверь. Сообразуясь съ обстоятельствами, принимаютъ нъкоторыя мъры пля устраненія врывовъ въ помъщенія наружнаго холоднаго воздуха, устраивая тамбуры, двойныя и тройныя двери, создавая внутри съней и вестибюлей подпоръ комнатнаго воздуха, мъщающаго проникновенію холоднаго и проч. Всъ эти мъры имъютъ цълью уменьшеніе температурной разности.

Въ виду сказаннаго, понятно разнообразіе численныхъ значеній предлагаемыхъ различными авторами всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи для входныхъ дверей.

Во всякомъ случат цифры нижепомъщаемыхъ таблицъ, какъ провъренныя практически, вполнъ годны для техническихъ расчетовъ, тъмъ болъе, что дальнъйшею къ нимъ поправкою являются повышенные запасы, вводимые въ итоги потерь теплоты для помъщеній, непосредственно соединенныхъ съ входными дверями.

Таблица № 13-й. Всеобщихъ коэффиціентовъ К для входныхъ дверей (по Ритшелю).

Contract the second sec	the state of the second				A STATE OF THE PARTY OF THE PAR	
Толщина дверныхъ	mtr.	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
полотенъ.	дюйм.	0,75"	1,2"	1,5"	2"	2,4"
WEGOR WAS AMERICAN		Tyles	To a Test	med at N	是把到野村	0 1
Сосновыя ( наружн	2,20	1,80	1,50	1,30	1,10	
двери (внутрен	нія.	2,10	1,70	1,50	1,30	1,10
- ET GOR BELL WARD		and the second	Cantal 1	131.41.00	H. W. Will	
Дубовыя д наружн	ыя.	3,00	2,50	2,20	2,00	1,80
двери внутрен	2,80	2,50	2,20	2,00	1,80	
The second second					Shirter	E 100

Профессоръ П. Ерченко даетъ нижеслъдующую таблицу, гдъ полученныя вычисленіемъ цифры увеличены на извъстный  $^0/_0$  въ зависимости отъ возможности прониканія холоднаго воздуха.

Таблица № 14-й. Всеобщихъ коэффиціентовъ К для дверей (по П. Ерченко).

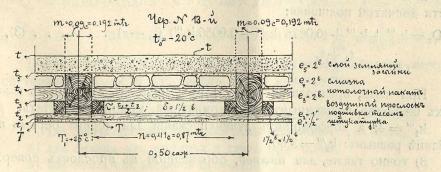
конструкція дверей.	Число дверей во входъ:							
конструкци двегей.	одиночныя.	двойныя.	тройныя.					
Простыя двери:	2,48	0,96	0,60					
общитыя съ одной стороны.	1,86	0,90	0,55					
общитыя съ объихъ сторонъ.	1,68	0,84	0,53					

Примъчаніе. Для полученія коэффиціентовъ К въ  $\phi/\mu$ . ед. т. по отношенію къ 1 кв. саж. табличныя цифры въ обоихъ случаяхъ умножаются на 11,08.

## V. Всеобщій коэффиціентъ теплопередачи К для потолочныхъ конструкцій. Примѣръ № 1-й.

Въ виду широкой до сихъ поръ распространенности деревянныхъ потолковъ на деревянныхъ балкахъ и въ виду типичности этой конструкціи приводимъ подробный для нея выводъ всеобщаго коэффиціента.

Согласно черт. N 13-й потолочныя балки шириною  $m=4^1/_2$  вер. =0.09 с. =0.192 mtr. и высотою въ 6 вер. уложены ось отъ оси на разстояни въ  $1^1/_2$  арш. =0.50 саж.



Разстояніе между внутренними гранями сосновыхъ балокъ:  $n=0.50-0.045\times 2=0.41$  с.=0.87 mtr.

Снизу по балкамъ сдѣлана подшнвка 1''—мъ тесомъ и по ней снизу слой штукатурки въ 1/2''.

Вдоль балки прибиты продольные бруски сѣченіемъ  $1^1/_2$  в.  $\times 1^1/_2$  в., а по нимъ уложены сплошь сосновыя доски наката толщиною въ 2 вершка (тверскія или пластины 5 в.  $\times 2^1/_2$  в.); поверхъ наката или чернаго потолка по слою глины уложенъ плашмя битый кирпичъ, сверху также смазанный глиною общей толщиною въ 2 вершка, наконецъ, поверхъ смазки—засыпка растительной землею слоемъ толщиною въ 2 вершка.

Такимъ образомъ, въ промежуткахъ между балками потолочная конструкція состоитъ изъ слѣдующихъ слоевъ, считая снизу:

- 1) штукатурка:  $e_1 = 0.5'' = 0.013$  mtr.;
- 2) досчатая подшивка:  $e_2 = 1'' = 0.025$  mtr.;
- 3) воздушный прослоекъ:  $\delta = 1,5$  вер.  $= 2^{1/2}$  = 0,064 mtr.;
- 4) черный потолокъ (накатъ):  $e_3 = 2$  вер. = 0,085 mtr.;
- 5) смазка (кирпичъ и глина):  $e_4 = 2$  вер. = 0,085 mtr.;
- 6) земляная засыпка:  $e_s = 2$  вер. = 0,085 mtr.

Въ общемъ видъ формула для всеобщаго коэффиціента теплопередачи данной сложной конструкціи съ однимъ воздушнымъ прослой-комъ представится въ видъ:

$$K_{1} = \frac{1}{\frac{1}{Q_{1}} + \frac{e_{1}}{\lambda_{1}} + \frac{e_{2}}{\lambda_{2}} + \frac{1}{Q_{3}} + \frac{1}{Q_{4}} + \frac{e_{3}}{\lambda_{3}} + \frac{e_{4}}{\lambda_{4}} + \frac{e_{5}}{\lambda_{5}} + \frac{1}{Q_{2}}} \cdot \cdot \cdot \cdot (I).$$

При чемъ, сложные коэффиціенты тепловоспріятія и теплопередачи имъютъ слъдующія выраженія съ поправкою Пекле:

1) для нижней поверхности слоя штукатурки:

$$Q_1 = k_1' + k_2' + (0,0075 \ k_1' + 0,0056 \ k_2') \ (T_1 - T) \dots (2).$$

При относительной неподвижности комнатнаго воздуха можно положить въ выраженіе (2) коэффиціентъ воспріятія теплоты соприкосновеніемъ съ воздухомъ  $\mathbf{k_1}'=4$ .

Коэффиціентъ же лучеиспусканія для штукатурки, согласно табличныхъ данныхъ  $k_{a}'=3,60;$ 

2) для верхней, обращенной въ воздушный прослоекъ, поверхности досчатой подшивки:

$$Q_3=k_1^{'''}+k_2^{'''}+(0{,}0075\ k_1^{'''}+0{,}0056\ k_2^{'''})\ (t_2- au)$$
 . . . . . (3), гдъ  $au=\frac{t_2+t_3}{2}=$  средней т-ръ воздуха въ прослойкъ.

При чемъ, предполагая воздухъ въ прослойкъ въ данныхъ условіяхъ не болъе подвижнымъ, чъмъ комнатный, можемъ назначить:

 $k_1'''=4$ ; а коэффиціенть лучеиспусканія для дерева беремь по таблицѣ равнымъ:  $k_9'''=3,60$ ;

3) точно также, для нижней, обращенной въ прослоекъ поверхности досокъ чернаго потолка:

 $Q_4=k_1^{\ \ \ \ \ \ \ }+k_2^{\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ }=(0,0075\ k_1^{\ \ \ \ \ \ }+0,0056\ k_2^{\ \ \ \ \ \ \ })$  (т —  $t_3$ ) — — . (4), гдъ попрежнему:

$$au = rac{\mathsf{t_2} + \mathsf{t_3}}{2}\;; \ k_1 w = 4\; \ \mathsf{w} \ k_2 w = 3.60;$$

4) наконецъ, для обращенной въ чердачное пространство внъшней поверхности земляной засыпки:

$$Q_2 = k_1'' + k_2'' + (0,0075 \ k_1'' + 0,0056 \ k_2'') \ (t - t_0) \ . \ . \ . \ (5),$$

при чемъ для нѣсколько болѣе подвижного воздуха на чердакѣ надо принимать  $k_1{''}=5$ ; коэффиціентъ же лучеиспусканія, по аналогіи съ матеріалами подобными растительной землѣ, назначаемъ равнымъ

 $k_2'' = 3,62;$ 

5) для вычисленія коэффиціентовъ  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  и  $Q_4$  по формуламъ (2), (3), (4) и (5) необходимо задаться величинами температурныхъ разностей; для этого, положивъ среднюю температуру комнатнаго воздуха въ  $+20^{\circ}$  С., назначаемъ търу его  $T_1$  въ сло $^{\circ}$  прилегающемъ къ потолку выше, на  $5^{\circ}$ С т. е. принимаемъ:  $T_1 = +25^{\circ}$  С. При предъльной наружной търъ  $t_0 = -30^{\circ}$  С. търа чердачнаго пространства подъ желъзною крышею по обръщеткъ обыкновенно на  $10^{\circ}$  С. выше наружной, поэтому полагаемъ  $t_0 = -20^{\circ}$  С.

Пользуясь указаніемъ проф. Ритшеля, что при разности т-ръ воздуха внутренней и внъшней среды близкой къ 40° С. температурныя разности срединъ и поверхностей данной потолочной конструкціи не превышаютъ 1° С, можемъ положить:

$$^{\bullet}$$
 T<sub>1</sub> - T = t<sub>2</sub> -  $\tau$  =  $\tau$  - t<sub>3</sub> = t - t<sub>0</sub> = 1  $^{\circ}$  C.

(ибо  $T_1 - t_0 = 25 - (-20) = 45^{\circ}$  С., т.-е. сравнительно мало отличается отъ нормы указанной проф. Ритшелемъ).

Вычисляемъ последовательно значенія сложныхъ коэффиціннтовъ

$$Q_{1}, Q_{3}, Q_{4} \times Q_{2}:$$

$$Q_{1} = 4 + 3,60 + (0,0075 \times 4 + 0,0056 \times 3,61) = 7,65; \frac{1}{Q_{1}} = \frac{1}{7,65} = 0,130$$

$$Q_{3} = Q_{4} = 4 + 3,60 + (0,0075 \times 4 + 0,0056 \times 3,60) = 7,65; \frac{1}{Q_{3}} = \frac{1}{Q_{4}} = \frac{1}{7,65} = 0,130$$

$$Q_{2} = 5 + 3,62 + (0,0075 \times 5 + 0,0056 \times 3,62) = 8,67; \frac{1}{Q_{9}} = \frac{1}{8,67} = 0,115$$

Беремъ, далѣе, изъ таблицы № I значенія коэффиціентовъ внутренней теплопроводности для слоевъ нашей конструкціи:

- 1) для штукатурки  $\lambda_1 = 0.69$ ;
- 2) для досчатой подшивки (поперекъ волоконъ)  $\lambda_2 = 0.093$ ;
- 3) для досчатаго наката (поперекъ волоконъ)  $\lambda_3 = 0,093;$
- 4) для смазки изъ кирпича и глины  $\lambda_4 = 0,800;$
- 5) для земляной засыпки  $\lambda_s = 0.150$  и вычисляемъ рядъ отношеній:

$$\frac{e_1}{\lambda_1} = \frac{0,013}{0,690} = 0,020;$$

$$\frac{e_2}{\lambda_2} = \frac{0,025}{0,093} = 0,268;$$

$$\frac{e_3}{\lambda_3} = \frac{0,085}{0,093} = 0,913;$$

$$\frac{e_4}{\lambda_4} = \frac{0,085}{0,800} = 0,106;$$

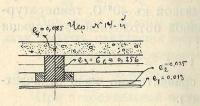
$$\frac{e_5}{\lambda_5} = \frac{0,085}{0,150} = 0,566;$$

подставляя найденныя численныя величины въ ур-ніе (I) имфемъ,

$$K_{1} = \frac{1}{0,130 + 0,020 + 0,268 + 0,130 + 0,130 + 0,913 + 0,106 + 0,566 + 0,115} = \frac{1}{2,378} = 0,42 \text{ Cal. mtr}^{2}; \dots \dots \dots \dots (II).$$

Вычисленное выше значеніе всеобщаго коэффиціента  $K_1$  справедливо только для конструкціи въ междубалочномъ пространствѣ на ширинѣ n=0.41 саж. =0.87 mtr.

Для участковъ потолковъ лежащихъ надъ балками на ширинъ m=0.09 саж. =0.192 mtr.



при отсутствіи воздушнаго прослойка и при другомъ числѣ и составѣ слоевъ (см. черт. № 14-й) коэффиціентъ долженъ имѣть другое частное значеніе К<sub>2</sub>, которое намъ и надлежитъ вычислить при обозначеніяхъ данныхъ на черт. и при нѣкоторыхъ найденныхъ уже величинахъ.

Выше были найдены: Толщина слоевъ:

штукатурки 
$$e_1 = 0.013$$
 mtr.; подшивки  $e_2 = 0.025$  mtr.; засыпки  $e_4 = e_3 = 0.085$  mtr.

Ихъ коэффиціенты внутренней теплопроводности:

-негот ин авточно 
$$\lambda_1 = 0.69$$
;  $\lambda_2 = 0.093$  и  $\lambda_4 = \lambda_8 = 0.150$ ,

поэтому, извъстны и отношенія:

$$\frac{e_1}{\lambda_1} = \frac{0,013}{0,69} = 0,020; \qquad \frac{e_2}{\lambda_2} = \frac{0,025}{0,093} = 0,268;$$

$$\frac{e_4}{\lambda_1} = \frac{0,085}{0,150} = 0,566;$$

толщина балки  $e_3 = 6$  вер. = 0,12 саж. = 0,256 mtr.

Для сосноваго дерева поперекъ волоконъ  $\lambda_3 = 0,093$ .

Поэтому:

$$\frac{e_3}{\lambda_2} = \frac{0.256}{0.093} = 2,75;$$

значенія коэффиціентовь  $Q_1 = 7,65$  и  $Q_2 = 7,67$ , остаются и въ этомъ случав безъ измвненія:

$$\frac{1}{Q_1} = \frac{1}{7,65} = 0,130$$
 и  $\frac{1}{Q_2} = \frac{1}{7,67} = 0,130$ .

Общее выраженіе всеобщаго коэффиціента  ${\rm K_2}$  для данной сложной конструкціи им ${\rm \tilde ter}$  вид ${\rm \tilde ter}$ 

$$K_{2} = \frac{1}{\frac{1}{Q_{1}} + \frac{e_{1}}{\lambda_{1}} + \frac{e_{2}}{\lambda_{2}} + \frac{e_{3}}{\lambda_{3}} + \frac{e_{4}}{\lambda_{4}} + \frac{i}{Q_{2}}} \cdot \dots \cdot (III).$$

Послѣ подстановки численныхъ величинъ находимъ:

$$K_2 = \frac{1}{0,130 + 0,020 + 0,268 + 2,75 + 0,566 + 0,130} = \frac{1}{3\,864} = 0,258$$
 Cal. mtr <sup>2</sup> . . . . . . . . (IV).

При вычисленныхъ частныхъ коэффиціентахъ  $K_1$  и  $K_2$  проф. Рит-шель предложилъ значеніе средняго для всей конструкціи всеобщаго коэффиціента K опредълять по формуль:

гдъ n — ширина въ mtr'ахъ промежутка между балками, а m — ширина балки.

Слъдовательно, вообще, при вычисленных в  ${\rm K_1}=0.42$  и  ${\rm K_2}=0.258$  и произвольных в п и m имъемъ:

$$K = \frac{0.42 \cdot n + 0.258 \text{ m}}{n + m}$$
 . . . . . . . . . (V1),

въ данномъ же случав:

при:

$$n = 0.41$$
 саж.  $= 0.870$  mtr.  $m = 0.09$  саж.  $= 0.192$  mtr.

$$K = \frac{0.42 \times 0.870 + 0.258 \times 0.192}{0.870 + 0.192} = \frac{0.4149}{1.062} \approx 0.40 \text{ cal/mtr}^2$$

что составляетъ въ русскихъ мърахъ:

$$K = 0.40 \times 11.08 = 4.43$$
 ф/ц. ед. т. съ 1 кв. саж.

IIримпчаніе. Въ разсмотрѣнномъ примѣрѣ сомнительной величиной является принятый коэффиціентъ внутренней теплопроводности для смазки  $\lambda_4 = 0,800$  (какъ для обожженной глины). Смазка же состоитъ изъ слоя необожженной глины, по которой укладывается плашмя одинъ рядъ краснаго обожженнаго кирпича съ заливкою глиною же швовъ такою же глиною кирпичъ смазывается сверху.

Для кирпичной кладки предлагають  $\lambda_4=0.69$ ; для обожженнаго кирпича  $\lambda_4=$  оть 0,34 до 0,36, при любомъ изъ этихъ меньшихъ зна-

ченій для  $\lambda_4$  возрастаетъ выраженіе  $\frac{\mathcal{C}_4}{\lambda_4}$  поэтому уменьшается значеніе  $K_1$  а слѣдовательно и значеніе для K. Найденный выше коэффиціентъ  $K=0,40~\mathrm{Gal/mtr^2},$  превышая обычно считаємый  $K=0,30~\mathrm{Cal/mtr^2},$  нѣсколько меньше предложеннаго  $B.~M.~\mathrm{Чаплинымъ}~K=0,45~\mathrm{Cal/mtr^2}$  для подобной же конструкціи и поэтому можетъ быть принимаємъ, какъ вѣроятное среднее значеніе.

Пользуясь указаніями данными выше не представить особыхъ затрудненій вычислить коэффиціенть К и при всякой другой потолочной конструкціи.

## VI. Передача теплоты полами.

Условія передачи теплоты черезъ толщу половыхъ конструкцій подводятся подъ случай (b) (см. стр. 38-ю). Количество теряемой теплоты находится въ прямой зависимости отъ т-ры подполья и, слъдовательно, отъ потери тепла этимъ послъднимъ.

Потеря теплоты подпольемъ происходить съ одной стороны черезъ стънки цоколя и черезъ отверстія въ нихъ, съ другой стороны—черезъ грунтъ.

Поглощение теплоты грунтомъ вообще значительно, но не поддается точному учету, такъ какъ задача осложняется многими привходящими условіями: (толщина и матеріаль стінь, глубина промерзанія, характерный составъ почвы, теплопроводность и проч.) Замъчено, что на глубинъ большей глубины промерзанія (приблизительно ниже 3-хъ арш. отъ поверхности въ нашемъ поясъ) т-ра почвы въ теченіе зимняго времени для данной мъстности остается почти постоянной величиной, при чемъ подъ отапливаемыми зданіями эта т-ра всегда на нѣсколько градусовъ выше, чёмъ для открытыхъ мёсть. Предположивъ точно извъстнымъ коэффиціентъ теплопроводности даннаго грунта ѝ и обозначивъ черезъ  $\Omega$  площадь пола данной конструкціи, черезъ  $K_{\bullet}$  его всеобщій коэффиціенть теплопередачи, черезь T, и t, внутреннюю т-ру помъщенія и температуру наружнаго воздуха, черезъ F поверхность стѣнъ цоколя черезъ К, всеобщій для нихъ коэффиціентъ теплопередачи, черезъ Ко всеобщій коэффиціенть для грунта и черезъ а постоянную т-ру грунта на глубинъ большей глубины промерзанія, можемъ вычислить т-ру подполья х изъ условія:

$$\Omega = \mathbb{K}_{1} (T_{1} - x) = F. K_{2} (x - t_{0}) + \Omega K_{0} (x - a);$$

Къ сожалѣнію, до сихъ поръ техника не располагаетъ сколько нибудь надежными цифровыми величинами коэффиціентовъ теплопроводности для грунтовъ и практически пользованіе даннымъ выше выраженіемъ невозможно.

Довольствуются, обыкновенно, числами, полученными изъ наблю-

деній надъ температурами подполій въ существующихъ зданіяхъ; наиболье въроятными числами считаютъ  $4^{\circ}$  —  $6^{\circ}$  С.

При вычисленіяхъ потерь теплоты черезъ бетонные плитные и другого рода полы подвальныхъ помѣщеній, особенно обширныхъ и углубленныхъ болѣе, чѣмъ на 3 арш. въ землю, примѣняютъ слѣдующій пріемъ: По периметру L наружныхъ стѣнъ берутъ полосу пола, шириною въ 1 саж. и принимаютъ площадь

$$L \times I$$
 саж. =  $\omega$  кв. саж.

За величину дъйствительно охлаждаемой поверхности (вмъсто полной площади пола). Затъмъ при назначени всеобщаго коэффиціента теплопередачи  $K_0$  пользуются коэффиціентомъ для наружной стъны, ограждающей данное подвальное помъщеніе въ землъ, при толщинъ ея на уровнъ пола.

Положимъ, напримъръ, подвальное помъщеніе подъ дворомъ имъетъ измъренія: длину a=8 саж.; ширину b=4 саж. высоту h=1.50 саж. при чемъ толщина стѣнъ  $\delta=2^1/_2$  кирпичамъ; уровень пола подвала ниже поверхности двора на 1.70 саж. Положимъ, что одной длинной стороной нашъ подвалъ примыкаетъ къ сосъднимъ подваламъ подъ зданіемъ, тогда: периметръ наружныхъ подвальныхъ стѣнъ въ нашемъ случаъ  $L=a+2b=8.00+2\times4.00=16$  саж.; полная площадь пола подвала  $\Omega=a\times b=8.00\times4.00=32.00$  кв. саж.; за дъйствительно охлаждаемую его поверхность принимаемъ:

$$\omega = 1 \times 1,00 = 16,00 \times 1,00 = 16.00$$
 кв. саж.

Обозначимъ черезъ K=8 Ф/ц. ед. т. всеобщій коэффиціентъ теплопередачи для стѣны въ  $2^{1}/_{2}$  кирпича, если стѣна надземная; для такой же стѣны цѣликомъ по всей высотѣ углубленной въ землю коэффиціентъ K', очевидно, долженъ быть меньше, т. е. коэффиціентъ K долженъ быть умноженъ на нѣкоторое число  $\mu$  меньшее единицы, при чемъ:

$$K' = \mu$$
. K.

Практика указываетъ численное значеніе  $\mu=0,60$ ; принявъ его, имѣемъ  $K'=0,60\times 8=4.80$  ф/ц. съ кв. с. этотъ же коэффиціентъ принимаемъ и для пола  $K_0=K=\mu K$ . Часовая потеря теплоты черезъ полъ при этихъ условіяхъ K' при разности т-ръ въ  $1^0$  С. выразится величиною:  $n_0=\omega$ .  $K_0=6,00\times 4.80=76.80$  ф/ц. ед. т.

Въ виду того, что перекрытія одной и той же конструкціи являются то полами, то потолками въ зависимости отъ тры пространства надъ и подъ ними, здѣсь прилагается соединенная таблица всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи для половъ, потолковъ и крышъ.

Таблица № 15-й.

Значеній всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи для половъ, потолковъ и крышъ.

N:Ne	Описаніе конструкціи половъ и потолковъ.		іјенты зные че	A STATE OF THE PARTY OF	толковъ.	-оп или K2						
interest of the state of the st	Легкая конструкція перекрытія, состоящая изъ досчатаго настила по балкамъ. Черт. 15.	gend gend sud he to	in m	n —	ep. r. l	5. 2 - 1 - n -	.8	og og (y. y) (éko	MARKE TOPPOSE	ide s tu or tage		
	thurster year	h	6	m	n	k <sub>1</sub>		$k_2$				
Mog	OD STEEL	a a i ya	equit.	0,15	0,60		BU LA		1,63			
OHLS OHLS	Out of Statement	0,20	0,025	0,20	0,60	0,41	15	1,934	1,56	тълке значенія.		
A COLOR	TY SHEMELIONS			0,15	0,60			A MO	1,62	же зна		
	Manual Communication of the Co	0,24	0,025	0,20	$ \begin{array}{c c} 0,70 \\ \hline 0,60 \\ \hline 0,70 \end{array} $	0,35	52	1,934	1.66	17		
2	Балки съ нака- томъ и коксовой засыпкой; сверху сосновый полъ; снизу подшивка		a mb	γ δ - N-		-n-	5 m					
	тесомъ и штука-	тесомъ и штука-	тесомъ и штука-	_	-					$k_2$		The State of the
	тесомъ и штука- турка по драни. Черт. № 16.	h	8	e	m	n	k <sub>1</sub>	$k_2$		ones On		
-130	турка по драни.	h	8	e	m	n 0,60	k <sub>1</sub>	ķ <sub>2</sub>	0,48	OR.		
	турка по драни.	h 0,24	0,025	0,105	0,20	0,60		0,5375	0,49			
	турка по драни.					0,60			0,49			
	турка по драни.					0,60 0,70 0,80			0,49			
	турка по драни.	0,24	0,025	0,105	0,20	0,60 0.70 0,80 0,90	0,2974	0,5375	0,49	0,24		
THE PARTY OF THE P	турка по драни.	0,24	0,025	0,105	0,20	0,60 0,70 0,80 0,90	0,2974	0,5375	0,49	0,24		

Ne.Ne	Описаніе конструкціи половъ и потолковъ.					оы и части стей конст		1 Для по-	У Для по-	
3	Балки съ нака- томъ и коксовой засыпкой; сверху по черному полу дубовый штучный	42 (0)		3. 8						
	полъ или паркетъ. Снизу подшивка тесомъ и штука-	h	е	m	n	k <sub>1</sub>	$k_2$	1100		
	турка по драни. Черт. № 17.	0,60				0,42				
		0,24	0,105	0,20	0,70	0,2754	0,4697	0,43		
	62 81 19	0,24	0,100	0,20	0,80		0,1001	0,43		
	•				0,90			0,43		
	With SCE pt0	h	e	m	n	k <sub>1</sub>	$k_2$			
		0,24	0,105	0,20	0,60	0,2754	0,2054		0,22	
	or management	0,24	0,105	0,20	0,70	0,2134		90	0,22	
					0,80				0,22	
					0,90	400	pertopingo so a dina	N	0,22	
4	Тяжелая кон- струкція обыкно- венныхъ потол- ковъ съ накатомъ, смазкой и засып- кой сверху; снизу подшивка тесомъ и штукатурка по драни. Черт. № 18.					18-4 -1 mtr		отъ 0,30 до 0,45		
5	По пластинному накату смазка или засыпка, черный и чистый полъ, снизу штукатурка по драни. Черт. № 19.		Uejs. N19-is							
6	Желѣзо-бетон- ный потолокъ съ чернымъ и чис- тымъ поломъ. Черт. № 20.	111111		025 mts	Uejo. N		K Late (Alt 1844)	1,17		

№ №	Описаніе конструкціи половъ и потолковъ.		Эскизные чертежи, размёры и частные козофиціенты составныхъ частей конструкціи.										-OI RIGHT K2
7	Жельзо - бетонный потолокъ съ чернымъ и чистымъ поломъ, съ воздушнымъ прослойкомъ и штукатуркою по сѣтъкъ. Черт. № 21.		Neys. N 21- M  Borgyuman npocusone										
8	Желѣзо - бетон- ный потолокъ, штукатурка по бе- тону, насыпка чер- ный и чистый по- лы. Черт. № 22.		Mep. N 22- i										
	1000 10.30	h cm.	0.72	18	20 0,61	0.59	22	23	0,54	25	26 0.58	100	100
	. 10080 - 305	h em.	28	30		35	40	45	50	55		$=K_1$	The second
g	Изолированныя на чердакѣ балки, плоское бетонное перекрытіе, засыпка торфомъ или пробкою. Чертежъ № 23.				raku.	v,15 m	leps. J	√ 23-	v.			0,60	0,6
10	Полъ изъ каменныхъ плитъ на кирпичномъ сводѣ съ забуткою пазухъ. Черт. № 24.			35.	5,	'= 0, 12 <sup>6</sup>	Mep.	w 21	1-4 1-4			1,00	
11	Досчатый полъ на лагахъ по кир- пичному своду. Черт. № 25.						Neps :4	N 2 S mre	5-4	1	eron eron eron	0,71	0,44

Ne.No	Описаніе конструкціи половъ и лотолковъ.		Эскизные чертежи, размёры и частные коэффиціенты составныхъ частей конструкціи.								
12	Паркетный полъ по сплошной об- ръшеткъ по ла- гамъ на сводъ. Черт. № 26.	III Impactory	Meyo. N 26 m 1" 2".								
13	Кирпичный сводъ. Черт. № 27.	C:	наст	вкою ас илкою	чер. Л азухъ сфальт плитон линоле	ОМЬ.			1,66 1,58 1,60 1,66		
14	Жельзо-бетон- ная крыша съ воз душнымъ прос- лойкомъ, снизу по съткъ штукатурка воздушный про-	h cm.	Nep. N 28-1							81	
	слоекъ, желѣзо- бетонный цото- локъ, асфальтъ, древесный це- ментъ и насыпка изъгравія.	l <sub>1</sub> mt.			1	.,2 mt.	087/00 087/00	(ARTHO	i de la companya de l		
oran Saind	Черт. № 28.	1,	0,977	0,978	0,979	0,979 0,8 mt	0,981	0,983	=K <sub>1</sub>		
	, 3,010181	0.01.	0,979	0,980	0,982	0,984	0,985	0,987		=K,	
15	Жельзо - бетон- ная крыша безъ воздушнаго про- слойка. Черт.№29.	MIC AND STREET OF THE STREET O			Чер х	19 4 4 6 6 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	723	H T	2,81	svi e c Serve Liveye Alteria	

№M	Описаніе конструкціи половъ и потолковъ.	Эскизные чертежи, размёры и частные коэф- фиціенты составныхъ частей конструкціи.	1 Дая по-	ж. Для по-
16	Толевая кровля по досчатому настилу толщиною въ 1". Черт. № 30.	Иер. N 30-й	2,13	11
17	Цинковая кров- ля или красной мъди по досчато- му настилу въ 1".	The state of the s	2,17 2,17	1.1
18	Аспидная кровля по досчатому настилу.	TO THE CONTROLS OF THE CONTROL OF THE CONT	2,10	
19	Кирпичная кров- ля безъ настила.		4,85	
20	Гольцементная кровля.	de la contraction de la contra	1,32	
21	Кровтя изъволнистаго желъза безъ настила.	in a see to a see the	10,40	

## VII. Всеобщій коэффиціенть теплопередачи черезъ вертикальныя стѣны.

## 1) Предъльная толщина воздушнаго прослойка.

Въ §§ 1 и 2 этой главы были выведены выраженія для всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи К въ случав однослойной однородной и сложной ствны, состоящей изъ несколькихъ соприкасающихся и разнородныхъ по матеріалу слоевъ, а также и для случаевъ ствны съ однимъ или несколькими воздушными прослойками.

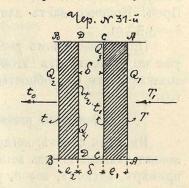
Въ послъднемъ случаъ было предположено, что черезъ прослоекъ теплота передается соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ въ сиу циркуляціи воздуха по высотъ прослойка и въ силу теплопрозрачности воздуха. Это предположеніе, однако же, справедливо только при нѣкоторой опредѣленной ширинѣ (толщинѣ) воздушнаго прослойка, такъ какъ при малой ширинѣ прослойка можетъ и не быть нисходящихъ и восходящихъ токовъ воздуха и поэтому теплопередача можетъ осуществляться путемъ проведенія теплоты, какъ и въ твердыхъ слояхъ. Слѣдовательно, должна существовать нѣкоторая предѣльная толщина прослойка, до которой передача теплоты происходитъ въ силу теплопроводности и, поэтому, зависитъ отъ ширины прослойка и за которой эта теплопередача, осуществляясь соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ, остается величиной постоянной и не зависящей отъ толщины прослойка.

Этотъ предълъ достигается въ томъ случат, когда сумма коэффиціентовъ теплопередачи и тепловоспріятія поверхностями, обращен-

ными въ прослоекъ, сдълается равной коэффиціенту внутренней проводимости.

Положимъ, напримъръ, что согласно чертежа № 31 имъется стънка, состоящая изъ 2-хъ слоевъ, раздъленныхъ однимъ воздушнымъ прослойкомъ толщины δ.

Въ этомъ случаѣ, согласно данныхъвыше выводовъ, сложные коэффиціенты теплопередачи и тепловоспріятія для поверхностей, обращенныхъ въ прослоекъ, выражаются формулами:



$$Q_3 = k_1 + 2k_2 + k_2$$
;  
 $Q_4 = k_1$  for  $+ 2k_2$  for;

При чемъ основные коэффиціенты передачи соприкосновеніемъ  $k_1 = k_1 = 4$ 

такъ какъ воздухъ въ прослойкъ находится въ состояніи подвижности меньшей, чъмъ для наружнаго и большей, чъмъ для комнатнаго воздуха.

Коэффиціенты лучеиспусканія для поверхностей равно сухихъ или равно влажныхъ, вообще пребывающихъ въ одинаковомъ состояніи равны. Положимъ, оба слоя каменные и сухіє; для ихъ поверхностей:

$$k_2 = k_2 = 3,60.$$

Слѣдовательно:

$$Q_3 = Q_4 = 4.00 + 2 \times 3.60 = 11.20.$$

Сумма сложныхъ коэффиціентовъ равна:

$$\frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} = \frac{1}{11.20} + \frac{1}{11.20} = \frac{2}{11.20}; \dots$$
 (a)

Для сухого воздуха по Пекле, коэффиціентъ теплопроводности  $\lambda=0.04$ ; Редтенбахеръ, учитывая возможность щелей и неплотностей въ стънахъ, а также и влажность воздуха, принималъ  $\lambda=0.10$ ; принимая въ расчетъ эту послъднюю величину и обозначая черезъ  $\delta$  искомую

толщину воздушнаго прослойка, можемъ выразить величину коэффиціента внутренней проводимости  $\xi$  черезъ:

Приравнивая вторыя части выраженія (a) и (b) имъемъ:

Откуда находимъ для в численное значеніе:

$$\delta = \frac{0.10 \times 2}{11.20} = 0.02$$
 mtr.

Слѣдовательно, — передача теплоты въ силу теплопроводности воздуха прекращается, какъ скоро ширина прослойка превышаетъ 2 ст.; Проф. Ерченко даетъ для той же предѣльной толщины прослойка  $\hat{\mathfrak{d}}=3,5$  ст.

При дальнъйшемъ увеличеніи толщины прослойка теплопередача уже не зависитъ отъ этой ширины и осуществляется циркуляціей воздуха и его способностью проводить тепловые лучи сквозь свою толщу.

#### 2) Заполненіе прослойка дурными проводниками теплоты.

Въ томъ случав, когда воздушный прослоекъ имвется въвиду заполнить какимъ-нибудь веществомъ, дурно проводящимъ теплоту, напримвръ, пескомъ, золой, угольными шлаками, инфузорной землей и проч., то толщина прослойка в должна быть измвнена пропорціонально коэффиціенту в внутренней теплопроводности даннаго матеріала.

Напримъръ, въ случат засыпки прослойка пескомъ при  $\lambda_1 = 0.27$  толщина слоя засыпки  $\delta_1$  найдется изъ условія:

гдѣ:  $\delta = 0.035$  mtr. толщина воздушнаго прослойка равной проводимости по Ерченко, а  $\lambda = 0.10$  его коэффиціентъ теплопроводности при этихъ данныхъ:

откуда:

$$\hat{o}_1 = \frac{0.035 \times 0.27}{0.10} \, 0.045 = 0.10 \, \text{mtr.} = 10 \, \text{cm.}$$

Слѣдовательно, при засыпкѣ прослойка веществомъ, коэффиціентъ внутренней проводимости котораго больше, чѣмъ для воздухг, толщина слоя засыпки должна быть больше, чѣмъ свободнаго воздушнаго прослойка.

Въ случав, напримъръ, торфяной засыпки, для которой  $\lambda_1 = 400$ , найдемъ для  $\delta_1$  величену, равную:

$$\delta_1 = \frac{\delta.\lambda_1}{\lambda} = \frac{0.035 \times 0.04}{0.10} = 0.014 \text{ mtr.} = 1.4 \text{ cm.}$$

точно также, при засыпкъ золою, для которой  $\lambda = 0.06$ .

Находимъ:

$$\delta_1 = \frac{0.035 \times 0.06}{0.10} = 0.02 \text{ mtr} = 2 \text{ cm}.$$

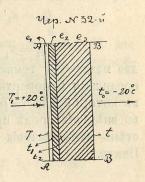
Слѣдовательно дурные проводники тепла: зола, пробка, мѣлъ въ порошкѣ, торфъ, инфузорная земля и проч. вещества, для которыхъ  $\lambda_1 < \lambda$  уменьшаютъ необходимую толщину  $\delta_1$  изолирующаго слоя, сравнительно съ толщиною равноцѣннаго воздушнаго прослойка.

Данныя въ § 1 и 2 формулы легко примънить къвычисленію любой по составу стънки при надлежащемъ и соотвътствующемъ обстоятельствамъ выборъ основныхъ и вычисленіи сложныхъ коэффиціентовъ тепловоспріятія и теплоизліянія. Приведемъ здъсь два численныхъ примъра, достаточно поясняющіе ходъ разсужденія и расчета.

#### Численный примѣръ № 1-ый.

Требуется вычислить значеніе всеобщаго коэффиціента К для наружной кирпичной стѣны, оштукатуренной изнутри и оклеенной обоями. Послѣдовательность слоевъ, температуры и обозначенія указаны на черт. № 32-й.

Согласно общаго ур—нія (см. стр. 32) выраженіе для всеобщаго коэффиціента К въ формъ Ньютона имъетъ въ данномъ случаъ видъ:



$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_2} + \frac{1}{Q_2}} \dots \dots \dots \dots (a)$$

Тепловоспринимающая поверхность со стороны помѣщенія обои (бумага); коэффиціентъ лучеиспусканія для нея по таблицѣ, № 7-й.  ${\bf k_2}'=3,\!80;$ 

Для внѣшней теплоотдающей поверхности кирпичной стѣнки, точно также:  $k_3''=3,60;$ 

для внутренняго спокойнаго воздуха коэффиціентъ тепловоспріятія соприкосновеніемъ  ${\bf k_1}'=4$ -мъ, а для наружнаго свободнаго надо взять  ${\bf k_1}''=6$ -ти.

Тогда, сложные коэффиціенты:

$$Q_1 = k_1' + k_2' = 4 + 3.80 = 7.80$$
:  
 $Q_2 = k_1'' + k_2' = 6 + 3.60 = 9.60$ ;

Положимъ далъе толщину слоевъ равною:

для обоевъ:  $e_1 = 0,0001$  mtr.;

для слоя штукатурки:  $e_2 = 0,01$  mtr.;

для кирпичной стѣны:  $e_3 = 0,51$  mtr. (0,25 саж. = 2 кирпича).

и находимъ по таблицѣ № 1-й значеніе коэффиціентовъ  $\lambda$  внутренней теплопроводности, именно:

для бумаги (обои):  $\lambda_1 = 0.034$ ; для штукатурки:  $\lambda_2 = 0.69$ ; для кирпичной кладки:  $\lambda_3 = 0.69$ .

По подстановленіи численных значеній въ выраженіе (а) получаемъ послѣдовательно:

Найденное приближенное значеніе для K=1,01 Cal./mtr.²въ часъ надлежитъ исправить въ зависимости отъ разности т—ръ  $T_1=+20^{\circ}$ с и  $t_0=-10^{\circ}$ с по формуламъ Пекле, по которымъ:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q_1} &= \mathbf{k_1'} + \mathbf{k_2'} + (0.0075\mathbf{k_1'} + 0.0056\mathbf{k_2'})(\mathbf{T_1} - \mathbf{T}) \\ \mathbf{W} \\ \mathbf{Q_2} &= \mathbf{k_1''} + \mathbf{k_2''} + (0.0075\mathbf{k_1''} + 0.0056_2\mathbf{k''})(\mathbf{t} - \mathbf{t^0}) \end{aligned} \tag{c}$$

для назначенія температурных разностей  $(T_1-T)$  и  $(t-t_0)$  между срединами и поверхностями воспользуемся таблицею проф. Ритчеля, въ которой для t-pъ  $T_1=+20^{\circ}\mathrm{C}$ . внутри помѣшенія и  $t_0=-20^{\circ}\mathrm{C}$ . во внѣшней средѣ при различных толщинах наружных кирпичных стѣнъ даны значенія разностей  $T_1-t=t-t_0$ , вводимых въ формулы Пекле.

Таблица № 16-й значеній  $T_{_1}-t=t-t_{_0}$  для кирпичныхъ стѣнъ.

Разность т—ръ $T_1 - t_0 = 20^\circ - (-20^\circ) = 40^\circ \text{C}$ .									
SH-F AN	Толщина кирпичной стѣны.  Въ кир Въ пичахъ. mtr.								
Для н	аружн <b>ых</b> т	ствнъ	толщиною:	1/2	0,12	8°C.			
DESCRIPTION OF	TELOGOUPES	rar resian	HISTORIA ANTERON	1	0,25	.7°C.			
"	,,	'n	7	11/2	0,38	6°C.			
n	,	, ,	" tartusis	2 2	0,51	5℃.			
"	,,	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		21/2	0,64	4°C.			
,	n	n	interes » erententriones	3	0,77	3°C.			
70	,	,	Anna market man and	31/2	0,90	2°C.			
"	APM n	, ,		4	1,03	1°C.			
macriy "	Har A more	15 W 24	свыше:	4	1,05	0°C.			
Для в	нутренних	съ ствн	b:	enter enter	en võ	0°C.			

По этой таблицъ, для стъны въ 2 кирпича:

$$T_1 - T = t - t_0 = 5$$
 °C.

поэтому:

$$Q_1 = 4 + 3.80 + (0,0075 \times 4 + 0,0056 \times 3.80)5 = 8,10;$$
  
 $Q_2 = 6 + 3.60 + (0,0075 \times 6 + 0,0056 \times 3.60)5 = 9.93,$ 

Внося въ выраженіе (b) исправленныя значенія Q<sub>1</sub> и Q<sub>2</sub> найдемъ окончательно:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8.10} + 0,003 + 0,015 + 0,740 + \frac{1}{9,93}} = \frac{1}{0,98} = 1,02 \text{ Cal./mtr.}^3$$
 въ часъ.

## Численный примѣръ № 2-й.



Требуется вычислить значение К для сложной стънки съ воздушнымъ прослойкомъ, изображенной на черт. № 33-й.

Составъ слоевъ, размъры и коэффиціенты внутренней теплопроводности слъдую-

$$e_1 = 0,0001 \text{ mtr}; \ \lambda_1 = 0,034;$$

штукатурка:

$$e_2 = 0.01 \text{ mtr}; \quad \lambda_2 = 0.69;$$

кирпичная ствна:

$$e_3 = 0,25$$
 mtr;  $\lambda_3 = 0,69$ ;

далье воздушный прослоекь и кирпичная стына для которой:

$$e_4 = 0,25$$
 mtr.;  $\lambda_4 = 0,69$ .

Для даннаго случая приближенное значеніе для К, не принимая во внимание вліяние температурной разности, выражается формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \frac{1}{Q_3} + \frac{1}{Q_4} + \frac{e_4}{\lambda_4} + \frac{1}{Q_2}} \cdot \cdot \cdot \cdot (a)$$

Гдв по прежнему:

$$Q_{1} = \kappa_{1}' + \kappa_{2}' = 4.00 + 3.80 = 7.80; \frac{1}{Q_{1}} = \frac{1}{7.80} = 0,128;$$

$$Q_{2} = \kappa_{1}'' + \kappa_{2}'' = 6.00 + 3.60 = 9.60; \frac{1}{Q_{2}} = \frac{1}{9,60} = 0,104;$$

$$\frac{e_{1}}{\lambda_{1}} = \frac{0.0001}{0.034} = 0,003;$$

$$\frac{e_{2}}{\lambda_{2}} = \frac{0.01}{0,69} = 0,015;$$

$$\frac{e_{3}}{\lambda_{3}} = \frac{0.25}{0.69} = 0,362;$$

$$\frac{e_{4}}{\lambda_{4}} = \frac{0.25}{0.69} = 0,362;$$

Что касается значенія  $Q_8$  и  $Q_4$  для поверхностей, обращенных въ прослоекъ, то для нихъ слѣдуетъ положить  $k_1^{\,\,{\rm III}}=k_1^{\,\,{\rm IV}}=$  5-ти и тогда:

$$Q_{3} = Q_{4} = k_{1}^{III} + 2k_{2}^{III} = k_{1}^{IV} + 2k_{2}^{IV} = 5 + 3 \cdot 60 \times 2 = 12.20;$$

$$\frac{1}{Q_{3}} + \frac{1}{Q_{4}} = \frac{1}{12.20} = 0,164;$$

При этихъ данныхъ приближенное значение для К равно:

$$K = \frac{1}{0,128 + 0,003 + 0,015 + 0,362 + 0,164 + 0,362 + 0,104} = \frac{1}{0,138} = 0,878 \text{ Cal/mtr}^2$$
 въ часъ.

Далѣе, такъ какъ разность т ръ  $T_1-t_0=20^{\circ}C-(-20^{\circ}C)=40^{\circ}C$ ., то, согласно предыдущаго, слѣдуетъ положить разности т-ръ  $(T_1-T)$ и  $(t-t_0)$  равными  $5^{\circ}C$ ., т.-е.  $T_1-T=t-t_0=5^{\circ}C$ . При этомъ условіи значенія  $Q_1$  и  $Q_2$ , исправленныя по формулѣ Пекле, будутъ равны (какъ въ предыдущемъ примѣрѣ)  $Q_1=8,10;\ Q_2=9,93$ . Такъ какъ воздушный прослоекъ лежитъ въ срединѣ стѣны, то можно положить среднюю т-ру воздуха въ немъ равною  $\tau=\frac{t_3+t_4}{2}=0^{\circ}$  с., а т-ры поверхностей  $t_3$  теплоотдающей  $\overline{CC}$  и  $t_4$  тепловоспринимающей  $\overline{DD}$ —первую на  $5^{\circ}$ с. выше нуля, а вторую—на  $5^{\circ}$ с. ниже нуля, т.-е.:  $t_3=+5^{\circ}$ с.;  $t_4=-5^{\circ}$ с.

При этихъ условіяхъ, по формулѣ Пекле находимъ:

$$Q_2 = Q_4 = 5.00 + 2 \times 3.60 + (0.0075 \times 5 + 0.0056 \times 2 \times 3.60) \quad (5^{\circ} - 0^{\circ}) = 12.20 + (0.0779 \times 5) = 12.59.$$

Вводя въ выраженіе (а) исправленныя значенія  $\mathbb{Q}_1$ ,  $\mathbb{Q}_2$ ,  $\mathbb{Q}_3$  и  $\mathbb{Q}_4$ , найдемъ окончательно:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8,10} + 0,003 + 0,015 + 0,362 + \frac{2}{12,59} + 0,362 + \frac{1}{9,93} 0,124} = \frac{1}{0,003 + 0,015 + 0,362 + 0,160 + 0 362 + 0,100} = \frac{1}{1.126} = 0,888 \text{ Cal/mtr}^2$$
 въ часъ.

Изъ приведенныхъ примъровъ видно, что вліяніе температурной разности при толстыхъ стѣнахъ на величину поправки очень мало сравнительно съ случаемъ оконныхъ застекленій.

Въ заключение приводимъ здъсь таблицу общепринятыхъ значений К для стънъ.

Таблица № 17-й. Значеній всеобщихъ коэффиціентовъ для стѣнъ зданій.

Nê Nê	МАТЕРІАЛЪ и КОНСТРУКЦІЯ СТЪНЪ.	Голщина ствив въ metr.	Значеніе К въ Cal/metr <sup>2</sup> въ часъ.
	А. Наружныя.  І. Стъны изъ естественныхъ камней.  Стъны изъ песчаника: при толщинъ безъ штукатурки извнутри.	0,30 0,40 0,50 0.60 0.70 0,80 0,90 1,00	1,40 1,30 1,20
2	Ствны изъ известняка при толщинв безъ штукатурки извнутри.	0,30 0,40 0.50 0,60 0,70 0,80 0,90 1,00	2,20 2,00 1,80 1,70 1,55 1,40
3	II. Наружныя стѣны изъ искусственныхъ матеріаловъ.	0.12 0.25 0.38 0,51 0,64 0,77 0.90 1.03 1,16	1,70 1,30 1,10 0,90 0,80 0,70
4	Стѣны изъ трамбованнаго бетона при толщинѣ:	0,05 0,10 0,15 0,20 0,25 0,30	2,70 2,30 2,00 1.70
5	Стѣны изъ гипсовыхъ плитъ при толщинѣ:	0,03 0,04 0,05 0,06	$\frac{3,40}{3.20}$

<b>N</b> €Nê	МАТЕРІАЛЪ и КОНСТРУКЦІЯ СТЪНЪ.	Толщина ствив въ metr.	Значеніе К въ Cal/metr <sup>2</sup> въ часъ.
6	И: Стѣны смѣшанной конструкціи. Стѣны кирпичныя, облицованныя снаружи песчани- комъ.		
00 1 00 1 08 1 08 1 00 1	а) При толщинѣ каменной облицовки 0,10 mtr. { При толщинѣ кир пиной стъны:	0,12 0,25 0,38 0,51 0,64 0,77 0,90 1,03	1,50 1,20 1,00 0,80 0,70 0,60 0,55
2.50 2.30 2.30 4.80 4.80 11.70	b) При толщинъ каменной облицовки 0,25 mtr.	0,12 0,25 0,38 0,51 0,64 0,77 0,90	1,00 0,90 0,75 0,65 0,60
01 (1 01: 1 20: 1 20: 1 20: 1	с) При толщинъ каменной стъны 0,50 mtr. {	0,12 0,25 0,38 0,50 0,64 0.77	
7 ((1.) ((4.) ((4.) ((4.) ((4.) ((4.) ((4.)	Кирпичныя стёны, облицованныя съ внутренней стороны гипсовыми плитами, толщиною въ 3 ст. При толщинъ кирпичной стёны:	0,12 0,25 0,38 0,51	2,20 1,50 1,20 1,00
8 0A 8 0A 8 0A 8 0A 8 0A 8 0A 8	Кирпичныя стѣны съ внутренней тесовой обшивкой.  а) При толщинѣ общивки 0,06 mtr. {     Толщина кирпичной стѣны.     b) При толщинѣ обшивки 0,015 mtr. {         Толщина кирпичной стѣны.	0,12 0,25 0,38 0.12 0,25 0,38	2,00 1,50 1,10 1,80 1,40 1,00
017 8 014 9 011 44 00 34	Кирпичныя ствны съ воздушными прослойками при толщинв ствны безъ прослойки и штукатурки:	0,24 0,37 0,50 0,63 0,76 0,89 1,02	1,40 1,10 0,90 0,80 0,70 0,60 0,55

NeNe	матеріалъ и конструкція стѣнъ.	Толщина етвиъ въ metr.	Значеніе К въ Cal/metr <sup>2</sup> въ часъ.
10	IV. Деревянныя стѣны.  Стѣны изъ кантованныхъ брусьевъ съ наружной и внутренней обшивкой 1"-мъ тесомъ и съ прокладкой толемъ между наружной обшивкой и брусьями.  При толщинъ брусьевъ въ 0,60 mtr.  { Толщина тесовыхъ обшивокъ.	0,02 0,025 0,030	
	При толщинъ брусьевъ въ 0,15 mtr. $\left\{ egin{array}{ll}  ext{Толщина} &  ext{тесовых}  ext{ъ} \  ext{обшивокъ}. \end{array}  ight.$	0,02 0,025 0,030	0,42
11	Стъны рубленныя изъ бревенъ и проконопаченныя съ объихъ сторонъ безъ обшивки и штукатурки.  При толщинъ бревенъ въ остружкъ.  { 5 вер. = 4 вер. =		
12	Тоже—съ оштукатуркою по войлоку съ внутренней стороны и при толщин $\mathfrak b$ ст $\mathfrak b$ ны безъ штукатурки. $\left\{ egin{array}{ll} 5 & \mathrm{Bep.} = \\ 4 & \mathrm{Bep.} = \\ \end{array} \right.$	0,22 0,18	0,60 0,75
13	Тоже—но съ наружною обшивкою тесомъ $1''$ по брускамъ $2^1/_2'' \times 2^1/_2''$ . При толщинъ бревенъ. $\left\{ \begin{array}{c} 5 \text{ вер.} = \\ 4 \text{ вер.} = \end{array} \right.$	0,22 0,18	0,53 0,60
14	Стѣна, состоящая изъ двухъ досчатыхъ въ 1" толщины стѣнокъ съ оштукатуркою съ обѣихъ внѣшнихъ сторонъ и съ воздушнымъ прослойкомъ толщиною въ 4".	180 s	0,90
15	В. Внутреннія. Кирпичныя стъны при толщинъ безъ штукатурки.	0,12 0,25 0,38 0,51 0,64 0,77	2,20 1,50 1,20 1,00 0,80 0,70

1			
Ne Ne	матеріалъ и КОНСТРУКЦІЯ СТФНЪ.	Голщива ствяъ въ mtr.	Значеніе К въ Col/metr <sup>2</sup> въ часъ.
16	Алебастровыя перегородки съ желвзнымъ каркасомъ при толщинв.	0,04 0,06 0,08 0,10	2,50
17 17	Перегородки изъ гипсовыхъ плитъ при толщинъ:	0,03 0,04 0,05 0,06 0,07 0,08 0,09 0,10	3,01 2,90 2,80 2,64 2,53 2,42
18	Перегородки изъ пробковыхъ плитъ или кирпичей при толщинъ слоя:	0,12 0,25 0,38	0,92
19	Деревянныя ствны безъ штукатурки при толщинв:	0,010 0,015 0,020 0,025	2,40 $2,10$
20	Тоже—но съ оштукатуркою съ объихъ сторонъ при толщинъ одной деревянной стънки:	0,020 0,025 0,030 0,040	1,20 1,15
21	Обшивныя перегородки изъ 2"-хъ досокъ съ промежуткомъ въ 6" и съ заполненіемъ его древесною золою, угольнымъ порошкомъ.	_	0,28 0,29

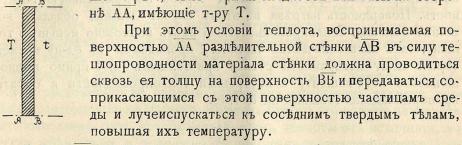
# ГЛАВА ІІІ.

# Элементарная теорія поверхности нагръва.

#### 1. Понятіе о поверхности нагрѣва.

Представимъ себъ стънку  $\overline{AB}$  (черт. № 34), по одну сторону которой, напримъръ  $\overline{AA}$ , находятся горячія жидкости, пары или газы, а

по другую BB жидкость или газъ при значительно низшей т-рѣ t, чѣмъ горячія жидкости или газы на сторонѣ AA, имѣющіе т-ру Т.



Стънка АВ можетъ имъть двоякое назначеніе:

а) Она можетъ быть устроена съ цѣлью воспрепятствовать передачѣ теплоты изъ среды высокой т-ры по одну ея сторону въ среду низшей т-ры—по другую.

При устройствъ стънки подобнаго назначенія должны быть приняты мъры къ пониженію способности ея проводить теплоту путемъ устройства воздушныхъ прослойковъ, введенія въ толіцу стънки слоевъ дурно проводящихъ теплоту матеріаловъ какъ пробковыя плиты, засыпка шлаками, кизельгуромъ, золою и проч. Такая раздълительная стънка получаетъ названіе изолирующей.

Кромъ мъръ, принимаемыхъ въ цъляхъ уменьшенія теплопроводности, часто при устройствъ изолирующихъ стънокъ принимаются мъры и къ отведенію избытка теплоты, сообщая верхнюю и нижнюю часть вертикальнаго воздушнаго прослойка съ наружною атмосферою двумя отверстіями. Непрерывный потокъ притекающаго снизу холоднаго воздуха при этомъ во время своего теченія вверхъ по прослойку нагръвается и, выходя черезъ верхнее отверстіе, уноситъ часть избыточной теплоты.

Случаи подобныхъ конструкцій разсматриваются въ главъ объ устройствъ дымовыхъ трубъ во II-мъ отдълъ.

b) Въ томъ случаъ, когда назначеніемъ раздълительной стънки является лишь предупредить непосредственное соприкосновеніе или смъшеніе частиць, отдающей теплоту среды высокой т-ры съ частицами неоднородной съ первой среды назначенной воспринимать теплоту и имъющей низшую т-ру, при чемъ требуется, елико возможно,

облегчить передачу геплоты черезъ толщу такой стѣнки изъ одной среды въ другую, то такая стѣнка получаетъ названіе назрывательной поверхности.

### 2. Виды нагрѣвательныхъ поверхностей.

Въ зависимости отъ свойствъ нагрѣвающей среды нагрѣвательныя поверхности раздѣляются на нѣсколько категорій:

а) Нагрѣвающая среда по одну сторону раздѣлительной стѣнки съ постояннымъ источникомъ теплоты непрерывно поддерживается при нѣкоторой постоянной т-рѣ Т; нагрѣваемая среда по другую сторону стѣнки для поддержанія въ ней постоянной т-ры t нуждается въ непрерывномъ притокъ теплоты черезъ нагрѣвательную поверхность. Поверхность нагрѣва въ этомъ случаѣ должна обладать возможно большей теплопроводностью и имѣть возможно меньшую толщину, такъ какъ количество теплоты ξ проводимой въ ед-цу времени черезъ ед-цу поверхности стѣнки при толщинѣ ея в прямо пропорціонально коэффиціенту х внутренней теплопроводности и обратно пропорціонально толщинѣ ея в, т.-е.:

$$\xi = \frac{\lambda}{\delta}$$
.

Наибольшимъ  $\lambda$  обладаютъ металлы: желѣзо, чугунъ, мѣдь; поэтому въ разсматриваемомъ случаѣ предпочтение должно быть отдано металлической поверхности, тѣмъ болѣе, что и толщина ея можетъ быть сдѣлана очень малою. Благодаря высокой теплопроводности металлической стѣнки она очень быстро проводитъ и теряетъ теплоту. не задерживая ее въ своей толшѣ, поэтому, для поддержанія непрерывности процесса необходимо, чтобы нагрѣвающая среда непрерывно же доставляла теплоту обращенной къ ней поверхности металлической стѣнки, т.-е. поддерживалась бы во все время процесса при постоянной т-рѣ Т.

Подъ указанныя условія въ точности подходить случай нагрѣванія помѣщеній металлическими печами. Внѣшняя поверхность такой печи способна доставлять теплоту только до тѣхъ поръ, пока продолжается процессъ топленія, т.-е. пока по другую внутреннюю сторону металлической печной стѣнки непрерывно образуются горячіе дымовые газы и сообщаютъ теплоту ея внутренней поверхности.

Какъ только нагрѣвающая среда лишается притока теплоты стѣнки печи очень быстро выстываютъ и перестаютъ доставлять теплоту въ помѣщеніе. Подобнаго рода печи получили техническое опредѣленіе печей малой теплоемкости, а ихъ теплопередающіе поверхности поверхностей нагръва малой теплоемкости.

Для поддержанія въ нагръваемой средь постоянной т-ры t печи малой теплоемкости требують непрерывнаго топленія.

b) Въ томъ случаћ, когда нагрѣвающая среда по одну сторону

раздълительной стънки пользуется отъ источника теплоты лишь пе ріодическимъ ея притокомъ, при чемъ т ра этой среды Т является величиной перемѣнной, для поддержанія въ нагрѣваемой средѣ по другую сторону стѣнки постоянной т-ры t поверхность нагрѣва должна удовлетворять уже инымъ условіямъ и обладать другими свойствами.

Въ періодъ сообщенія теплоты отъ источника нагрѣваемой средѣ (въ періодъ натопки) поверхность нагрѣва не должна проводить и отдавать нагрѣваемой средѣ всего количества сообщаемой ей за этотъ періодъ теплоты, а только часть, необходимую для поддержанія въ нагръваемой средъ т-ры t. Избытокъ теплоты долженъ быть поглощент массою матеріала ствики и сохранент вт ней до того момента, съ котораго прекращается доставление теплоты отъ источника. Съ этого момента для поддержанія въ нагрѣваемой средѣ т-ры t необ· ходимо долженъ расходоваться запасъ теплоты, поглощенной массою стънки. Кромъ свойства поглощать и сохранять въ періодъ натопки часть теплоты, стънка въ данномъ случат должна обладать способностью расходовать въ періодъ охлажденія запасенную теплоту возможно равномърнъе во времени. Конечно, строго это условіе не можетъ быть выполнено, разъ прекращенъ притокъ теплоты отъ источника, но всегда желательно и возможно съ помощью соотвътствующихъ конструкцій и выбора соотношенія разміровь получить достаточную для практических в целей равномерность теплоотдачи въ періоде охлажденія.

Поверхность нагръва, удовлетворяющая этимъ условіямъ называется теплоемкой поверхностью нагръва и является главнъйшей составной частью комнатныхъ печей большой теплоемкости.

Такая печь топится въ сутки не болье 6 или 8 часовъ, въ теченіе которыхъ поверхность нагръва получаетъ и передаетъ извъстную часть теплоты для поддержанія въ помъщеніи постоянной т-ры t и еще успъваетъ поглотить и сохранить запасъ теплоты, соотвътствующій расходу ея въ теченіе остальныхъ 18-ти или 16-ти часовъ перерыва между топками. Самая возможность устройства подобныхъ нагръвательныхъ приборовъ основана исключительно на свойствахъ поверхности нагръва большой теплоемкости.

Очевидно, что для удовлетворенія высказаннымъ выше требованіямъ стѣнки теплоемкихъ поверхностей нагрѣва должны устраиваться изъ матеріаловъ дурно проводящяхъ теплоту, какъ глина, кирпичъ, изразцы.

с) Среднее мѣсто между поверхностями малой и большой теплоемкости занимаютъ стѣнки, выполняемыя также изъ матеріаловъ дурно проводящихъ теплоту, но съ гораздо меньшей толщиной, чѣмъ стѣнки печей большой теплоемкости. Благодаря этому передача теплоты черезъ такія стѣнки совершается быстрѣе, а количество аккумулируемой теплоты въ зависимости отъ меньшей массы матеріала также меньше и бываетъ достаточно на гораздо меньшее число часовъ перерыва между топками. Въ предупрежденіе растрескиванія такихъ сравнительно тонкихъ стѣнокъ, онъ складываются изъ кирпича въ жельзныхъ футлярахъ.

Это весьма извъстный тицъ обыкновенно цилиндрическихъ уттермарковскихъ печей, называемыхъ печами средней теплоемкости.

# 3. Особенности условій передачи теплоты черезъ нагрѣвательныя поверхности.

Во всъхъ случаяхъ передачи теплоты, разсмотрънныхъ въ главъ  $\Pi$  т-ра  $T_1$  среды отдающей теплоту и т-ра  $t_0$  среды ее воспринимающей на протяжении объихъ поверхностей раздълительной стънки предполагались величинами постоянными.

Подобное теоретическое допущеніе было почти справедливо по отношенію къ условіямъ охлажденія черезъ поверхности внѣшнихъ огражденій зданій, т.-е оконъ, стѣнъ, половъ и потолковъ, такъ какъ въ замкнутомъ пространствѣ этихъ помѣщеній комнатный воздухъ у пола имѣетъ, обыкновенно, т-ру на одинъ или два градуса низшую, чѣмъ у потолка; у наружной стѣны или у окна т-ра воздуха также немногимъ ниже, чѣмъ у противоположной внутренней стѣны; на этомъ основаніи и было возможно принимать  $T_1 = \text{Const.}$  Точно также и т-ра внѣшней среды—наружнаго воздуха—въ предѣлахъ его соприкосновенія съ внѣшними поверхностями стѣнъ, оконъ и прочихъ огражденій могла быть принимаема за величину постоянную равную:  $t_0 = \text{Const.}$ 

Легко видъть, что подобное предположение по отношению къ поверхностямъ нагръва вообще не допустимо.

При незначительныхъ колебаніяхъ т-ръ  $T_1$  и  $t_0$  срединъ, отдающей и воспринимающей теплоту въ различныхъ точкахъ ихъ соприкосновенія съ нагрѣвательной поверхностью (напримѣръ до  $5^{\circ}$  C.), еще возможно довольствоваться средними ариометическими двухъ значеній т-ръ, т-е. принимать за постоянныя т-ры:  $\frac{T_1'+T_1''}{2}$  и  $\frac{t_0'+t_0''}{2}$ , но при

тъхъ значительныхъ измъненіяхъ этихъ т ръ, съ которыми приходится имъть дъло при изученіи условій теплопередачи черезъ поверхности нагръва подобный пріемъ даетъ результаты ръзко отклоняющіеся отъ дъйствительности.

Поэтому, при значительныхъ измѣненіяхъ т-ръ приходится устанавливать болѣе сложныя зависимости между величинами поверхностей, температурами обмѣнивающихся теплотою срединъ и количествомъ передаваемой теплоты.

Въ самомъ общемъ видѣ предстоящая намъ задача можетъ быть, формулирована слѣдующимъ образомъ:

По одчу сторону раздълительной стънки, назначенной воспринимать проводить и отдавать теплоту, находятся горячіе: жидкость, пары или газг, при чемъ температуры этой среды для различных точекъ поверхности стънки не одинаковы, а измъненія этой т-ры подчинены извъстнымъ частнымъ условіямъ.

Точно также, по другую сторону стънки находится среда воспринимающая теплоту передаваемую стънкою (жидкость, пары, газы, въ частности воздухъ) т-ра которой для различныхъ точекъ поверхности стънки также неодинакова, а измъненія ея для различныхъ точекъ подчинены нъкоторому закону.

Среда отдающая теплоту и среда ее воспринимающая могуть одновременно находиться въ покоѣ или движеніи, характеръ котораго опредѣляется частными условіями. Одна изъ срединъ можетъ пребывать въ покоѣ, другая же—въ движеніи и наоборотъ.

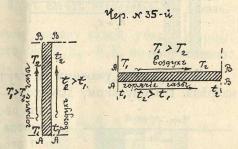
Нисколько не съужая размъра общаго понятія въ дальнъйшемъ подъ средою отдающей теплоту будемъ подразумъвать *порячіе дымовые газы*, а за среду воспринимающую теплоту будемъ принимать воздухъ.

Возможныя комбинаціи можно представить въ видѣ слѣдующихъ частныхъ задачъ:

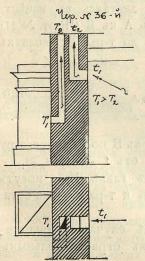
1) Горячіе газы и нагрѣваемый воздухъ по обѣ стороны стѣнки AB движутся въ одномъ какомъ нибудь направленіи (вверхъ, внизъ, горизонтально и проч.) при чемъ т-ра газовъ въ началѣ поверхности стѣнки въ точкѣ A имѣютъ т-ру  $T_1$ , а въ концѣ разсматриваемаго

участка въ точкъ В меньшую т ру  $T_2$ , охлаждаясь при переходъ отъ A къ B на величину  $T_1$ — $T_2$ 

Нагрѣваемый воздухъ имѣющій въ A т-ру  $t_1$  къ концу передвиженія вдоль поверхности tъ точкѣ B имѣетъ высшую т-ру  $t_1$  ( $t_2 > t_1$ ) нагрѣваясь на величиу  $t_2 - t_1$ 



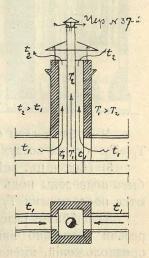
Въ этомъ случав раздвлительная ствнка носитъ названіе: *поверхности нагрива съ параллельными токами*. (Черт. № 35).



Техника располагаетъ многими примърами подобныхъ условій теплопередачи. Приводимъ здѣсь три типичныхъ примъра:

а) Вытяжной вентиляціонный каналь подогрѣвается теплотою печныхъ дымовыхъ газовъ, протекающихъ по сосѣднему дымоходу, отдѣленному отъ него раздплкою. (Черт. № 36).

b). Въ сборной вытяжной шахтъ на чердакъ извлекаемый воздухъ по-

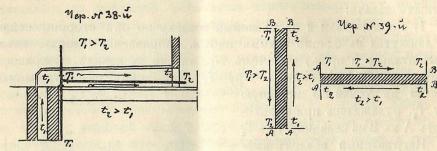


догрѣвается теплоотдачею внѣшней поверхности желѣзной дымовой трубы отъ котла или очага (черт. № 37).

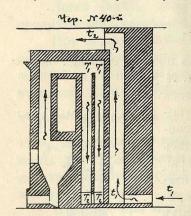
- с) Въ сборномъ чердачномъ боровѣ вытяжной вентиляціи проложена магистральная труба водяного или парового отопленія; паръ или вода могутъ имѣть движеніе совпадающее съ направленіемъ движенія вентиляціоннаго воздуха. (Черт. № 38).
- 2) Движеніе горячихъ газовъ отдающихъ теплоту съ начальною т-рою  $T_1$  и конечною  $T_2$  совершается въ направленіи противоположномъ направленію движенія воздуха, имѣющаго начальную т-ру  $t_1$  и конечную послѣ нагрѣванія  $t_2$ .

$$T_1 > T_2 \text{ in } t_2 > t_1.$$

Въ этомъ случав имвемъ поверхность нагръва съ противотоками. (Черт. 39).



Для примъра укажемъ на случай печной камерной поверхности нагръва. По опускному дымоходу—колодцу типа Свіязева — Лукаше-



вича сверху внизъ движутся дымовые газы, отдавая теплоту и охлаждаясь, а съ внѣшней стороны въ камерномъ пространствѣ снизу вверхъ протекаетъ подогрѣваемый холодный воздухъ. (Черт. № 40).

3) Горячіе газы двигаясь въ извѣстномъ направленіи отъ А къ В (Черт. № 41) охлаждаются отъ  $T_1$  до т-ры  $T_2$ ; воздухъ остается въ покоѣ, при чемъ т-ра его на всемъ протяженіи АВ стѣнки остается постоянной  $t_1 = t_2$ .

4) Горячіе газы сохраняють на пути оть A къ B постоянную тру  $T_1 = T_2$ , а т-ра воздуха измѣняется увеличиваясь оть  $t_1$  до  $t_2$ .  $t_2 > t_1$ .

5) Наконецъ, всѣ случаи, разсмотрѣнные въ главѣ II-й, могутъ быть подведены подъ случай, когда и т-ра газовъ и т-ра воздуха остаются постоянными  $T_1 = T_2$  и  $t_1 = t_2$ .

Дальнъйшее разсмотръніе первыхъ четырехъ случаевъ теплопе редачи возможно лишь при наличіи нъкоторыхъ ограничительныхъ предположеній, именно:

а) Изслѣдованіе можетъ касаться только періода инерціи, т.-еустановившагося дѣйствія, при которомъ для всякой точки поверхности, разъ установившись, остаются уже неизмѣнными т-ры газовъ и воздуха, количества протекающихъ газовъ и воздуха и не мѣняются физическія свойства матеріаловъ поверхности.

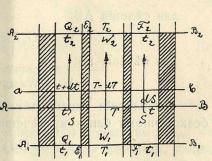
- b) Толщина, форма и состояніе поверхности во всѣхъ точкахъ разсматриваемаго ея участка одинаковы и не измѣнимы во времени.
- с) Для всѣхъ точекъ раздѣлительной стѣнки значенія всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи съ теченіемъ времени не мѣняются не зависятъ отъ скоростей и температурныхъ разностей.
- d) Вся теплота отдаваемая горячими газами при охлажденіи отъ т-ры  $T_1$  до т-ры  $T_2$  цѣликомъ расходуется на нагрѣваніе воздуха отъ т-ры  $t_1$  до т-ры  $t_2$  и не расходуется никакимъ другимъ способомъ.

Такъ какъ въ практикъ печного отопленія приходится имъть дъло почти исключительно съ 1-мъ, 2 мъ и 5-мъ случаями состоянія горячихъ газовъ и воздуха, то, исключая уже разсмотрънный 5-й случай во главъ ІІ-й, приступимъ къ разсмотрънію условій теплопередачи въ случаяхъ въ 1-мъ и 2 мъ.

## 4) Выражение для поверхности нагръва S, въ случат параллельныхъ токовъ.

Положимъ, что по вертикальному каналу какой угодно формы (черт.  $\mathbb{N}_2$  42) внутри матеріальныхъ стѣнокъ  $E_1E_2$ — $F_1F_2$  по направленію

стрѣлки движутся вверхъ горячіе дымовые газы, имѣющіе въ началѣ разсматриваемаго участка въ сѣченіи  $E_1F_1$  т-ру  $T_1$ , а въ пространствѣ окружающемъ каналъ  $E_1E_2 - F_1F_2$  и ограниченномъ абсолютно нетеплопроводными стѣнками  $A_1A_2 - B_1B_2$  въ томъ же, что и газы, направленіи движется воздухъ, имѣющій въ начальномъ сѣ-ченіи  $A_1B_1$  участка канала нѣкоторую т-ру  $t_1$ ; стѣнки канала или трубы  $E_1E_2 - F_1F_2$  способныя воспринимать



Nep. N 42- i

отъ горячихъ газовъ, проводить и отдавать теплоту попутно движущемуся нагръваемому воздуху—являются, поэтому, нагръвательной поверхностью съ параллельными токами.

Положимъ, что въ періодъ установившагося дѣйствія черезъ каждое поперечное сѣченіе канала  $E_1F_1$ — $E_2F_2$  взятое между параллельными горизонтальными сѣченіями  $E_1F_1$  и  $E_2F_2$  въ ед-щу времени протекаетъ всегда одно и тоже вѣсовое количество G klgr. горячихъ дымовыхъ газовъ, имѣющихъ среднюю теплоемкость с=const., а вдоль внѣшней поверхности этого канала за то же время протекаетъ также всегда одно и то же вѣсовое количество воздуха P klgr, имѣющагося въ начальномъ сѣченіи какъ уже сказано T-ру  $t_1$ , а въ конечномъ сѣченіи  $A_2B_2$  нѣкоторую большую T-ру  $t_2$ ; обозначимъ теплоемкость этого воздуха черезъ  $t_1$ ; конечную  $t_2$ ; обозначимъ теплоемкость этого воздуха черезъ  $t_2$ ; конечную  $t_1$ 0 охлаждающихся

дымовыхъ газовъ въ сѣченіи  $E_2F_2$  обозначаемъ черезъ  $T_2$ , слѣдовательно  $T_2 < T_1$  пусть, кромѣ того  $W_1$  и  $W_2$  обозначаютъ запасы теплоты имѣющіеся въ дымовыхъ газахъ въ сѣченіяхъ  $E_1F_1$  и  $E_2F_2$ , соотвѣтственно, причемъ  $W_1 > W_2$ ;

Произвольно взятымъ горизонтальнымъ съченіемъ AB выдълимъ изъ полной поверхности нагръва часть равную S  $mtr^2$ , считая отъ начальнаго съченія  $E_1F_1$ . и обозначимъ для этого съченія t-ру горячихъ газовъ черезъ t, t-ру воздуха черезъ t запасъ теплоты въ газахъ

черезъ W, а въ воздухъ черезъ Q.

Для всякаго слѣдующаго за AB сѣченія аb взятаго между AB и  $A_9B_9$  т-ра горячихъ газовъ и запасъ теплоты въ нихъ должны быть меньше, чѣмъ въ сѣченіи AB, а для воздуха эти же величины должны быть больше, поэтому, взявъ сѣченіе ab въ разстояніи безконечно близкомъ отъ AB со стороны  $A_2B_9$ , такъ чтобы увеличеніе поверхности соотвѣтствующее поясу между AB и ab было безконечно мало, обозначимъ его черезъ dS; безконечно малое пониженіе т-ры горячихъ газовъ сривнительно съ т-рою T въ сѣченіи AB при переходѣ къ сѣченію ab и соотвѣтствующее увеличеніе поверхности на dS, обозначимъ черезъ—dT, а уменьшеніе запаса теплоты въ газахъ черезъ—dW; для того же сѣченія ab безконечно малое повышеніе т-ры воздуха обозначаемъ черєзт—dt, а возрастаніе запаса теплоты терезъ—dQ.

При этихъ обозначеніяхъ для запасовъ теплоты въ дымовыхъ газахъ въ съченіяхъ АВ и аb можемъ составить выраженія:

для съченія АВ:

$$W=c.G.T$$
 calor. . . . . . . . . . . . . . . . . (1)

для съченія аb:

уменьшеніе запаса теплоты при переходъ отъ съченія AB къ безконечному близкому съченію ab., очевидно, равно:

$$dW=c.GdT$$
 calor. . . . . . . . . . . . . . . . (3)

для запасовъ теплоты въ воздухф, точно также:

для съченія АВ:

для съченія ав:

$$Q+dQ=c_1P[t+dt]$$
. cal. . . . . . . . . (5)

приростъ запаса теплоты:

$$dQ=c_1$$
 P.dt cal. . . . . . . . . . . . . . . (6)

Уменьшеніе запаса теплоты въ дымовыхъ газахъ должно быть равно приросту запаса въ воздухѣ, поэтому:

$$-dW=dQ$$

или:

Количество теплоты, передаваемое въ ед-цу времени участкомъ dS нагръвательной поверхности отъ газовъ воздуху, какъ извъстно, пропорціонально величинъ поверхности dS, разности т-ръ обоихъ потоковъ (T-t), которая при безконечно маломъ dS можетъ быть принимаема за постоянную при переходъ отъ m къ S-dS, и всеобщему коэффиціенту теплопередачи К. Последняя величина, какъ уже выяснено въ главъ II-й, зависить отъ формы, положенія, рода и состоянія поверхности, отъ физической природы потоковъ обмѣнивающихся теплотою, отъ скоростей ихъ движения и, наконецъ, отъ разности ихъ т-ръ. Столь сложная зависимость К, отъ перемънныхъ величинъ входящихъ въ наши разсужденія, заставляетъ сдѣлать два произвольныхъ но неизбъжныхъ допущенія: именно: К не зависить отъ скоростей и разностей т-ръ и поэтому вводится въ ур-нія какъ постоянная величина K=Const; въ дальнъйшемъ же можетъ быть введена нъкоторая поправка къ величинъ К, взятой изъ таблицъ; при этомъ условіи, количество теплоты передаваемое въ ед-цу времени участкомъ поверхности dS отъ газовъ воздуху можетъ быть выражено въ формѣ:

$$N=K[T-t]$$
 dS cal. . . . . . . . . . . . . . . . (8)

Этому количеству, очевидно, соотвътствуетъ убыль запаса теплоты въ газахъ —  $\mathrm{d}W$ , слъдовательно, необходимо существуетъ равенство:

или (по ур-нію 7-му).

$$-dW = -cGdT = K[T-t] dS \dots \dots (10)$$

рвшая ур. ніе (10) относительно dS, получаемь:

$$dS = -\frac{dW}{K[T \cdot t]} = -\frac{cG}{K} \cdot \frac{dT}{[T \cdot t]} \cdot \dots \cdot (11)$$

Дифференціальное ур-ніе (11) содержить три перемѣнныя: S, T и t; для интегрированія его необходимо исключить одну изъ нихъ, напримѣръ t, выразивъ его черезъ T; для этого воспользуемся ур-ніемъ (7-мъ):

$$-dW = -cG dT = c_1 Pdt,$$

проинтегрировавъ его въ предълахъ отъ  $W_1$  до W, отъ  $T_1$  до T и отъ  $t_0$  до t, t. е. между съченіями  $A_1B_1$  и AB, найдемъ послъдовательно,

$$-\int_{w_1}^{W} dW = -cG \int_{T_1}^{T} dT = c_1 P \int_{t_1}^{t} dt$$
 или:
$$-[W]_{w_1}^{W} = -cG [T]_{T_1}^{T} = c_1 P[t]_{t_1}^{t}$$
 откуда:
$$-[W-W_1] = -cG [T-T_1] = c_1 P[t-t_1] \dots (12)$$

рвшая ур-ніе (12) относительно t, находимъ:

$$t = \left(t_1 + \frac{cG.}{c_1P}T_1\right) - \frac{cG.}{c_1P}T.\dots$$
 (13)

Подставляя значеніе t изъ ур-нія (13) въ ур-ніе (11), имѣемъ:

$$dS = -\frac{cG}{K} \cdot \frac{dT}{T\left(1 + \frac{cG}{c_1P}\right) - \left(t_1 + \frac{cG}{c_1P}T_1\right)} \cdot \dots \cdot (14)$$

умножаемъ и дѣлимъ вторую часть ур-нія (14) на  $\left(1+\frac{cG}{c_1P}\right)$  и получаемъ:

$$dS = -\frac{cG.}{K\left(1 + \frac{cG.}{c_1P}\right)} \cdot T\left(1 + \frac{cG.}{c_1P}\right) - \left(t_1 + \frac{cG.}{c_1P}T_1\right) \cdot \cdot \cdot \cdot (15)$$

выполнивъ дѣленіе въ первомъ множителѣ правой части ур-нія (15), представляемъ его въ окончательной формѣ и интегрируемъ въ предѣлахъ отъ S = o до  $S = S_1$  и отъ  $T = T_1$  до  $T = T_2$ , т. е. между сѣченіями  $A_1B_1$  и  $A_2B_2$  что доставляетъ:

$$\int_{s=0}^{s=s_{1}} dS = -\frac{1}{K\left(\frac{1}{cG} + \frac{1}{c_{1}P}\right)} \cdot \int_{T=T_{1}}^{T=T_{2}} dT\left(1 + \frac{cG.}{c_{1}P}\right) \dots (16)$$

откуда, по правиламъ интегрированія для даннаго рода интеграловъ:

$$S_{1} = [S] \stackrel{s=s_{1}}{=} \frac{1}{K \left( \frac{1}{cG} + \frac{1}{c_{1}P} \right)} \cdot \lg nat \frac{T_{2} \left( 1 + \frac{cG.}{c_{1}P} \right) - \left( t_{1} + \frac{cG.}{c_{1}P} T_{1} \right)}{T_{1} \left( 1 + \frac{cG.}{c_{1}P} \right) - \left( t_{1} + \frac{cG.}{c_{1}P} T_{1} \right)} ...(17)$$

ур-ніе (17) можеть быть преобразовано и упрощено: для этого снова обратимся къ ур-нію (7) и проинтегрируемъ его въ предълахъ отъ  $A_1B_1$  до  $A_2B_2$ , иначе говоря въ предълахъ отъ  $W_1$  до  $W_2$ ; отъ  $T_1$  до  $T_2$  и отъ  $t_1$  до  $t_2$ :

Не производя дъйствій, а лишь замъняя въ ур-ніи (12-мъ)  $W_1$  T и t черезъ  $W_2$ ,  $T_2$  и  $t_2$ , получаемъ:

$$W_1-W_2=cG\ [T_1-T_2]=c_1P\ [t_2-t_1]$$
 . . . . . (18) ур•ніе (18) доставляєть рядь выраженій:

$$\begin{split} \frac{1}{cG} &= \frac{T_1 - T_2}{W_1 - W_2} \; ; \; \frac{1}{c_1 P} = \frac{t_2 - t_1}{W_1 - W_2} ; \\ \frac{1}{K \left( \frac{1}{cG} + \frac{1}{c_1 P} \right)} &= \frac{W_1 - W_2}{K \left[ T_1 - T_2 + t_2 - t_1 \right]} ; \\ 1 + \frac{cG}{c_1 P} &= 1 + \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} = \frac{T_1 - T_2 + t_2 - t_1}{T_1 - T_2} ; \\ t_1 + \frac{cG}{c_1 P} \; T_1 &= t_1 + \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} . \; \; T_1 = \frac{T_1 \cdot t_2 - T_2 t_1}{T_1 - T_2} ; \end{split}$$

Подставляя въ ур-ніе (17) вмѣсто множителей при  $T_1$  и  $T_2$  ихъ новыя выраженія и мѣняя знакъ (—) на (+) во второй части находимъ:

по раскрытіи скобокъ и послѣ сокращенія, получаемъ окончательно:

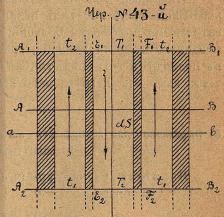
$$S_{1} = \frac{W_{1} - W_{2}}{K[T_{1} - T_{2} + t_{2} - t_{1}]} \lg_{\text{nat}} \frac{T_{1} - t_{1}}{T_{2} - t_{2}} \dots \dots \dots (20)$$

Переходя отъ натуральныхъ логариомовъ къ обыкновеннымъ, имъемъ:

$$S_{1} = \frac{W_{1} - W_{2}}{K[T_{1} - T_{2} + t_{2} - t_{1}]} \cdot 2,3026 \lg \frac{T_{1} - t_{1}}{T_{2} - t_{2}} \cdot \ldots (21)$$

# 5) Выраженіе для поверхности нагръва въ случат противотоковъ.

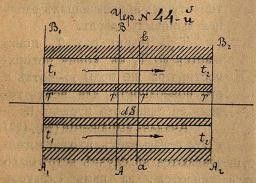
Пользуясь обозначеніями черт. № 43 и замѣчая, что въ случаѣ противотоковъ въ формулахъ (20) и (21) t<sub>1</sub> и t<sub>2</sub> мѣняются мѣстами и мѣняется знакъ (+) передъ dt на (-) можемъ, не производя выкладокъ, написать для поверхности нагрѣва S<sub>2</sub> окончательныя выраженія, аналогичныя (20) и (21) именно:



$$S_2 = \frac{W_1 - W_2}{K [T_1 - T_2 - t_2 + t_1]} \lg_{nat} \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} . . . . . . . . . . . . (22)$$

а при обыкновенныхъ логариомахъ:

$$S_2 = \frac{W_1 - W_2}{K [T_1 - T_2 - t_2 + t_1]} 2,3026 \lg \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}, \dots (23)$$



6) Выраженіе для поверхности нагрѣва въ случаѣ неподвижности среды, отдающей теплоту. (Черт. 44).

Если въ средъ, отдающей теплоту, не замъчается теченія въ обычномъ смыслъ слова, а наблюдается лишь перемъщеніе болье или менье нагрътыхъ частицъ (циркуляція) тогда въ любомъ съченіи АВ, со-

отвѣтствующемъ участку поверхности S, равно и въ безконечно къ нему близкомъ сѣченіи ab, соотвѣтствующемъ поверхности S+dS

среднія т-ры среды отдающей теплоту, одинаковы и равны T; таковы же должны быть т-ры и во всѣхъ прочихъ точкахъ и сѣченіяхъ отъ начальнаго  $A_1B_1$  до конечнаго  $A_2B_2$ 

$$T_1 - T_1 = T_2 = T_1$$
;  $T_1 - T_2 = 0$ .

При этихъ условіяхъ ур-ніе (20) доставляетъ;

а при обыкновенныхъ логариемахъ:

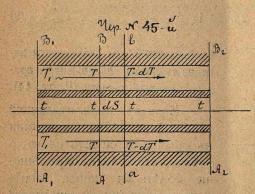
$$S_3 = \frac{W_1 - W_2}{K(t_2 - t_1)} 2,3026 \lg \frac{T - t_1}{T - t_2} \dots \dots (25)$$

Подобныя условія осуществляются при нагрѣваніи воздуха въ вентиляціонныхъ камерахъ цилиндрическими горизонгальными нагрѣвательными приборами большой теплоемкости. Для каждаго разсматриваемаго момента времени, говоря теоретически, средняя т-ра воды въ цилиндрѣ и т-ра всѣхъ точекъ его поверхности одинаковы и равны T, тогда какъ T-ра нагрѣваемаго воздуха мѣняется отъ  $t_1$  до  $t_2$ .

# 6) Выраженіе для поверхности нагрѣва $S_{\iota}$ съ неподвижной средой, воспринимающей теплоту. (Черт. 45).

Въ этомъ случаћ ур-ніе (20) доставляеть: при  $t={\rm const}$  и при  $t_1=t_2=t={\rm const}$   $t_2-t_1=0$ ;

$$S_{4} = \frac{W_{1} - W_{2}}{K[T_{1} - T_{2}]} \lg_{\text{nat}} \frac{T_{1} - t}{T_{2} - t} \dots \dots (26)$$



Это есть случай котельной поверхности, воспринимающей теплоту отъ протекающихъ вдоль нея дымовыхъ газовъ.

T-ра газовъ отъ  $T_1$  понижается до  $T_2$  къ концу поверхности, т-ра же воды въ котлѣ и его поверхности для всѣхъ точекъ ея одинакова и равна t.

Анализъ выраженій (20), (22) и (26) показываетъ, что наивыгод-

нъйшія условія теплопередачи осуществляются въ случать встръчнаго теченія потоковъ, обмънивающихся теплотою, за нимъ слъдуетъ случай параллельнаго теченія и самымъ невыгоднымъ является случай котельной поверхности.

7) Способъ приближеннаго вычисленія всеобщаго коэффиціента теплопередачи К<sub>ср</sub> въ случать перемітных т-ръ срединъ, обмітнивающихся теплотою и при значительных разностях т-ръ по обіт стороны раздітлительной стітнки.

Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда по одну сторону нагрѣвательной поверхности движутся горячіе дымовые газы, а по другую находится воздухъ, воспринимающій теплоту, намъ приходится имѣть дѣло съ очень значительными т-рами дымовыхъ газовъ, а слѣдовательно и съ столь значительными температурными разностями, при которыхъ формулы Ньютона, Дюлонга и Пекле перестаютъ давать результаты годные для техническихъ вычисленій.

За отсутствіемъ какихъ-нибудь другихъ, хотя бы относительно точныхъ способовъ, приходится до сихъ поръ довольствоваться приближеннымъ способомъ вычисленія К, основаннымъ на слъдующемъ разсужденіи, примъненномъ нами къ случаю противотоковъ.

Горячіе дымовые газы съ начальной т-рой  $T_i$  движутся сверху внизъ; длину пути проходимаго газами въ нисходящемъ движеніи въ предълахъ высоты нагръвательной поверхности обозначимъ черезъ h.

Пусть въ концѣ этого пути, покидая поверхность нагрѣва, газы имѣютъ нѣкоторую значительно низшую т-ру  $T_2$ .

Навстръчу нисходящему потоку дымовыхъ газовъ снизу вверхъ движется нагръваемый воздухъ въ руслъ огражденномъ матеріальными абсолютно не теплопроводными стънками.

Внизу въ началѣ соприкосновенія съ нагрѣвательной поверхностью начальная т-ра воздуха пусть будетъ  $t_1$ , а послѣ прохожденія пути h при отходѣ отъ нагрѣвательной поверхности пусть т-ра воздуха равна высшей т-рѣ  $t_2$ .

Положимъ, что стѣнка однородна и состоитъ только изъ одного слоя толщины е; коэффиціентъ внутренней теплопроводности матеріала стѣнки обозначимъ черезъ  $\lambda$ :

Не принимая пока во вниманіе вліяніе большой температурной разности, можемъ написать для К общее выраженіе въ случав простой вертикальной ствнки въ формв:

$$K_{1} = \frac{1}{\frac{1}{Q_{1}} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_{2}}} \dots \dots \dots \dots (1)$$

Такъ какъ въ силу большой т—рной разности нельзя воспользоваться для выраженія коэффиціентовъ  $Q_1$  и  $Q_2$  ни формулой Ньютона, ни формулой Пекле и такъ какъ въ числъ данныхъ имъется высота h и задана форма и родъ поверхности, то можемъ воспользоваться данною въ главъ I-й формулою Дюлонга въ русскихъ мърахъ.

Воспріятіе теплоты поверхностью  $\overline{AA}$  и отдачи ея поверхностью  $\overline{BB}$  въ данныхъ условіяхъ совершаются только путемъ соприкосновенія; поэтому, обозначивъ черезъ  $k_1''$  и  $k_1'''$  коэффиціенты воспрія-

тія и отдачи теплоты соприкосновеніемъ съ вертикальной плоскостью высоты h, имѣемъ:  $Q_1 = k_1'; \ Q_2 = k_1'';$  такъ какъ обѣ поверхности стѣнки имѣютъ одинаковую высоту h и обѣ суть вертикальныя плоскости то, по смыслу коэффиціентовъ въ таблицахъ Дюлонга; надо положить

$$k_{\mathbf{i}}{'}\!=\!k_{\mathbf{i}}{''}\!=\!Q_{\mathbf{i}}\!=\!Q_{\mathbf{2}}\ldots\ldots\ldots\ldots$$
 (a)

Что доставляетъ для К<sub>1</sub> значеніе:

Далье, для начала поверхности вверху имьемъ т—ру дымовыхъ газовъ  $T_1$  и воздуха  $t_2$ ; обозначимъ для начала же поверхности неизвъстныя намъ пока: т—ру поверхности  $\overline{AA}$ , со стороны дымовыхъ газовъ черезъ T', а поверхности  $\overline{BB}$ —со стороны воздуха черезъ t', и тогда для періода установившагося дъйствія теплопередачи количества теплоты воспринимаемой въ ед—цу времени, ед—цей поверхности  $\overline{AA}$ , проводимой сквозь толщу стънки  $\overline{AB}$  и отдаваемой воздуху ед—цей поверхности  $\overline{BB}$  должны быть равны; обозначивъ ихъ черезъ n, можемъ написать:

зная же всеобщій коэффиціенть  $K_i$  это же количество теплоты п можемъ выразить черезъ:

$$n = K_1[T_1 - t_2] \dots$$
 (e)

Первое изъ ур—ній системы (d) и ур-ніе (e) доставляютъ:

$$Q_1(T_1 - T') = K_1[T_1 - t_2]$$

откуда:

$$T_1 - T' = \frac{K_1[T_1 - t_2]}{Q_1}$$
 . . . . . . . . . . . . . . . (t)

Точно также изъ третьяго ур—нія системы (d) и ур—ніе (f) находимъ:

откуда:

$$t' - t_2 = \frac{K_1[T_1 - t_2]}{Q_2}$$

При  $Q_1 = Q_2$  ур—нія (f) и (k) доставляють:

имъя первыя, приближенныя значенія температурныхъ разностей срединъ и поверхностей

$$T_1 - T' = t' - t_0$$

можемъ воспользоваться ими для опредъленія болье точнаго второго приближеннаго значенія для  $K_2$  дъйствительно:

Принимая во вниманіе вліяніе этихъ разностей на величину основныхъ коэффиціентовъ, мы должны для вертикальной плоскости  $\overline{AA}$  вмѣсто  $Q_1=k_1$ : написать по Дюлонгу:

$$Q_1 = \alpha_1' k_1'$$

гдѣ значеніе  $k_1'$  прежнее, значеніе же коэффиціента  $\alpha'$  должно быть взято по таблицѣ № 5-й въ зависимости отъ величины  $(T_1 - T')$ .

Точно также вмѣсто Q2 слѣдуетъ принимать:

$$Q_2 = \alpha_1'' k_1''$$

гдѣ  $\alpha_1^{"}$  зависитъ отъ разности  $(i'-t_2);$  въ данномъ случаѣ въ силу равенства:

$$T_1-T'=t'-t_2$$
  $lpha_1'=lpha_1'' top k_1'' top k_1'' top k_1'' top k_1''$  поэтому и  $Q_1=Q_2=lpha_1'k_1'$ 

При этихъ данныхъ, новое выраженіе для К<sub>2</sub> имъетъ видъ:

$$K_{2} = \frac{1}{\frac{1}{Q_{1}} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_{2}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1}'k_{1}'} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{1}'k_{1}'}} = \frac{1}{\frac{2}{\alpha_{1}'k_{1}'} + \frac{e}{\lambda}} \dots (2)$$

Повторяя подобныя операціи нѣсколько разъ, найдемъ въ концѣ концовъ два такихъ, слѣдующихъ другъ за другомъ значенія, для  $K_{n-1}$  и  $K_n$ , которыя будутъ разниться одно отъ другого безконечно мало; послѣднее изъ нихъ и слѣдуетъ принять за расчетное.

Путемъ совершенно аналогичныхъ разсужденій и выкладокъ находится и значеніе всеобщаго коэффиціента  $K'_n$  для конца поверхности. Наконецъ, взявъ среднее ариөметическое изъ коэффиціентовъ  $K_n$  и  $K'_n$  найдемъ:

Значеніе  $K_{cp}$  и слѣдуетъ подставить въ соотвѣтствующее ур—ніе для поверхности нагрѣва—въ данномъ случаѣ въ ур—ніе противотоковъ.

Таковъ общій ходъ отысканія всеобщаго коэффиціента теплопередачи  $K_{cp}$ .

Нами взять быль сравнительно простой случай, когда воспріятіє и отдача теплоты совершаются только соприкосновеніемь, вь общемь же случав отдача тепла можеть совершаться, кромв соприкосновенія еще и путемь лучеиспусканія; тогда, конечно  $Q_1$  не равно  $Q_2$  и въ выраженіе для  $Q_2$  должны быть введены члены, характеризующіе это осложненіе въ формв, данной Дюлонгомъ. (См. главу І-ю).

Нижеслъдующій численный примъръ поможетъ уясненію механизма вычисленій, данныхъ выше въ общемъ видъ.

#### Численный примѣръ № 1.

Въ печи большой теплоемкости, назначенной исключительно для нагр $^{\pm}$ ванія вентиляціоннаго воздуха, вводимаго въ печную камеру у ея пола при т—р $^{\pm}$   $t_1 = -15$ °с. и выпускаемаго у потолка при т—р $^{\pm}$   $t_2 = +20$ °с. нагр $^{\pm}$ вательная поверхность представляеть собою вн $^{\pm}$ шнія ст $^{\pm}$ нки опускныхъ дымоходовъ—колодцевъ.

Печь должна пропустить въ часъ 50 куб. саж. воздуха, подогрѣвая его отъ  $t_1=-15\,^{\circ}$ с. до  $t_2=+20\,^{\circ}$ с. Слѣдовательно, камерная поверхность нагрѣва  $S_2$  должна доставлять ежечасно количество теплоты равное:

$$W = 7,2(t_2 - t_1)50 = 7,2 \times [20 - (-15)]50 = 12600$$
 Ф/ц. ед.

Стънки опускныхъ колодцевъ сложены изъ 8-ми фунтового гжельскаго кирпича на бълой глинъ толшиною въ  $^1\!/_2$  кирпича; (е = 4,5 дюйм. = 0,375 фут.) безъ всякой облицовки.

Требуется вычислить необходимую поверхность нагрѣва  $S_2$ . (Случай противотоковъ). Топливо—березовыя дрова; стѣнки топливника и І-го восходящаго дымохода въ передачѣ теплоты не участвуютъ \*). Зададимся, хотя бы приблизительной т—рой дымовыхъ газовъ у начала нагрѣвательной поверхности.

По формулъ Пересвътъ-Солтана (см. II отд. стр. 248—249) при дровахъ т—ра въ топливникъ при двойномъ впускъ воздуха:

$$T = 850 - (2 - 2)150 = +850$$
°c.

Средняя т-ра въ восходящемъ дымоходъ

$$T_1 = 0.70T = 0.70 \times 850 = +595^{\circ} c \sim +600^{\circ} c.$$

Положимъ, что при короткой длинъ восходящаго дымохода т—ра дымовыхъ газовъ у начала поверхности нагръва всюду одинакова и равна средней т—ръ въ восходящемъ дымоходъ, т. е.

$$T_1 = +600$$
°c.

примемъ т—ру дымовыхъ газовъ при оставлени ими колодпевъ и при переходѣ въ дымовой боровъ  $T_2=+250$ °с., (полагая т—ру у задвижки у основанія трубы не болѣе +200°с.).

Высоту поверхности нагръва ѝ назначаемъ равной 8 фут.

Не принимая во вниманіе вліянія температурных разностей при данных условіях им вемь для перваго опредвленія К<sub>1</sub> выраженіе:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_2}};$$

<sup>\*)</sup> Это ограничение введено для того, чтобы упростить формулы, устранивъ восприятие теплоты лучеиспусканиемъ пламени въ топливникъ и І-мъ дымоходъ, точно также предполагается, что всъ участки поверхности нагръва прогръты одинаково и не лучеиспускаютъ къ стънкамъ камернаго ограждения.

гдъ:

 $Q_1=k_1{}'=$  (для вертикальной плоскости h=8 фут.) = 0,4926; (Табл.  $N\!\!\!\!\!\! \circ$  3-й).

$$Q_2 = k_1'' = k_1' = 0,4926;$$

e = 0,375 ovt.

λ = (для плотной обожженной глины въ среднемъ =

$$=\frac{0.69+0.51}{2}=0,60;$$
 (Табл. № 1-й).

•Поэтому:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{0,4926} + \frac{0,375}{0,60} + \frac{1}{0,4926}} = \frac{1}{4,625} \cong 0,22$$
Ф/ц.

$$T_1 - T' = t' - t_2 = \frac{K_1(T_1 - t_2)}{k_1'} = \frac{0.22(600 - 20)}{0.4926} = 260^{\circ}C.$$

далъе:

$$Q_1 = Q_2 = \alpha_1' k_1' = \alpha_1'' k_1'';$$

при

$$T_1 - T' - t' - t_2 = 260$$
°С.  $\alpha_1' = 1,9673$ ; (Табл. № 5-й).

поэтому:

$$Q_1 = Q_2 = 1,9673 \times 0,4926 = 0,98;$$

новое значеніе:

$$\mathbf{K}_2 = \frac{1}{\frac{1}{0,98} + \frac{0,375}{0,60} + \frac{1}{0,98}} = \frac{1}{2,67} \cong 0,40 \text{ Ф/ц.}$$

T=+250°C | t=-15°C

далъе:

$$T_1 - T' = t' - t_2 = \frac{0.40(600 - 20)}{0.98} = 236$$
°C.

при

$$T_1 - T' = t' - t_2 = 236$$
 °C.

aro recommended eight the 
$$lpha_{_1}{}'=1.9134;$$
 read countries and articles in the

$$Q_1 = Q_2 = \alpha_1' k_1' = 1.9134 \times 0,4926 = 0,94.$$

Третье значение для Кз

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{0,94} + 0,625 + \frac{1}{0,94}} = \frac{1}{2.75} = 0,363 \text{ Ф/ц.}$$

$$T_1 - T' = t' - t_2 = \frac{0.36(600 - 20)}{0.94} = 222^{\circ}C.$$

далъе:

$$\begin{aligned} \alpha_1' &= 1,8940;\\ Q_1 &= Q_2 = \alpha_1' k_1' = 1,8940 \times 0,4926 = 0,93; \end{aligned}$$

четвертое значеніе для К.

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{0,93} + 0.625 + \frac{1}{0,93}} = \frac{1}{2,775} = 0.36 \text{ p/H}.$$

Въ виду близости послъднихъ двухъ значеній для К принимаемъ четвертое:

 $K_4 = 0.36 \Phi/H.$ 

b) Для конца поверхности.

$$K_1' = \frac{1}{Q_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q_2};$$
 попрежнему имѣемъ:  $Q_1 = Q_2 = k_1' = 0,4926$   $e = 0,375$  фут.;  $\lambda = 0,60;$   $K_1' = 0,22$  ф/ц.  $K_1'(T_2 - t_1)$  0.22[250 — (-15)] 12180

$$T_{2} - T'' = t'' - t_{1} = \frac{K_{1}'(T_{2} - t_{1})}{k_{1}'} = \frac{0.22[250 - (-15)]}{0.4926} = 121^{\circ}C.$$

$$\alpha_{1}' = 1.6463; \ Q_{1} = Q_{2} = \alpha_{1}'k_{1}' = 1.6463 \times 0.4926 = 0.81^{\circ}$$

второе значение для  $K_2'$ :

$$K_{2}' = \frac{1}{\frac{2}{0.81} + 0.625} = \frac{1}{3.09} = 0.323;$$

далѣе:

$$\begin{split} T_2 - T'' &= i'' - t_1 = \frac{K_2'(T_2 - t_1)}{\alpha_1'k_1'} = \frac{0.323 \times 270 \cong}{0.81} = 108^{\circ}\text{C}. \\ \alpha_1' &= 1.6029; \ Q_1 = Q_2 = \alpha_1'k_1' = 1.6029 \times 0.4926 = 0.79; \end{split}$$

третье значение для Ка":

$$K_{3}' = \frac{1}{\frac{2}{0,79} + 0,625} = \frac{1}{3,156} = 0,32;$$

принимаемъ послѣднее значеніе, какъ очень мало отличающееся отъ предыдущаго.

Среднее значеніе для всей поверхности

$$K \text{ ср.} = \frac{K_4 + K_3'}{2} = \frac{0.36 + 0.32}{2} = 0.34 \text{ Ф/ц.}$$

Коэффиціенту  $K_4$  соотвътствуютъ температурныя разности.

$$T_1 - T' = t' - t_2 = 222^{\circ}C.$$

при

$$T_1 = +600 \, ^{\circ} \mathrm{C}.$$
 т-ра поверхности вверху со стороны дымовыхъга- зовъ:

$$T' = 600 - 222 = +378$$
 °C.

т-ра же со стороны камеры:

$$t' = 222 + 20 = +242$$
°C.

Коэффиціенту К<sub>3</sub>' соотвътствують разности т—ръ:

$$T_2 - T'' = t'' - t_1 = 108$$
°C.;

поэтому т-ра поверхности со стороны дымовыхъ газовъ внизу

$$T'' = T_9 - 108 = 250 - 108 = +142$$
°C.

со стороны же камеры:

$$t'' = 108^{\circ} + t_1 = 108 - 15 = +93^{\circ}C.$$

Среднія т-ры поверхностей:

Со стороны дымовыхъ газовъ:

$$T = \frac{T' + T''}{2} = \frac{378 + 142}{2} = +260$$
°C.

Со стороны камеры:

$$t = \frac{t' + t''}{2} = \frac{242 + 93}{2} = +167,5$$
°C.

Для подстановленія въ ур—ніе поверхности нагрѣва съ противотоками имѣемъ слѣдующія величины:

$$\begin{aligned} \mathbf{W} &= \mathbf{W_1} - \mathbf{W_2} = 12600 \;\; \Phi/\Pi. \\ &\quad \mathbf{K_{cp}} = 0.34 \;\; \Phi/\Pi. \end{aligned}$$
 
$$\begin{aligned} \mathbf{T_1} &= +\frac{600 \,^{\circ}\text{C.}}{12} &\qquad \qquad \mathbf{t_1} = -\frac{15 \,^{\circ}\text{C.}}{12} \\ &\quad \mathbf{t_2} = +\frac{250 \,^{\circ}\text{C.}}{12} \end{aligned}$$

Уравненіе для поверхности съ противотоками было выведено выше и имъетъ видъ:

$$S_2 = \frac{W_1 - W_2}{\text{Kcp } [T_1 - T_2 - t_2 + t_1]} \text{ 2,3026 } \lg \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1};$$

По подстановленіи получаемь:

$$S_2 = \frac{12600}{0,34 \left[600 - 250 - 20 - 15\right]} 2,3026 \lg \frac{600 - 20}{250 + 15};$$

откуда:

$$S_2 = \frac{12600}{107,10}$$
. 2,3026 lg  $\frac{580}{265} = 271,4$  lg 2,185 = 271,40  $\times$  0,33945 = 92,276 kb. Фут.

Печь даннаго въ примъръ типа является массивнымъ калориферомъ; для такихъ поверхностей по Лукашевичу среднее часовое доставлене теплоты съ 1 кв. фута составляетъ 120 ф/ц. ед.

Увеличивая, согласно указанія Веденяпина найденную выше поверхность  $S_2$  на  $10^0/_0$  для компенсаціи потери теплоты тѣхъ частей

стънокъ дымоходовъ, которыя не являются нагръвательными, но нужны по конструктивнымъ соображеніямъ, найдемъ такую поверхность:

$$S_2' = 1{,}10 S_2 = 1{,}10 \times 92, 276 = 101{,}51 \text{ kb. фут.}$$

и среднее часовое доставление теплоты:

$$w=rac{W}{S_2'}=rac{12600}{101,51}\cong 124$$
 Ф/ц.

Такимъ образомъ, съ помощью даннаго выше пріема, не претендующаго на строгую точность, все же получаются результаты, близко согласующіеся съ выводами, основанными на прямыхъ опытахъ.

Указаній данныхъ въ этой главѣ достаточно для рѣшенія большинства вопросовъ, касающихся поверхностей нагрѣва въ печномъ дѣлѣ, съ точностью, удовлетворяющей практическимъ потребностямъ.

# ГЛАВА IV.

# Процессъ горвнія.

### 1) Экзотермическіе и эндотермическіе процессы въ химіи.

Современная химія различаеть два рода существенно различныхъ процессовъ, именно: во всѣхъ процессахъ перваго рода сумма запасовъ энергіи въ тѣлахъ, вступающихъ другъ съ другомъ въ химическую реакцію, превышаеть количество энергіи въ продуктахъ реакціи, поэтому избытокъ энергіи освобождается и проявляется, обыкновенно въ формѣ теплоты. Подобнаго рода реакціи не требуютъ, очевидно, притока энергіи извнѣ, такъ какъ сами ее освобождаютъ.

Химическіе процессы, сопровождающіеся выдпленіем теплоты, получили въ наукт названіе "экзотермическихъ". Процессы второго рода, въ виду недостаточности запасовъ энергіи въ самихъ реагирующихъ другъ съ другомъ тѣлахъ, могутъ протекать только при условіи доставленія извнт недостающей энергіи, въ формт, напримтръ, сообщенія реагирующимъ тѣламъ извтанаго количества теплоты.

При химическихъ реакціяхъ этого рода теплота поглощается. Химическіе процессы, сопровождающіеся поглощеніемо теплоты, названы «эндотермическими».

## 2) Горъніе, какъ экзотермическій процессъ.

Въ самомъ общемъ смыслъ слова всякая энергично и быстро протекающая экзотермическая реакція, сопровождающаяся обильнымъ выдъленіемъ теплоты, а часто и свътовыми эффектами, можетъ быть разсматриваема какъ процессъ горънія, независимо отъ природы реагирующихъ тълъ.

Съ этой общей точки зрѣнія приходится разсматривать какъпро цессы горѣнія, напримѣръ, слѣдующія экзотермическія реакціи: реакцію соединенія водорода съ кислородомъ, протекающую по ур—нію:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O \dots (a)$$

Продуктомъ этой реакціи является вода.

Реакцію соединенія металлической сурьмы съ хлоромъ, по ур-

$$2Sb + 3Cl2 = 2SbCl3 \dots \dots (b)$$

равно и реакція соединенія металлическаго магнія съ углекислотою по ур—нію:

$$2Mg + CO_2 = 2Mg.O + C$$

Точно также экзотермической явилась бы и реакція соединенія того же металлическаго магнія съ кислородомъ; вся разница была бы только въ большей интенсивности процесса, болье обильномъ выдьленіи теплоты и болье напряженныхъ свътовыхъ явленіяхъ, чъмъ въслучать соединенія его съ углекислотой.

# 3) Соединеніе тѣлъ съ кислородомъ е́сть частный случай въ ряду экзотермическихъ процессовъ.

Изъ приведенныхъ выше примъровъ легко усмотръть, что экзотермическія реакціи могутъ совершаться при взаимодъйствіи самыхъ разнообразныхъ тълъ, каковы хлоръ, углекислота, кислородъ и проч. Соединеніе тълъ съ кислородомъ или окисленіе ихъ есть лишь одна изъ экзотермическихъ реакцій; особенностью этого частнаго случая является интенсивность реакцій, сопровождающихся обильнымъ выдъленіемъ теплоты и часто накаливаніемъ окисляющагося тъла до свъченія, напримъръ: горъніе жельза или лучины въ струъ кислорода.

Изъ всъхъ экзотермическихъ реакцій реакція окисленія должна была раньше другихъ получить практическое примъненіе уже потому, что одинъ изъ реагентовъ, именно окислитель — кислородъ, является повсемъстно распространеннымъ элементомъ, входя въ составъ атмосфернаго воздуха.

Окислительные процессы подъ вліяніемъ кислорода воздуха въ громадномъ масштабъ непрерывно совершаются въ природъ, насъ окружающей, и въ каждомъ животномъ организмъ.

Процессы тлёнія и гніенія органических веществъ являются въполной мёрё процессами окисленія.

Понятіе о горѣніи обычно соединяется съ такими случаями окисленія, когда реакція сопровождается сильнымъ повышеніемъ температуры, свѣченіемъ окисляющагося тѣла; быстротою протеканія и отдѣленіемъ большого количества теплоты.

Вещества, способныя окисляться подъ вліяніемъ кислорода возду-ха, называются *юрючими*.

Изъ всъхъ составныхъ частей горючаго тъла наибольшей способностью къ окисленію съ выдъленіемъ теплоты обладаютъ углеродъ (С), водородъ (Н) и съра (S), и эти вещества и являются собственно горючими элементами.

#### 4) Схематическое представление процесса горѣнія.

Итакъ, въ практическомъ значени слова, горѣніемъ называется быстро протекающая реакція соединенія углерода, водорода и сѣры, содержащихся въ горючихъ веществахъ съ кислородомъ воздуха.

Полное окисленіе углерода происходить по ур-нію:

$$C + O_2 = CO_2$$

при чемъ продуктомъ горънія является углекислота (CO<sub>2</sub>), неполное же окисленіе протекаетъ по ур—нію:

have a substant 
$$C + O = CO$$

и даетъ въ результатъ окись углерода, способную еще къ дальнъйшему горънію въ углекислоту въ присутствіи свободнаго кислорода по ур—нію:

$$2CO + O_2 = 2CO_2;$$

водородъ при сгораніи по ур—нію:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

даетъ какъ продуктъ окисленія воду, а съра при окисленіи превращается въ сърнистый газъ:

$$S + O_2 = SO_2$$

Такова простая схема процесса горънія.

Въ практическихъ условіяхъ, однакоже, явленія, сопровождающія процессъ окисленія горючихъ элементовъ, неизмѣримо сложнѣе, чѣмъ это представляется вначалѣ.

Изученіе всъхъ побочныхъ явленій, осложняющихъ процессъ горьнія, далеко нельзя назвать законченнымъ и въ настоящее время.

Относительно процессовь, происходящихъ при сожиганіи горючихъ веществъ, приходится допускать болье или менье въроятныя гипотезы и искать путемъ непосредственныхъ измъреній ихъ подтвержденія, замьняя неизвъстные намъ еще законы явленій поправочными коэффиціентами.

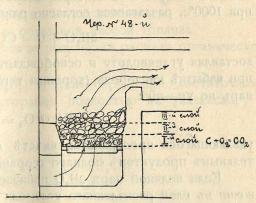
## Явленія, сопровождающія процессъ гортнія въ случаяхъ практическаго сожиганія горючихъ веществъ.

Горючія вещества, примѣняемыя въ качествѣ топлива, содержатъ кромѣ углерода, водорода и сѣры еще азотъ, влагу и минеральныя вещества, напримѣръ: фосфоръ, кремнекислоту, окись желѣза, окись аллюминія, окиси щелочныхъ и шелочноземельныхъ металловъ и др.

Реакція окисленія обусловливается присутствіем в кислорода воздуха; недостаток в или избыток в кислорода вліяет на полноту окисленія и интенсивность реакціи; легкость доступа кислороду ко всей масст горючаго вещества или наоборот, затрудненность его прониканія существенно вліяют на характер промежуточных реакцій.

Оставляя пока въ сторонъ всъ осложняющія вопросъ обстоятельства, прослъдимъ процессы, происходящіе при практическомъ сожиганіи такого воображаемаго топлива, въ составъ котораго входитъ изъ горючихъ веществъ только углеродъ и водородъ \*).

Представимъ себѣ, что слой топлива расположенъ на горизонтальной рѣшеткѣ топки см. черт. № 48-й, при чемъ необходимый для горѣнія воздухъ притекаетъ черезъ поддувальное отверстіе подъ рѣшетку снизу и силою механической тяги или силою разрѣженія дымовой трубы протягивается сквозь всю толщу топлива.



Въ настоящее время техника представляетъ себъ послъдовательность явленій въ слъдующемъ порядкь: въ са-момъ нижнемъ 1-мъ слоъ раскаленнаго топлива (если разсматривать процессъ установившагося дъйствія) прилегающемъ непосредственно къ поверхности колосниковъ, кислородъ воздуха притекаетъ
подъ ръщетку въ избыткъ, быстро соединяется съ раскаленнымъ углеродомъ и поэтому послъдній полностью сгораетъ въ углекислоту по
ур—нію:

$$C + O_2 = CO_2$$
 . . . . . . . (a)

Эта углекислота въ смѣси съ избыткомъ кислорода воздуха и азотомъ попадаетъ въ слѣдующій ІІ-й слой также раскаленнаго углерода С и возстановляется въ окись углерода по ур—нію:

$$CO_2 + C = 2CO$$
 . . . . . . . . (b)

Въ слъдующемъ слоъ, если тяга воздуха сквозь толщу топлива достаточно велика, чтобы преодолъвать сопротивленія слоевъ, окись углерода легко соединяется съ избыткомъ кислорода, сгорая снова и окончательно въ углекислоту по ур—нію:

$$2CO + O_2 = 2CO_2$$

<sup>\*)</sup> Къ такому идеальному топливу ближе всёхъ видовъ по своимъ свойствамъ приближается антрацитъ, содержащій до  $93^0/_0$  углерода, около  $4^0/_0$  водорода и около  $3^0/_0$  кислорода и авота при ничтожномъ содержаніи влаги.

надъ последнимъ верхнимъ слоемъ въ пределахъ топочнаго пространства.

Одновременно съ описанными процессами идетъ процессъ горънія водорода.

Въ нижнихъ раскаленныхъ слояхъ непосредственно надъ рѣшет-кой при избыткъ кислорода водородъ сгораетъ въ водяной паръ по ур—нію:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$
.

Въ слѣдующемъ слоѣ раскаленнаго углерода (C) водяной паръ при 1000°с. разлагается согласно равенству:

$$2H_2O + C = CO_2 + 2H_2;$$

доставляя углекислоту и освобождаетъ снова водородъ, послъдній же при избыткъ кислорода (хорошая тяга) снова сгораетъ въ водяной паръ по ур—нію:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

удаляющагося пространства вмъстъ съ углекислотою какъ окончательнымъ продуктомъ полнаго сгоранія углерода.

Если водяной паръ 2H<sub>2</sub>O попадаетъ при восходящемъ своемъ движени въ слой раскаленнаго углерода съ температурою, превышающей 1200°с. то разлагается по ур—нію:

$$H_2O + C = H_2 + CO$$

Водородъ  $H_2$  въ дальнъйшемъ соединени съ кислородомъ сгораетъ въ водяной паръ, а окись углерода въ углекислоту.

Взятый нами простой случай наглядно показываетъ сложность процессовъ горънія въ практикъ.

Введемъ теперь еще неизбъжныя побочныя явленія, зависящія отъ физическихъ и химическихъ свойствъ топлива т.-е. отъ его состава.

Прежде всего въ составѣ топлива присутствуетъ вода  $H_2O$ , которая испаряется въ первомъ періодѣ процесса горѣнія, т.-е. въ періодѣ его нагрѣванія при температурѣ около +100°с.

Такъ какъ всѣ виды топлива содержатъ въ своемъ составѣ органическую часть, состоящую изъ водорода, кислорода и азота, то при температурѣ близкой къ +150°с. начинается распаденіе этой органической части въ слѣдующей формѣ: водородъ выдѣляется въ свободномъ видѣ, частью соединяется съ кислородомъ въ водяной паръ и частью съ углеродомъ въ тяжелые угле-водороды.

Эти тяжелые углеводороды подъ дъйствіемъ высокой температуръ вновь распадаются, освобождая углеродъ, и переходятъ въ соединенія метанъ (болотный газъ) и этиленъ (маслородный газъ); болъе устойчивыя, какъ  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ , различныя смолы и проч.

Иногда же водородъ можетъ соединяться съ углеродомъ и кле-

лородомъ въ стойкія кислородныя соединенія уксусную кислоту  $C_2H_4O_2$ , древесный спиртъ  $CH_4O$  и фенолъ  $C_6H_6O$ .

Азотъ, вообще, содержится въ топливъ въ незначительныхъ количествахъ и въ присутствіи раскаленнаго топлива даетъ амміакъ и синеродистыя соединенія.

Совокупность летучихъ продуктовъ распада органической части топлива представляетъ собою составъ свътильнаго газа, сгорающаго совмъстно съ прочими продуктами въ предълахъ точнаго пространства.

Кромъ газообразныхъ горючихъ продуктовъ распада органической части топлива получаются при разложении и твердыя вещества, каковъ углеродъ въ формъ древеснаго угля или кокса.

Вещества эти сгорають съ остальной массой топлива.

Углеводороды, получившіеся въ результат распада органической части горючаго вещества.

Метанъ ( $\mathrm{CH_4}$ ); этиленъ ( $\mathrm{C_2H_4}$ ) и этанъ ( $\mathrm{C_2H_6}$ ) при достаточномъ притокѣ кислорода воздуха сгораютъ полностью въ углекислоту и воду по ур-ніямъ:

$$\begin{array}{l} {\rm CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O;} \\ {\rm C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O;} \\ {\rm C_2H_6 + O_7 = 2CO_2 + 3H_2O;} \end{array}$$

И такъ, въ концъ концовъ при достаточной тягъ и избыткъ кислорода воздуха, вводимаго въ топку подъ ръшетку, процессъ горънія при всей своей сложности заканчивается образованіемъ продуктовъ  $CO_2$  и  $2H_2O$ .

## 6) Неполное горъніе.

Въ томъ случав, когда свободному прониканію кислорода воздуха въ толщу слоя топлива встрвчаются препятствія и количество его недостаточно для окисленія картина горвнія нівсколько иная:

а) Часть углерода топлива при этомъ можетъ сгорать только въ окись углерода по ур-нію:

$$2C + O_2 = 2CO;$$

b) Углеводороды, образовавшіеся послѣ распада органической части топлива:  $CH_4$ ;  $C_2H_4$ ;  $C_2H_6$ , не могутъ сгорать полностью: изъ нихъ прежде всего выгораетъ весь водородъ; углеродъ же освобождается, не успѣвая сгорать и даетъ газообразнымъ продуктамъ горѣнія желтую и сѣрую окраску (густой, темный дымъ);

Реакціи неполнаго окисленія этихъ углеводородовъ могутъ проте-

кать по слъдующимъ ур-ніямъ:

$$CH_4 + O_2 = 2H_2O + C$$
  
 $C_2H_4 + O_2 = 2H_2O + 2C$   
 $C_2H_6 + 3O_2 = 6H_2O + 4C$ 

Процессъ неполнаго горънія характеризуется присутствіемъ продуктовъ неполнаго окисленія, способныхъ при надлежащей температуръ и притокъ кислорода къ дальнъйшему сгоранію.

Если представить себъ, что теченіе процесса горънія все время нарушается неравномърнымъ притеканіемъ воздуха подъ ръшетку, впускомъ воздуха поверхъ слоя топлива при открываніи загрузочной дверцы введеніемъ порцій свъжаго топлива, непостоянствомъ состава отдъльныхъ загрузокъ, колебаніями тяги въ топкъ, измъненіемъ толщины слоя топлива и температуры въ различныхъ мъстахъ слоя и въ пространствъ надъ топливомъ, то легко понять на сколько сложна картина горънія даже въ самыхъ простыхъ случаяхъ.

### 7) Температура воспламененія.

Въ природъ непрерывно совершается безчисленное множество окислительныхъ процессовъ, которые, однакоже, не могутъ быть подведены подъ опредъленіе горънія въ тъсномъ смыслъ слова, такъ: массы угля, торфа, дровъ и проч. лежащихъ на открытомъ воздухъ, несомнънно окисляются подъ вліяніемъ атмосфернаго кислорода, но настолько медленно, что ходъ процесса неуловимъ въ теченіе очень большихъ періодовъ времени. Точно также, заключенная въ герметически закрытый сосудъ, газовая смъсь водорода и кислорода не обнаруживаетъ при обыкновенныхъ температурныхъ условіяхъ никакихъ признаковъ реакціи неопредъленно долгое время, но уже при — 450°С для образованія изъ названной газовой смъси воды достаточно нъсколькихъ дней.

При + 600 °С реакція заканчивается въ нѣсколько секундъ.

Горъніе куска антрацита при +700 °C будетъ только начинаться и протекать очень медленно, тотъ же антрацитъ очень быстро сгоритъ при +1200 °C.

Такимъ образомъ одни и тѣ же горючія вещества способны окисляться при очень различныхъ температурахъ при чемъ скорость реакціи находится въ прямой зависимости отъ этихъ температуръ, т. е. съ пониженіемъ температуры замедляется процессъ окисленія и наоборотъ, ускоряется съ повышеніемъ послѣдней.

Для каждаго горючаго тъла существуетъ тотъ minimum температуры, при которомъ начинается окисленіе на столько интенсивное, что его можно назвать горъніемъ въ практическомъ смыслъ слова.

Этотъ нижній предъль температуры горьнія Т min называется «температурою воспламененія».

Важную роль температуры въ процессъ воспламенения объясняютъ слъдующимъ образомъ.

Такъ какъ горѣніе разсматривается какъ соединеніе молекулъ углерода, водорода и прочихъ горючихъ элементовъ съ молекулами кислорода воздуха, то соединеніе это будетъ тѣмъ быстрѣе и легче, чѣмъ тъснъе соприкасаются между собою реагирующія молекулы; дисгрегація

топлива состоить въ разложении его на составныя части и на превращение его горючихъ элементовъ въ вещества газообразныя—этотъ процессъ предшествуетъ горъню.

По ученію кинетической теорій, частицы разнородныхъ газовъ находятся въ непрерывномъ движеній, при чемъ газы способны проникать другъ въ друга или диффундировать. При этомъ явленій взаимной диффузій молекулы ихъ и могутъ сближаться.

Извѣстно, что скорость движенія газовыхъ молекулъ возрастаетъ съ повышеніемъ температуры, слѣдовательно, при этомъ увеличивается и число столкновеній молекулъ разнородныхъ реагирующихъ газовъ, т. е. быстрѣе достигается ихъ перемѣшиваніе и повышается интенсивность процесса соединенія т. е. горѣнія.

Въ нижеслъдующей таблицъ указаны температуры воспламененія нъкоторыхъ тълъ.

Таблица № 18-й температуръ воспламененія Т min. для нѣкоторыхъ тѣлъ.

entenne radionness no re-	T min. °C		CASTONITER ASSOCIATION OF THE CONTROL OF THE CONTRO	NAOH HERN	
Вещества.	въ кисло- родъ.	въ воз-	Вещестіва.	min °C.	
- SE SERVICE PROFESSIONALLI	AZD SELE AT SEC. R	ARREST IN	er i <mark>Ordinaliza (ranzo ala signi</mark> Se al everanta llegazio regazi	DE REC	
1) Газообразныя.	Del Taranta		2) Твердыя и жидкія.		
Водородъ (Н)	+585	+585	Сухое дерево	+300	
Окись углерода (СО)	+650	+651	Древесный уголь	+370	
Метанъ (СН4)	+628	+700	Торфъ сухой	+200	
Этиленъ (С <sub>2</sub> Н <sub>4</sub> )	+510	+543	Лигнитъ	+450	
Ацетиленъ (С <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	+428	+429	Гартаульск. уголь.	+408	
Съроводородъ	+227	+364	Кардифъ	+477	
Ціанъ	+811	+856	Донецкій уголь.	cook at	
Всвдухъ	+580° C	M OR SHA	Антрацитъ	+700	
TO ROTANGED AT A LOCAL	I SELECTION	nini uus	Коксъ	+700	
Type Replied Tomake	April A	n antog	Сырая нефть	+25°C	
sportanear are eroducat	N 05 00	day reg	Мазутъ.	+80°C+170°C	
CROCOCOCO ACTAR S VEHICLE	ON STATE	enen ik Kitikanan	Фосфоръ	+60	
очих адрама, домерулико	SHUTRON	su wa	Съра.	+285	

для того, чтобы процессъ горѣнія, разъ начавшись, въ моментъ достиженія температуры воспламененія не прерывался, необходимо, чтобы въ дальнъйшемъ температура не была ниже Т min. въ противномъ

случа для гор внія понадобился бы приток теплоты из посторонняго источника и разсматриваемое вещество перестало бы удовлетворять основному требованію: выд влять, а не поглощать извив теплоту—перестало бы быть горючим веществом веществом.

Графитъ или алмазъ могутъ загоръться по достижении соотвътствующаго Т min, но ихъ горъніе не можетъ продолжаться безъ доставленія теплоты извнъ.

#### 8) Пламя.

Газообразные продукты распада топлива при своемъ горвніи даютъ пламя.

Свътимость пламени объясняется присутствіемъ въ струъ горящихъ газовъ частицъ раскаленнаго углерода; свътимость пламени наблюдается всегда при горъніи углеводородовъ; иногда имъетъ мъсто окрашиваніе пламени парами различныхъ металловъ, напримъръ: калія, натрія и др.

Длина пламени, какъ указываетъ проф. Бляхеръ, зависитъ отъмногихъ причинъ, частъ которыхъ еще недостаточно изучена. Главнъйтими, повидимому, являются:

а) Средняя длина пути поступательнаго движенія газовыхъ молекулъ. При прочихъ равныхъ условіяхъ длина пламени будетъ больше у газовъ съ большей длиной пути.

Заимствуемъ изъ книги проф. Бляхера данныя относительно молекулярныхъ скоростей и среднихъ длинъ пути нъкоторыхъ газовъ:

			Молекулярная скорость:			Средняя длина пути:	
Для	углекислоты	при	O°C		361	mtr./sec.	680 × 10 −8 ст.
15	окиси углерод		"		454	7	985 × "
"	водорода	,,	"		1698	"	1855 💢 "
**	кислорода	,,	"		425	, and a , and and	1059 × ,
,,	воздуха	,	"		477	9	$950 \times$ "
,	паровъ воды	.,	*		566	94 <b>.</b> (96.2)	649 × "

- b) Количество кислорода, необходимое для сожиганія одной молекулы газа, очень замѣтно отражается на длинѣ пламени: чѣмъ больше требуется кислорода въ этимъ случаѣ, тѣмъ длиннѣе пламя, такъ какъ частицы газа должны пройти большій путь, чтобы соединиться съ достаточнымъ количествомъ кислорода.
- с) Избытокъ воздуха, а слъдовательно и кислорода въ немъ, обусловливаетъ укорочение пламени, уменьшая длину пути газовыхъ молекулъ, соединяющихся съ достаточнымъ количествомъ кислорода.
- d) Примъсь негорючихъ газовъ растягиваетъ пламя, затрудняя соединеніе молекулъ горючихъ газовъ съ кислородомъ и тъмъ удлиняя путь этихъ молекулъ.
- е) Напряженіе свъта пламени зависить отъ температуры и избытка воздуха (кислорода).

Тусклое, коптящее пламя обусловливается недостаткомъ кислорода: углеродъ не успѣваетъ сгорать и часть его въ видѣ мелкихъ твердыхъ частицъ увлекается съ пламенемъ, образуя копоть и окрашивая летучіе продукты горѣнія въ темный цвѣтъ.

Уменьшеніе яркости пламени можетъ быть достигнуто и избыткомъ холоднаго воздуха, такъ какъ послѣдній, отнимая большое количество теплоты на нагрѣваніе своего азота, сильно понижаетъ температуру горѣнія.

Желто-красное пламя при слабо окрашенномъ въ сърый цвътъ дымъ указываетъ на достаточность притока кислорода.

Яркое бѣлое и синеватое пламя при безцвѣтномъ дымѣ характеризуетъ избытокъ кислорода.

- f) Форма пламени зависитъ отъ конструкціи топливника.
- h) По отношенію къ длинъ пламени топлива раздъляются на три класса:

Топлива горящія безъ пламени: коксъ, древесный уголь, антрацить; всѣ они характеризуются малымъ содержаніемъ водорода и кислорода въ своемъ составѣ.

Топлива съ короткимъ пламенемъ, напримъръ, жирный полуантрацитовый кардифскій уголь, содержащій не свыше  $5^0/_0$  по въсу водорода и не болъе 1  $0/_0$  кислорода.

Длиннопламенныя топлива, къ которымъ принадлежатъ всѣ древесные и растительные виды, тороъ и длинно-пламенные угли. Всѣ эти виды содержатъ много водорода и кислорода.

# 9. Температура горѣнія.

Выше было указано, что температура воспламененія Т min есть нижній предъль температуры, при которомъ начинается устойчивое горъніе.

При установившемся процессъ горънія температура необходимо должна быть гораздо выше начальной.

Температура горънія прямо зависить от избытка кислорода, от величины абсолютной теплопроизводительной способности топлива K.; она также обратно пропорціональна теплоемкости и въсу продуктовь горънія.

Для каждаго вида топлива существуеть maxim'альная температура горьнія Т max.; достиженіе этой температуры зависить отъ относительнаго впуска воздуха и отъ массы другихъ условій. Теоретически тахіт'альная температура достигается при теоретически необходимом объемть воздуха, совершенно сухомъ топливть, достаточной тять и при отсутствіи потери теплоты стънками очага. Этотъ теоретическій (Т max) тахітит температуры горьнія называется теоретической жаропроизводительной способностью топлива.

Само собою понятно, что въ условіяхъ практическаго сожиганія теоретическій Т тах недостижимъ. Потери всякаго рода неизбѣжны,

и поэтому техника интересуется практически достижимымъ предъломъ—практической жаропроизводительностью топлива.

При сожиганіи топлива можно преслѣдовать разнообразныя цѣли: можно, напримѣръ, стремиться получить изъ 1 вѣсовой ед-цы топлива и утилизировать возможно большее количество ед-цъ теплоты. Эту задачу ставить себѣ техника отопленія—достиженіе цѣли въ этомъ случаѣ вознаграждается высшимъ калориметрическимъ эффектомъ. Во многихъ отрасляхъ промышленности преслѣдуется другая задача; получить возможно болѣе высокую температуру горѣнія Т тах — это значить достичь высшаго пирометрическаго эффекта.

## 10. Выраженіе для температуры горѣнія и условія достиженія Ттах.

Выше уже было указано, что т-ра горѣнія T, завися отъ полезной теплопроизводительной способности топлива  $K_2$ , вѣсового количества дымовыхъ газовъ Q и ихъ средней теплоемкости C, является ихъ функціей, т. е. что:

$$T = f(K_2, Q, C) \dots \dots (1)$$

Выразимъ эту зависимость въ ясной формъ для самаго общаго случая:

Положимъ, что при полномъ сожиганіи въ воздухѣ 1 klgr. топлива получилось Q klgr. дымовыхъ газовъ, средняя теплоемкость которыхъ равна C cal, а т-ра  $T^{0}$ с. Если, кромѣ того, полезная теплопроизводительность топлива равна  $K_{2}$ , то всегда существуетъ зависимость:

$$K_a = T \times Q \times C \dots \dots (a)$$

выражающая собою запась теплоты въ продуктахъ горфнія.

Температура горфнія изъ этого равенства:

далѣе, обозначимъ черезъ  $q_1$ ,  $q_2$  . . .  $q_n$  въ klgг. вѣса отдѣльныхъ газовъ (CO<sub>2</sub>), (N), (O), (SO<sub>2</sub>) и др., вошедшихъ въ составъ общаго вѣса Q дымовыхъ газовъ, а ихъ теплоемкости при постоянномъ давленіи обозначимъ черезъ  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  . . .  $c_n$  въ cal., тогда, снова имѣемъ зависимость:

$$K_2 = T [q_1c_1 + q_2c_2 + q_3c_3 + \dots + q_n c_n] \dots (b)$$

откуда, получаемъ для т-ры горънія выраженіе:

$$T = \frac{K_3}{q_1c_1 + q_2c_2 + \dots + q_n c_n} \dots (3)$$

Наконецъ, обозначимъ черезъ В<sub>(необх)</sub>, въ klgr. теоретическій въсъ воздуха, необходимый для сожиганія 1 klgr. топлива, а черезъ п коэффиціентъ избытка, т. е. число, показывающее во сколько разъ дъйствительно участвовавшій въ горьніи объемъ воздуха превышаетъ

теоретически необходимый  $B_{\text{(необх)}}$ , тогда: вѣсъ исходныхъ продуктовъ, изъ которыхъ послѣ сожиганія образовалось Q klgr. дымовыхъ газовъ, очевидно, составится изъ: 1 klgr. топлива и  $n \times B_{\text{(необх.)}}$  klgr. воздуха, т. е. будетъ равенъ:

$$[1+n\times B$$
(необх.)] klgr.

Запасъ теплоты въ первоначальныхъ продуктахъ, очевидно, равенъ полезной теплопроизводительности  $K_2$ , т.-е.:

T 
$$[1 + n \times B_{\text{(Heoox.)}_2}]$$
.  $C = K_2 \dots (4)$ 

Изъ этого ур-нія, для т-ры горънія Т получаемъ еще одно вы-

$$T = \frac{K_2}{[1+n \times B_{(Heo6x)}, ].C}....(5)$$

Сравнивая ур-нія (2, 3 и 5), получаемъ:

$$T = \frac{K_2}{Q \times C} = \frac{K_2}{(q_1c_1 + q_2c_2 + \dots + q_n c_n)} = \frac{K_2}{[1 + n \times B \text{ (Heods.)}] C \cdots (6)}$$

Ур-ніе (6) показываеть, что при всёхъ условіяхъ *m-ра порвнія Т* прямо пропорціональна полезной теплопроизводительности теплива, т. е. чёмъ большее количество ед-цъ теплоты въ состояніи выдёлить вёсовая ед-ца даннаго топлива, тёмъ болёе имъется основаній при всёхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, ожидать болёе высокой т-ры горёнія Т.

Знаменатель 1-го выраженія показываеть, что рость тры порынія обратно пропорціоналень высу Q и средней теплоемкости С дымовыхь газовь, т.-е. чімь меньшее вісовое количество дымовыхь газовь образуется при горівній какого-либо вида топлива и чімь ниже ихъ средняя теплоемкость С, тімь выше должна быть т-ра горівнія и наобороть.

Тоже подтверждается и знаменателемъ второго выраженія, именно: чъмъ меньше число и въса составляющихъ газовъ въ продуктахъ горинія и чъмъ меньше ихъ теплоемкости при постоянномъ давленіи, тъмъ выше должна быть т-ра горънія.

Наконецъ, послъднее выраженіе даетъ возможность сказать, что наибольшая m-ра юринія можетъ получиться только тогда, когда сожиганіе ведется при теоретически необходимомъ притокъ воздуха, т.-е. при n=1 ед цъ, такъ какъ при этомъ условій дробное выраженіе:

$$T = \frac{K_2}{[1+n. \times B_{(Heodx.)}]C}$$

получаетъ maxim'альное значеніе, т.-е.: при n=1-цъ

$$T_{\text{max}} = \frac{K_2}{[1 + B_{(\text{Heo6x}),}] C} \dots (7)$$

Этотъ выводъ подтверждаетъ и предыдущія заключенія, такъ какъ наименьшее количество дымовых зазовъ можетъ получиться лишь при тіпі-т'альномъ впускъ воздуха, т.-е. при В (необх).

Послѣднее выраженіе *Т тах. есть теоретическая жаропроизводительная способность топлива* или наивысшая т-ра горѣнія, которая могла бы быть достигнута, если бы горѣніе происходило безъ потерь теплоты черезъ стѣнки очага путемъ лучеиспусканія и конвекціи и безъ особыхъ осложняющихъ обстоятельствъ, препятствующихъ росту т-ры горѣнія и достиженію ею наивысшаго значенія Т тах.

Отсюда понятно, что горѣніе съ чистымъ кислородомъ должно дать болѣе высокую жаропроизводительность, чѣмъ съ воздухомъ.

Примѣръ.

1 klgr. углерода сожигается въ чистомъ кислородъ: по формулъ:

$$C + O_2 = CO_2$$

Продуктъ горънія (СО2) составляетъ по въсу:

$$q_1 = \frac{11}{3}$$
 klgr.

Такъ какъ вообще температура горѣнія въ кислородѣ очень высока и такъ какъ теплоемкость газовъ возрастаетъ съ повышеніемъ температуры горѣнія, то для теплоемкости  $CO_2$  надо взять цифру, соотвѣтствующую температурѣ, напримѣръ, въ +2000°c, т.-е.  $c_1 = 0.409$  cal. (вмѣсто 0.217 cal. соотвѣтствующихъ т-рѣ въ +200°c по табл. № 19-й).

Полагая начальную температуру топлива и кислорода, равной О°с, найдемъ:

$$T = \frac{K_2}{q_1 c_1} = \frac{8100 \times 3}{11 \times 0,409} = +5400$$
°c.;

При сожиганіи 1 klgr. (С) съ воздухомъ, въ качеств продуктовъ горьнія получаемъ:

$$rac{11}{3} \; ext{klgr. (CO}_2) \; \mu$$
  $rac{8 imes 77}{3 imes 23} \; ext{(N)} = rac{616}{69} \; ext{klgr. (N)};$ 

принимая для азота (N)  $c_2 = 0,290$ , получимъ:

$$T = \frac{K_2}{q_1 c_1 + q_2 c_2} = \frac{8100}{\left(\frac{11}{3} \times 0.409\right) + \left(\frac{616}{69}0.290\right)} = +1960^{\circ}c.$$

Совершенно понятно также, почему при впускъ въ топку сильно подогрътаго воздуха достигается болъе высокая жаропроизводительность:

Въ этомъ случать расходуется изъ топлива гораздо меньше теплоты на нагръвание азота, переходящаго цъликомъ въ продукты горъния.

### 11. Причины, препятствующія росту т-ры горѣнія.

а) Измъняемость удъльных теплот изово при постоянном давленіи. Теплоемкости газовь при постоянном давленіи:  $(CO_2)$ , (N), (O), (H), (CO) воздуха и водяных паровъ  $(H_2O)$ , входящих въ составь газообразных продуктовъ горънія не являются постоянными величинами, а измѣняются съ измѣненіями т-ръ, увеличиваясь съ ихъ ростомъ, что влечеть за собою увеличеніе знаменателей въ 1-мъ и 2-мъ выраженіяхъ ур-нія (6)-го, а слѣдовательно уменьшеніе значенія для т-ры горѣнія T.

Мендельевь выразиль зависимость между удъльной теплотой при постоянномъ давленіи главныйшихъ составныхъ частей продуктовъ горьнія и температурой нижесльдующими формулами:

для углекислоты 
$$(CO_2)$$
  $c_1 = 0.189 + 0.000095$   $T;$ 
» паровъ воды  $(H_2O)$   $c_2 = 0$ ,  $41 + 0.000206$   $T;$ 
» азота  $(N)$   $c_3 = 0.239 + 0$ ,  $00005$   $T;$ 
» кислорода  $(O)$   $c_4 = \frac{7}{8}$   $c_3;$ 

Теплоемкость сърнистаго газа ( $SO_2$ ) считается величиной постоянной и равной  $c_3=0,15;$ 

Точно также, для золы принимають  $c_6 = 0,20$ ;

Формулы Менделъева даютъ возможность при извъстномъ значении полной  $K_1$ , или полезной  $K_2$  теплопроизводительности даннаго топлива вычислить температуру горънія, если данъ составъ продуктовъ горънія.

Дъйствительно, обозначимъ, какъ показано ниже, въса и удъльныя теплоты составныхъ частей продуктовъ горънія, по даннымъ анализа.

$$(CO_3)$$
 по вѣсу:  $q_1$  klgr.; теплоемкость:  $c_1$ ;  $(H_2O)$  "  $q_2$  " "  $c_2$ ;  $(N)$  "  $q_3$  " "  $c_3$ ;  $(O)$  "  $q_4$  " "  $c_4$ ;  $(SO_2)$  "  $q_5$  "  $q_5$  "  $c_6$ ;  $3$ олы "  $q_6$  " "  $c_6$ ;

Примемъ для общности, что начальная т-ра, вмѣсто 0°с равна t°с, пусть абсолютная теплопроизводительная способность даннаго горючаго обозначена черезъ  $K_1$ , а полезная черезъ  $K_2 = K_1 - \kappa_1$ , гдѣ  $\kappa_1$  есть теплота, унесенная парами воды, тогда, согласно равенства (b) № 10-го можемъ составить выраженіе:

$$K_2 = K_1 - K_1 = (T - t). [q_1c_1 + q_2c_2 + q_3c_3 + q_4c_4 + q_5c_5 + q_6c_6]$$
. . 9

Такъ какъ вѣсъ паровъ воды равенъ  $q_2$  klgr., то  $\kappa_1=600~q_2$ ; подставляя въ ур-ніе (q) значенія теплоемкостей, выраженныя черезъ Т въ формулахъ Менделѣева, получимъ:

$$\begin{split} \mathrm{K_2} &= \mathrm{K_1-600q_2} = (\mathrm{T-t}) \left\{ \begin{array}{l} \mathrm{q_1} \left[ 0.189 + 0.000095(\mathrm{T-t}) \right] + \mathrm{q_2} [0.41 + \\ + 0.000206(\mathrm{T-t}) \right] + \mathrm{q_3} [0.239 + 0.0005(\mathrm{T-t}) \right] + \mathrm{q_4}^{-7} /_{8} [0.239 + \\ + 0.00005(\mathrm{T-t}) \right] + 0.15 \mathrm{q_5} + 0.20 \mathrm{q_6} \right\} \end{split}$$

для упрощенія вычисленій выраженія (T-t) въ больших скобках заміняются обыкновенно множителем T и тогда ур-ніе принимаєть боліє простой видь:

При извъстномъ  $K_2$  или  $K_1$  ур-ніе (11) можетъ быть ръшено относительно искомой т-ры T.

Задача о вычисленіи т-ры горѣнія можеть быть рѣшена не только тогда, когда даны вѣса продуктовъ горѣнія, но и въ томъ случаѣ, когда данъ химическій анализъ пробы горючаго и коэффиціентъ из бытка воздуха п.

Ръшимъ эту задачу въ приложении къ одному частному случаю.

#### Численный примъръ.

Положимъ, по даннымъ анализа въ 100 klgr. лежалаго антрацита, оказалось:

Вѣсъ углекислоты (
$$CO_2$$
):  $q_1 = \frac{11}{3} \text{ klgr. } (CO_2) + \frac{89,91}{100} = 3,297 \text{ klgr.}$ 

Въсъ водяныхъ паровъ ( $H_2\mathrm{O}$ ) отъ сгоранія водорода (H) и изъгигроскопической воды топлива:

$$q_2' = \frac{1,25 \times 9 \text{klgr (H}_2\text{O}) + 4.20}{100} = 0,155 \text{ klgr.}$$

Вѣсъ водяныхъ паровъ ( $\rm H_2O$ ) изъ воздуха, притекавшаго для горѣнія, полагая его относительную влажность въ  $70^{\rm o}/_{\rm o}$ , а т-ру  $\rm t=+15^{\rm o}c$ , найдется, если предварительно будетъ вычисленъ вѣсъ впущеннаго воздуха; этотъ вѣсъ равенъ:

$$2\frac{[(89,91\times^{8}/_{3})+(1,25\times8)+(1,00\times1,00)-1,00]\times100}{100+23}=2\times10,86=21,72 \text{ klgr.}$$

Поэтому, въсъ паровъ:

$$q_2''=0.0105\times0.70\times21.72=0.160$$
 klgr.

Полный вѣсъ паровъ:

$$q_2 = q_2' + q_2'' = 0,155 + 0,160 = 0.315$$
 klgr.

Вѣсъ азота (N):

$$q_3 = \frac{21.72 + 77}{100} + 0,0064 = 16,72 + 0,0064 = 16.73 \text{ klgr.}$$

Въсъ кислорода (О) изъ воздуха (кислородъ топлива весь соединился съ водородомъ въ пропорціи воды)

$$q_4 = 21.72 \times \frac{23}{100} = 4.996 - 5.00 \text{ klgr.}$$

Въсъ сърнистаго газа (SO<sub>2</sub>):

$$q_s = \frac{1,00 \times 2}{100} = 0.02$$
 klgr.

Вѣсъ золы

$$q_6 = \frac{2,00}{100} = 0.02 \text{ klg.}$$

Принявъ для лежалаго антрацита  $K_1 = 7650$  cal., подставляемъ найденные въса продуктовъ горънія въ формулу (11), находимъ:

$$\begin{array}{l} {\rm K_2 = 7650 - (600 \times 0.315) = (T - 15) \times \{\,3.297\,(0.189 + 0.000095{\rm T}) + \\ + \,0.315\,(0.41 + \,0.000206{\rm T}) + 16.73\,(0.239 + \,0.00005\,{\rm T}) + {}^{7/_8} \times 5.00\,(0.239 + \\ + \,.00005{\rm T}) + (0.02 \times 0.15) + (0.02 \times 0.20)\};} \end{array}$$

ръшая это ур-ніе относительно искомой т-ры горьнія Т, приходимъ къ квадратному ур-нію:

$$0,00068T^2 + 5,794T = 7551,06;$$

Откуда получаемъ:

$$T = -2,90 \pm \sqrt{8,41 + 7551.06};$$

что при положительномъ значеніи корня доставляеть:

$$T = +866,50$$
°C.

Въ данномъ случать нами былъ предположенъ двойной впускъ воздуха; если бы расчетъ былъ произведенъ при одиночномъ впускъ, то для т-ры гортнія получилось бы по расчету maxim'альное значеніе (Tmax.) для случая сожиганія въ воздухть, съ принятіемъ во вниманіе увеличенія теплоемкостей газовъ, входящихъ въ составъ продуктовъ гортнія.

# b) Явление диссоціаціи.

Второю причиною пониженія т-ры горѣнія оказывается диссоціація  $CO_2$  и  $H_2O$ , проявляющаяся при высокихъ т-рахъ и обусловленная обратимостью реакцій углекислоты и водяныхъ паровъ. Совершенное горѣніе углерода (С) и водорода (Н) протекаетъ по урніямъ:

$$C + O_2 = CO_2$$
  
 $H_2 + O = H_2O$   $\cdots$  (a)

Въ дальнъйшемъ, если углекислота и водяной паръ попадаютъ въ пространство высокой т-ры, происходитъ обратная реакція разложенія  $\mathrm{CO}_2$  и  $\mathrm{H}_2\mathrm{O}$  по ур-ніямъ:

$$CO_2 = CO + 0$$
  
 $H_2O = H_2 + 0$  . . . . . . . . (b)

Реакціи (а), какъ экзотермическія, сопровождаются выдѣленіемъ теплоты, реакціи же (b), какъ эндотермическія, наоборотъ, требуютъ затраты теплоты, отнимая ее у горящаго топлива и тѣмъ уменьшая ея количество въ дымовыхъ газахъ, что выражается пониженіемъ т-ры горѣнія Т. Математически это обстоятельство выражается уменьшеніемъ числителя  $K_2$  въ ур-ніяхъ (6), такъ какъ расходъ теплоты на диссоціацію надо считать произведеннымъ за счетъ уменьшенія полезной теплопроизводительности топлива; коэффиціенты въ формулахъ (8) Менделѣева для  $CO_2$  и  $H_2O$  взяты уже съ принятіемъ во вниманіе явленія диссоціаціи.

Въ настоящее время считають, что диссоціація понижаеть температуру гор $\pm$ нія на  $35^{\circ}$ С —  $65^{\circ}$ С если вводится въ топку холодный воздухъ.

При введеніи горячаго воздуха пониженіе температуры по причинъ диссоціаціи (CO<sub>2</sub>) и (H<sub>2</sub>O) можетъ доходить до 160°C — 220°C.

Трудами русскихъ и иностранныхъ изслъдователей получены цифры для теплоемкостей газовъ при постоянномъ давленіи въ зависимости отъ т-ръ. Здѣсь прилагается таблица этихъ величинъ, составленная проф. Бляхеромъ и взятая изъ книги проф. Дементьева.

Таблица № 19-й

удъльной теплоты нъкоторыхъ газовъ при постоянномъ давленіи, по даннымъ Курнакова, Менделъева, Блясса, Фишера и др.

The same of the sa			The state of the s						
Темпера-	Уг	пекисло (CO <sub>2</sub> ).	та	Водородъ (Н).	Кисло- родъ (О).	Окись углерода (CO) и азотъ (N).	Воздухъ.	Пары (Н	воды <sub>2</sub> O).
toc.	По Курнакову.	По Мендѣлееву.	ло Бляссу и Фишеру.	По Курнакову.	По Курнакову.	По Курнакову.	По Курнакову.	По Курнакову.	По Менделъвву.
+ 2000	0,217	0,204	0,216	3,409	0,217	0,244	0,237	0,480	0,45
1000	0,252 0,295	0,227	0,289	3,550 3,700	0,22 <b>2</b> 0,231	0,253 0,261	0,246 0,256	0,511	0,51
1500	0,327	0,303	0,289	3,850	0,231	0,275	0,256	0,605	0,6
2000	0,409	0,341	0,329	4,000	0,250	0,286	0,278	0,844	0,8
2500	0,434	0,379		4,050	0,253	0,289	0,281	0911	0,9
3000	0,402	0,417	-	4,150	0,261	0,2: 6	0,288	1 017	1,0
3500	0,398	0,455		4,550	0,284	0,325	0,325	1,050	1,1

с) третьей причиной, препятствующей достиженю на практикъ высокой жаро-производительности являются разнообразныя потери тепла. Если обозначить сумму ихъ черезъ  $\Sigma \, k_2$ , то для T практ. можемъ аписать выраженіе:

$$T$$
 практ. =  $-\frac{K_2 - \Sigma k_2}{q_1 c_1 + q_2 c_2 + \dots q_{\alpha} c_{\pi}}$ ;

#### 12. Температура печного пространства.

Температура печного пространства зависить кромѣ жаропроизводительности топлива еще отъ массы привходящихъ условій, среди которыхъ очень важную роль играетъ цѣлесообразность конструкціи очага по отношенію къ даннаго рода топливу. Вопросу объ этой цѣлесообразности отведено мѣсто въ ІІ-мъ отдѣлѣ книги при описаніи топливниковъ печей, здѣсь же дадимъ приближенное выраженіе для средней т-ры печного пространства, обозначивъ черезъ К₂ количество теплоты, вводимое въ топку съ однимъ klgr. топлива; черезъ р вѣсъ топлива, сгорающаго въ теченіе часа; черезъ В вѣсъ воздуха, вводимаго для горѣнія на 1 klgr. топлива; черезъ С теплоемкость продуктовъ горѣнія и черезъ ф нѣкоторую постоянную величину, зависящую отъконструкціи топочнаго аппарата—коэффиціентъсовершенства топки. При этихъ обозначеніяхъ средняя т ра въ очагѣ:

$$T = \frac{K_2}{(1+B) C + \frac{\varphi}{p}};$$

достижимая въ топочномъ пространствъ т-ра опредъляется приближенною формулою:

 $T = \frac{K_2}{0.24(1+B)};$ 

Здѣсь 0,24—количество углерода, необходимое для нагрѣванія 1 klgr. газовъ на 1°с., количества же воздуха для горѣнія берутся изъ таблицы Пекле.

Таблица № 20-й.

Ha 1 klgr. горючаго:	теој ское ство	меньшее ретиче- количе- рез- уха.	Практическій рас- ходъ воздуха для гор'янія въ klgr.	Практическій Коэффиціенть из- бытка п.
	3 въ mt.	въ kigr.	Практич ходъ в горънія	Пра Коэфф бытка
Дерево воздушной сушки	3,60	4,65	9.30	2
Древесный уголь	7.64	10,30	20,60	2
Торфъ воздушной сушки	4,51	5,83	11.66	2
Каменный уголь	8,35	10,80	21,60	12
Коксъ	7,50	9,70	19,40	n arrena n amango

Считаемъ полезнымъ привести здѣсь цифры теоретической жаропроизводительности T max., полученныя вычисленіемъ при коэффиціентѣ избытка  $n=1\cdot$ цѣ.

Таблица № 21-й.

# теоретической жаро-производительности $T_{max}$ при n=1-цѣ.

Вещества.	По Курна- кову:	По Менде-
our system of respect to an armine of the state of	Tmax0c	Tmax oc
Твердый углеродъ (с) въ воздухѣ кислородъ	1900—1990 2900—3300	1901
Дерево	is a design t	1542
Каменный уголь	EXHIMPARED	1820
Древесный уголь		1840
Коксъ	TOTORY	1840
Тороъ (сухой)		1660
- Нефть	TENDED HON	1830
Водородъ (въ кислородъ)	2500—2700 1900	1814
Свътильный газъ въ воздухъ	1811—1823	
Окись углерода	2040	1957
Метанъ		1662
Ацетиленъ	e see drow	2130

Измъреніе высокихъ т $\cdot$ ръ въ топочныхъ устройствахъ составляетъ предметъ технической термометріи и пирометріи. Здъсь приводимъ цифры нъкоторыхъ измъренныхъ высокихъ т $\cdot$ ръ.

#### Таблица № 22-й.

нѣкото	рыхъ пра	ктиче	СКИ	изм	<b>b</b> pe	ннь	ІХЪ В	ысоких	ъ :	г∙ръ.
Пламя спи										
Бунзеново										
Электриче	еская лам	почка	нак	алив	ані	я.	,	1800	,,	2100°c.
Плавленіе	бѣлаго ч	угуна		91.04	100	211.		HET RE		1135°c.
	съраго									1220°c.
	желѣза						"	1455	,,	1475°c.
"	мъди .		Serie.							1076°c.
,,	серебра	•								962°c.
	золота							00		1065°c.
"	платины									1710°c.
	никкеля									1496°c.
Вольтова	дуга .	West he	en alle	erica is				3700°c	"	4100°c.
Огнеупор							""	1670	"	1700°c.
Кирпичео										1100°c.
Печь для	обжига н	аменн	ОЙ	посу	ДЫ					1142°c.
Доменная										1930°c.
Паяльная	лампа (m	aximu	m)			1113				1400°c.

## ГЛАВА V.

# Дымовые газы.

# 1. Необходимый для полнаго сгоранія топлива теоретическій объемъ воздуха.

Правильно протекающій процессъ горѣнія всякаго топлива долженъ заканчиваться сгораніемъ всего содержавшагося въ топливѣ углерода (С) въ углекислоту ( $CO_2$ ), водорода (H) — въ пары воды ( $H_2O$ ) и сѣры (S) — въ сѣрнистый газъ ( $SO_2$ ).

Реакціи горѣнія этихъ элементовъ, какъ уже указано, протекаютъ по ур-ніямъ:

$$C + O_2 = CO_2$$
;  $H_2 + O = H_2O$ ;  $S + O_2 = SO_2$ ;

атомные въса элементовъ, участвующихъ въ реакціяхъ горьнія, суть:

для углерода (C) — 12;

- » водорода (H) 1;
- житеров « . съры (S) 32;
- » кислорода(O) 16;

Поэтому, при горѣніи углерода по ур-нію:  $C + O_2 = CO_2$ , 12 вѣсовыхъ частей углерода (C) соединяются съ  $(2 \times 16) = 32$  частями кислорода (О), образуя 44 въсовыхъ части углекислоты СО2:

$$12 (C) + (2 \times 16) (O) = 44 (CO_2);$$

точно также, при горъніи водорода по ур-нію  $H_2 + O = H_2O$ ,  $(2 \times 1) =$ = 2 въсовыя части водорода (Н) соединяются съ 16-ю частями кислорода (О), образуя 18 в совых частей водяных паровъ (Н2О);

$$(2 \times 1) (H) + 16 (O) = 18 (H2O);$$

при сгораніи стры по ур-нію:  $S + O_2 = SO_2$ , 32 въсовыя части стры (S), соединяясь съ  $(2 \times 16) = 32$  частями кислорода (O), дають 64 вѣсовыя части сфристаго газа (SO<sub>2</sub>):

$$32 (S) \times (2 + 16) (O) = 64 (SO2).$$

Принявъ за въсовую ед цу klgr., находимъ, что для полнаго сожиганія 1 klgr. углерода (C) въ углекислоту требуется:  $\frac{32}{12} = \frac{8}{3}$  klgr. кислорода (О), при чемъ въ результатъ горънія должно получиться

$$\frac{44}{12} = \frac{11}{3}$$
 klgr. углекислаго газа (CO<sub>2</sub>).

Точно также, для сожиганія 1 klgr. водорода (H) оказывается необходимымъ затратить:  $\frac{16}{9}$  = 8 klgr. кислорода (O) съ тъмъ, чтобы получить въ качествъ продукта горънія  $\frac{18}{2} = 9$  klgr. водяного пара  $(H_{o}O)$ .

Наконецъ, сожиганіе 1 klgr. съры (S) въ сърнистый газъ (SO<sub>2</sub>) требуетъ затраты  $\frac{32}{52}$  = 1 klgr. кислорода (O) при чемъ въсъ продукта горвнія сврнистаго газа (SO<sub>2</sub>) равень 2 klgr.

Если намъ извъстно въ %-ахъ содержание горючихъ элементовъ (C), (H) и (S) и кислорода (O) въ одной въсовой части, напримъръ, въ 1 klgr. даннаго топлива, то легко можетъ быть вычисленъ въсъ кислорода, необходимаго для сгоранія топлива.

Положивъ въ одномъ klgr. топлива:

Содержаніе углерода = (C)  $^{0}/_{0}$  водорода = (H)  $^{0}/_{0}$ 

сѣры = (S) <sup>0</sup>/<sub>0</sub>

кислорода = (O) <sup>0</sup>/<sub>0</sub>

Необходимый въсъ кислорода можемъ выразить формулою:

O<sub>Heo6x.</sub> = 
$$\frac{\frac{8}{3}(C) + 8(H) + 1.00(S) - (O)}{100}$$
 klgr. . . . . . (1)

Въ практикъ сожигание ведется не съчистымъ кислородомъ, а съ кислородомъ, извлекаемымъ изъ атмосфернаго воздуха. Въ составъ воздуха кислородъ (О) по въсу составляетъ только 23%, остальные

 $77\%_0$  вѣса относятся на азотъ (N), не принимающій участія въ горѣніи; слѣдовательно, вѣсовое количество воздуха (В необх.), способное доставить (О необх.) klgr. кислорода должно быть больше вѣса этого

послѣдняго въ отношеніи 
$$\frac{100}{23}$$
, т.-е.

$$B_{\text{(Heo6x.)}} = \frac{100}{23} O_{\text{(Heo6x.)}} = \frac{100 \left[ \frac{8}{3} (C) + 8 (H) + 1,00 (S) - (O) \right]}{23 \times 100} \text{klgr.}$$
 (2)

раздѣливъ В (необх.) на вѣсъ 1 mtr.³ воздуха при давленіи въ 760  $^{\text{м}}$ / $_{\text{м}}$ . ртутнаго столба и  $O^{\text{0}}$ с. т.-е. на 1,293 klgr. найдемъ объемъ воздуха L (необх.,) необходимый для сгоранія 1 klgr. топлива указаннаго выше состава:

$$L_{\text{(Heo6x.)}} = \frac{B_{\text{(Heo6x.)}}}{1,293} = 3,36 \frac{\left(\frac{8}{3}(\text{C}) + 8(\text{H}) + 1.00(\text{S}) - (\text{O})\right)}{100} \dots (3)$$

Въсъ воздуха В (необх.), опредъленный по формулъ (2) въ klgr. или объемъ (L необх.) въ mtr³-ахъ назывеются теоретическимъ расходомъ и представляютъ тотъ minimum, при которомъ, разсуждая теоретически, можетъ произойти полное сгораніе одного klgr. топлива. Въ дъйствительности, почти никогда сожиганіе твердаго топлива не производится при теоретическомъ (одиночномъ) объемъ воздуха, такъ какъ имъется много причинъ затрудняющихъ, правильное теченіе процесса горънія. Практика установила для твердыхъ видовъ горючаго 2-хъ кратный объемъ воздуха, для жидкихъ — полуторный, одиночный же считаютъ возможнымъ только при топливъ газообразномъ.

2) Численные примъры опредъленія теоретическаго расхода воздуха (В необх.) и (L необх.) для сожиганія 1 klgr. топлива.

Примъръ № 1-й.

Топливо — дрова воздушной сушки; химическій составъ:

въ 1 klgr. топлива: по Менделѣеву: углерода (С) . . . . 
$$40_0/^0$$
 » водорода (Н) . . .  $4,8_0/^0$  » кислорода (О) . . .  $34,5_0/^0$  » воды ( $H_2$ О) . . . .  $20_0/^0$  » золы . . . . .  $0,7_0/^0$  » Всего  $100_0/^0$  по вѣсу.

Теоретическій въсъ воздуха (В необх.) по формуль (2):

$$B (\text{Heoбx.}) = \frac{100 \left(\frac{8}{3} (\text{C}) + 8 (\text{H}) + 1,00 (\text{S}) - (\text{O})\right)}{23 \times 100} =$$

$$= \frac{\left(\frac{8}{3} \times 40\right) + (8 \times 4,8) - 34,50}{23} = \frac{106,66 + 38,40 - 34,50}{23} =$$

$$= \frac{110,56}{23} = 4,80 \text{ klgr. воздуха.}$$

$$L_{\text{Heoбx.}} = \frac{B_{\text{Heofox.}}}{1,293} = \frac{4,800}{1,293} = 3,71 \text{ mtr.}^3 \text{ воздуха.}$$

Примъръ № 2-й. Мира на Караления колония вод в да

Топливо-грушевскій антрацить кошкинских копей, по анализу проф. Алексвева.

въ 1 klgr. топлива:

Согласно той же формулы (2) находимъ: 
$$B(\text{Heo6x},) = \frac{\left(\frac{8}{3} \times 89,91\right) + (8 \times 1,25) + (1,00 \times 1,00) - 1,00\right) 100}{23 \times 100} = \frac{239.76 + 10,00 + 1,00 - 1,00}{23} = \frac{249,76}{23} = 10,86 \text{ klgr. воздуха.}$$

и по формулѣ (3):

$$L$$
 (необх.) =  $\frac{10,86}{1,293}$  = 8,40 mtr.<sup>3</sup> воздуха.

- 3) Количество газообразныхъ продуктовъ горѣнія, получаемое при сожиганіи 1 klgr. топлива.
- а) при сгораніи 1 klgr. углерода (С) въ углекислоту (СО2) образуется  $\frac{11}{9}$  klgr. этого газа при чемъ содержаніе углерода (С) равно  $^{3}/_{8}=1$  klgr. а кислорода (O)  $^{8}/_{3}$  klgr. Для полученія  $^{8}/_{3}$  klgr. кислорода необходимо было ввести съ нимъ азота:

$$\frac{8}{3} \times \frac{77}{23} = 8,93$$
 klgr.

Продукты горѣнія (CO<sub>2</sub>) имѣють вѣсъ:  $\frac{11}{3} = 3,67$  klgr.

введенный съ кислородомъ азотъ (N) воздуха въситъ 8,93 klgr. поэтому, полный въсъ дымовыхъ газовъ:

$$3,67$$
 klgr. (CO<sub>2</sub>) +  $8,93$  klgr. (N) = 12,60 klgr.

Провърить этотъ результатъ можемъ слъдующимъ образомъ: въсъ углерода (С) составляеть 1 klgr.

для сожиганія его требуется воздуха:

$$B ext{ (необх.)} = \frac{8/_3(C)100}{23 \times 100};$$
 принявъ  $C = 100 \, ^0/_0$ , имѣемъ:  $B_{\text{необх.}} = \frac{8/_3 \times 100}{23} = 11,60 \, \text{klgr.}$ 

Bcero: 1 klgr. (C) +11,60 klgr. (воздуха) =12,60 klgr.

Такъ какъ удѣльный вѣсъ углекислоты ( $CO_2$ ) равенъ 1,98 а азота—1,257, то объемъ продуктовъ горѣнія равенъ:  $\frac{3,67}{1,98} + \frac{8.93}{1,257} = 8.95$  mtr. впри теоретически необходимомъ (одиночномъ) объемѣ воздуха.

b) При сгораніи одного klgr. водорода (H) въ пары воды  $(H_2O)$  получается послъднихъ по въсу: 9 klgr. при чемъ съ 8-ю klgr. кисло-

рода введено 
$$\frac{8 \times 77}{23} = 26,8$$
 klgr. азота.

Въсъ продуктовъ горънія: 9 klgr. ( $H_2O$ ) + 26,8 klgr. (N) = 35,8 klgr.;

объемъ ихъ: 
$$\frac{9.00}{0,805} + \frac{26.80}{1,257} = 11,18 + 21,32 = 32,50$$
 mtr. 8

овърка: для сожиганія 1klgr. водорода (Н) надо ввести воздуха:

$$B(\text{Heofx.}) = \frac{8 \times 100}{23} = 34,80 \text{ klgr.}$$

Общій въсь 1 klgr. (H) + 34,80 klgr. (воздуха) = 35,80 klgr.

с) При сожиганіи 1 klgr. сѣры (S) въ сѣрнистый газъ (SO $_2$ ) требуется 1 klgr кислорода (O).

Съ этимъ кислородомъ вводится  $\frac{77}{23} \times 1,00 = 3,35$  klgr. азота. Въсъ продуктовъ горънія:

Объемъ ихъ:

$$\frac{2}{2,86} + \frac{3.35}{1,257} = 0.70 + 2.66 = 3.36$$
 mtr.<sup>3</sup>.

Повърка:

для сожженія 1 klgr. (S) требуется ввести воздуха:

B<sub>(neo6x,)</sub> = 
$$\frac{1,00 \times 100}{23}$$
 = 4,35 klgr.

Общій въсъ:

1 klgr. (S) 
$$+4,35$$
 klgr. (воздуха)  $=5,35$  klgr.

Итакъ, при сожиганіи 1 klgr. углерода (С) при теоретически необходимомъ объемѣ воздуха получается 8,95 mtr. здымовыхъ газовъ;

Если данъ химическій составъ топлива, то количество дымовыхъ газовъ при теоретическомъ объемъ воздуха можетъ быть вычислено на основаніи разсужденій, подобныхъ только что изложеннымъ. Раз-

смотримъ здѣсь два численныхъ примѣра, воспользовавшись данными выше приведенныхъ примѣровъ.

Примъръ № 1-й.

Вычислить въсъ и объемъ дымовыхъ газовъ, образующихся отъ сожиганія 1 klgr. дровъ при теоретически необходимомъ объемъ воздуха.

Данныя химическаго анализа: на 100 klgr. дровъ;

Углерода (C) 40%	
Водорода (H) $4,8^{0}/_{0}$	mander decay reduction
Кислорода (O) 34,5%	Donat 100 state
Азота (N) 1.0°/0	Всего 100 вѣсовыхъ %.
Воды $(H_2O)$ $19,0^0/_0$	
Золы 0 7 %	PARTICIPATION NEL CONTROL

Расчетъ расхода кислорода на сожигание (С) и (Н).

а) На сожиганіе (С):

SEXULEO

$$40,00 \times {}^{8}/_{3} = 106,66$$
 klgr.

b) На сожиганіе (H):

$$4,80 \times 8 = 38,40$$
 klgr.;

Всего необходимо кислорода . 110,56 klgr.

Расчетъ вѣса воздуха:

110,56 klgr. кислорода могутъ быть доставлены въсомъ воздуха равнымъ:

$$\frac{110,56\times100}{23}$$
 = 481 klgr.

Расчетъ дымовыхъ газовъ:

Изъ 40 klgr. (С) получается:

$$\frac{40 \times 11}{3} = 146,66$$
 kfgr. (CO<sub>2</sub>).

Изъ 4,8 klgr. (II) . . 4,8  $\times$  9 = 43,20 klgr. (H,0) въ видѣ паровъ. Въ топливѣ содержится воды: 19,00

Изъ 480 klgr. воздуха освобождается азота:

$$\frac{480 \times 77}{100}$$
 = 369,60 klgr. (N).

Въ самомъ топливъ содержится азота: 1,00 klgr.

Всего: . 370,60 klgr. (N).

Bcero изъ 100 klgr. топлин	ва образуется газообразныхъ продук-
товъ и паровъ по вѣсу:	Ввек воздука, опособный востава

Углекислоты $(CO_3)$	Made to Any 12th					146,66	klgr.	
Паровъ воды (H <sub>2</sub> O)								
Азота (N)								
	Bcero.	000			117	579,46	klgr.	OFF
Тоже — по объему:								mia
Углекислоты (CO <sub>2</sub> )			No.	A. Ma	14	$\frac{6.66}{00} =$	74 07	ıntr

Всего на 100 klgr. топлива получается . . 445,33 mtr.3.

газообразныхъ продуктовъ или

на 1 klgr 4,45 mtr.<sup>3</sup> холодныхъ (при 0°С) дымовыхъ газовъ. Повърка: 579,46 klgr. дымовыхъ газовъ состоятъ изъ въса топлива за вычетомъ золы:

$$(100 - 0,70) + 481$$
 klgr. воздуха = 579,30 klgr.

Примѣръ № 2-й.

Вычислить вѣсъ и объемъ дымовыхъ газовъ, образующихся при сожиганіи 1 klgr. антрацита Грушевскихъ копей Кошкина при теоретически необходимомъ объемѣ воздуха.

Составъ 100 klgr. антрацита, согласно апализа проф. Алексвева, слъдующій:

Въ 100 klgr. антрацита содержится

Углерода	(C) .	10				89,91	klgr.
Водорода	(II) .					1,25	))
Сѣры (S)	0.000					1,00	»
Кислород	a(0)	il.	1			1,00	»
Азота (N)		(.0		•	.9	0,64	m) šo
Воды (Н2С	))					4,20	»
Золы	416,54	74	-			2,00	»
	Bo	его				100	klgr.

а) Расчетъ расхода кислорода:

Для сожиганія: 89,91 klgr. (С) въ (СО $_2$ ) — 89,91  $\times$   $^8/_3$  = 239,76 klgr.; , 1,25 " (Н) въ (П $_2$ О) (пары воды) 1,25  $\times$  8 = 10,00 "

1,00 " (S) въ ( $SO_2$ ) " " 1,00 $\times$ 1,00=1,00 "

 -нуков) i Расчетъ расхода воздуха.

Вѣсъ воздуха, способный доставить это количество кислорода равенъ:

 $\frac{249.76 \times 100}{23} = 1086$  klgr.

Это есть теоретически необходимый (одиночный) расходъ воздуха.

с) Расчетъ въса дымовыхъ газовъ.

Изъ 89,91 klgr. (С) получается 89,91  $\times \frac{11}{3}$  (СО<sub>2</sub>) = 329,67 klgr., (СО<sub>2</sub>); " 1,25 " (Н) " 1,25 $\times$ 9 (Н<sub>2</sub>О)=11,25 klgr. (Н<sub>2</sub>О) въвидъпаровъ

въ топливъ содержится влаги 4,20 klgr.

Bcero . . 15,45 klgr. (H<sub>2</sub>O) паровъ воды.

Изъ 1086 klgr. воздуха освобождается:  $\frac{1086\times77}{23}$  = 836,22 (N) азота.

Изъ 1,00 klgr. съры получается: 1,00  $\times$  2 = 2,00 klgr. (SO<sub>2</sub>);

Всего изъ 100 klgr. топлива получается: 1183,98 klgr. дымовыхъ газовъ.

Повърка: 1183,98 klgr. газовъ состоять изъ въса 100 klgr. топлива за вычетомъ 2,00 klgr. золы и изъ 1086 klgr. воздуха:

$$(100 - 2,00) + 1086 = 1184$$
 klgr.

d) Расчеть объема дымовыхъ газовъ.

Объемъ углекислоты  $(CO_2)$ :  $\frac{329.67}{1,98}$  = 166,50 mtr.3;

" паровъ воды ( $H_2O$ ):  $\frac{15,45}{0,805} = 19,19$  mtr.»;

" азота (N):  $\frac{836.86}{1,257} = 665,76 \text{ mtr}^{-3};$ 

" сърнистаго газа ( $SO_2$ ):  $\frac{2,00}{2,80} = 0,70 \, \text{mtr.}^3$ ;

Полный, приведенный къ  $0^{\circ}$ С объемъ дымовыхъ газовъ на 100 klgr. антрацита . . . 852,15 mtr. $^{\$}$ .

Объемъ дымовыхъ газовъ на 1 klgr. антрацита:

$$q = \frac{852,15}{100} = 8,5215 \text{ mtr.}^3.$$

Примъчаніе. Практически сожиганіе твердаго топлива ведется при двойномъ притокѣ воздуха, поэтому, объемъ и вѣсъ дымовыхъ газовъ въ этихъ условіяхъ будутъ больше. Въ нашемъ, напримѣръ, послѣднемъ примѣръ, при двойномъ притокѣ воздуха

къ исчисленнымъ выше количествамъ прибавится еще 1086 klgr. воздуха;

или 
$$\frac{1086}{1,293}$$
 = 840 mtr.3; на 100 klgr. топлива,

а на 1 klgr. 8,40 mtr.<sup>3</sup>; такимъ образомъ полный объемъ холодныхъ дымовыхъ газовъ будетъ равенъ:

 $8,5215 + 8,40 = 16,9215 \text{ mtr.}^3$   $\checkmark$  17 mtr. $^3$ ; на 1 klgr. антрацита;

или 245 куб. фут. на 1 фунтъ антрацита.

Объемъ вводимаго воздуха на 1 фунтъ антрацита при двойномъ впускъ составляетъ 243 куб. фута.

Вѣсъ I mtr<sup>3</sup> дымовыхъ (холодныхъ) газовъ равенъ:

$$\frac{2270}{1692,15} = 1,34$$
 klgr.

# Потеря теплоты дымовыми газами.

1) Зависимость потери теплоты дымовыми газами отъ избытка воздуха.

Прослѣдимъ процессъ горѣнія І klgr. углерода (С) при теоретическомъ расходѣ воздуха.

Реакція горънія протекаетъ по ур-нію:

1 klgr. (C) 
$$+\frac{8}{3}$$
 klgr. (O<sub>2</sub>)  $=\frac{11}{3}$  klgr. (CO<sub>2</sub>);

т.-е. на 1 klgr. углерода требуется  $8/_3$  klgr. кислорода.

Черпая кислородъ для горвнія изъ атмосфернаго воздуха, мы должны ввести его въ количествь:

$$\frac{8 \times 100}{3 \times 23} = 11,60$$
 klgr.

т.-е. на каждые 23 klgr. кислорода 100 klgr. воздуха.

Вѣсъ веществъ, вступающихъ въ реакцію, очевидно равенъ:

1 klgr. (C) 
$$+$$
 11,60 klgr. (воздуха)  $=$  12,60 klgr.

Въ качествъ продуктовъ горънія являются:

$$\frac{11}{3}$$
 klgr. (CO<sub>2</sub>)

и вѣсъ азота (N), переходящаго изъ воздуха въ дымовые газы безъ всякихъ измѣненій въ вѣсѣ.

Количество этого азота равно:

$$\frac{77}{100} \times 11,60 = 8,93$$
 klgr.

Полный въсъ дымовыхъ газовъ:

$$\frac{11}{3}$$
 klgr. (CO<sub>2</sub>) + 8,93 klgr. (N) = 3,67 + 8,93 = 12,60 klgr.

т.-е. въсъ продуктовъ горънія и въсъ исходныхъ веществъ равны между собою.

Вычислимъ объемы:

Объемъ воздуха равенъ при О°С.

$$\frac{11.60}{1,293} = 8,96 \text{ mtr.}^3;$$

Объемъ дымовыхъ газовъ:

$$(CO_2)$$
 . . . .  $\frac{3,67}{1,98} = 1,853 \text{ mtr.}^3;$ 
 $(N)$  . . . .  $\frac{8,93}{1,257} = 7,104 \text{ mtr.}^3.$ 

Оказывается, что и объемъ дымовыхъ газовъ, приведенныхъ къ 0°С въ точности равенъ объему воздуха, взятому также при 0°С.

Для вычисленія количества теплоты, уносимой дымовыми газами, необходимо задать себѣ температуру T, при которой газы переходять въ дымовую трубу. Въ среднемъ, эта температура можетъ быть принята въ +250°C.

Теплоемкости углекислоты  $(CO_2)$ , азота (N) и другихъ газовъ, обозначаемыя черезъ C, зависятъ отъ температуры и вычисляются по формуламъ Мольяра и Лешателье. Нѣкоторыя ихъ значенія даны въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ разсчета.

Теплота, уносимая дымовыми газами при этихъ условіяхъ вычисляется слѣдующимъ образомъ:

Теплота, уносимая углекислотою (CO<sub>2</sub>) въ объемъ 1,853 mtr.<sup>3</sup>

$$1,853 \times T \times c_v = 1,853 \times 250 \times 0,439 = 205$$
 Cal.

Азотомъ — въ объемѣ 7,104 mtr.3:

$$7,104 imes T imes c_{
m v} = 7,104 imes 250 imes 0,306 = 543$$
 45 Cal.
Всего теряется теплоты  $748,45$  Cal.

Такъ какъ абсолютная калориметрическая теплопроизводительность 1 klgr. углерода принята равною 8140 Cal. (по Фавру и Зильберману), то потеря теплоты въдымовыхъ газахъ при теоретическомъ расходъ воздуха составляетъ:

Найдемъ составъ и объемъ дымовыхъ газовъ при сожиганіи 1 klgr. углерода съ двойнымъ противъ теоретически необходимаго впускомъ воздуха.

Въ этомъ случат объемъ углекислоты останется безъ измѣненія равнымъ 1,853 mtr.<sup>3</sup>.

Къ исчисленному же выше объему азота, 7,104 mtr.3, еще прибавится объемъ кислорода (О) и азота (N) изъ состава воздуха въ объемъ 8,96 mtr.3.

Именно:

Полный объемъ дымовыхъ газовъ:

$(CO_2)$	RLPS	1 10		Ern	PAR I	ii.		15.1	1,853	mtr.3.
(N).	•			7,	164	X	2		14,208	mtr.3.
									1,856	
		Ŀ	3ce	ro		146			17,917	mtr.3.

a sortein. Teepe

Теплота, уносимая дымовыми газами:

или:

$$\frac{1436,20\times100}{8140}=17,6^{0}/_{0}.$$

Изъ сопоставленія двухъ расчетовъ оказывается, что съ увеличеніемо вдвое объема вводимаю воздуха почти вдвое увеличивается и потеря теплоты во дымовыхо газахо.

На этомъ основаніи приходится признать, что всякій избытокъ воздуха сверхъ необходимаго для горьнія понижаетъ степень использованія теплоты, выдъляемой топливомъ, поэтому, техника должна принимять мъры къ возможному уменьшенію этого избытка путемъ правильнаго, согласнаго съ условіями горьнія, ухода за топкою и къ контролю избытка непрерывному или періодическому.

# 2) Способы опредъленія избытка воздуха.

A) Способъ прямого измъренія объема воздуха, поступившаго въ единицу времени, вообще говоря, возможенъ.

Если извъстно поперечное съчение поддуваемаго канала  $\omega$ , въ mtr.  $^2$  средняя секундная скорость воздушнаго потока v, въ mtr. температура притекающаго воздуха t и продолжительность промежутка времени m въ часахъ, начиная съ момента начала впуска до момента закрытія поддувальной дверцы, то объемъ Q въ mtr.  $^3$  протекшаго воздуха, отнесенный къ Q0 C0. выразится формулою:

$$Q = \frac{(m \times \omega \times v \times 3600)}{(1 + \alpha t)};$$

вычисливъ далѣе на основани данныхъ химическаго анализа теоретически необходимый объемъ воздуха  $Q_{\rm o}$  можемъ найти отношение:

$$n = \frac{Q}{Q_0}$$

называемое коэффиціентомъ избытка.

Численный примъръ:

Положимъ, что въ теченіе 1 часа (m=1-цѣ) на рѣшеткѣ топливника сгораетъ 10 klgr. антрацита. Химическій составъ его извѣстенъ. Теоретически подсчитанный расходъ воздуха составляетъ по вѣсу: 108,6 klgr., а по объему при  $O^0$  C.:

$$Q_0 = \frac{108,60}{1,293} = 84,00 \text{ mtr.}^3;$$

положимъ, что съченіе поддувальнаго канала:

$$\omega = 0.15 \text{ mtr.} \times 0.30 \text{ mtr.} = 0.045 \text{ mtr}^2$$
.;

измъренная анемометромъ секундная скорость воздушнаго потока въ каналъ равна:

$$v = 1,20$$
 mtr. въ сек.

Температура притекающаго воздуха t = +15°C.

При этихъ данныхъ часовой объемъ воздуха, притекающаго черезъ поддувальный каналъ въ топку при О°С равенъ:

$$Q = \frac{1 \times 0.045 \times 1.20 \times 3600}{(1 + 0.00363 \times 15)} = \frac{194,40}{(1 + 0,06)} = 183,39 \text{ mtr}^3;$$
Отношеніе:  $\frac{Q}{Q_0} = \frac{183,39}{84,00} = n = 2,183;$ 

# В) Химическій способъ опредъленія избытка воздуха, основанный на составъ дымовыхъ газовъ.

Способъ непосредственнаго измѣренія объема воздуха Q можетъ давать только мало надежные результаты, поэтому наука и техника предпочитаютъ пользоваться косвеннымь способомъ, основаннымъ на опредѣленіи химическаго состава дымовыхъ газовъ. Такъ какъ химическій составъ дымовыхъ газовъ находится въ опредѣленной зависимости отъ количества воздуха Q участвовавшаго въ горѣніи, то по процентному содержанію отдѣльныхъ составныхъ частей этихъ газовъ, т. е.  $(CO_2)$ , (N) и  $(SO_2)$  можно вычислить и точную величину Q.

Теоретическія основанія химическаго способа опредъленія избытка воздуха заключаются въ слъдующихъ положеніяхъ:

1) При сожиганіи одной вѣсовой ед-цы чистаго углерода (С) съ воздухомъ, приведенный къ О°С объемъ продуктовъ горѣнія (дымовыхъ газовъ (СО₂) и (N) въ точности равенъ объему воздуха участво-

вавшаго въ горѣніи, не смотря на то, что часть кислорода (O) въ составѣ воздуха замѣщается углекислотою  $(CO_2)$ .

Фактъ этотъ объясняется закономъ Avogadro, по которому всъ молекулы газообразныхъ тълъ занимаютъ равныя объемныя пространства.

Напримъръ: Молекула кислорода  $\boxed{O_2}$  (32 klgr.) имъетъ такой же объемъ какъ и молекула углекислоты  $\boxed{\mathrm{CO}_2}$  (44 klgr.) несмотря на присоединеніе къ  $O_2$  одного атома углерода (C) (12 klgr.).

Профессоръ Бляхеръ очень наглядно представляетъ графически соотношеніе между составными частями воздуха (О) и (N) и дымовыхъ газовъ ( $\mathrm{CO}_2$ ) и (N) при сожиганіи углерода съ теоретическимъ и избыточнымъ объемами воздуха.

а) Горѣніе углерода съ теоретическимъ объемомъ воздуха. Коэффиціентъ избытка n=1.

Первоначальный составъ Составъ и объемъ дымовыхъ газовъ,

и объемъ воздуха.

приведенныхъ къ О°С.

100 частей воздуха по объему при О°С. 21°/<sub>0</sub> (О) по объему по объему по объему

100 частей дымовыхъ газовъ по объему при О°С.

 $\begin{array}{c|c}
 & 21^{\circ}/_{0} \text{ (CO}_{2}) \\
 & \text{по объему} \\
 & 79^{\circ}/_{0} \text{ (N)} \\
 & \text{по объему} \\
 \end{array}$ Весь кислородъ (О)

перещелъ въ угле
кислоту (СО $_{2}$ ).

взявъ отношение объема кислорода къ объему углекислоты въ процентахъ, получаемъ:  $\frac{21}{21} = 1;$ 

в) Горъніе углерода съ двойнымъ противъ теоретическаго объемомъ воздуха.

Коэффиціенть избытка n=2.

Первоначальный составъ Составъ и объемъ дымовыхъ газовъ

и объемъ воздуха.

приведенныхъ къ О°С.

100 частей воздуха по объему при О°С.

21º/ <sub>0</sub>	(O) ьему
79%/0	(N)
по об:	ьему

100 частей дымовыхъ газовъ по объему при О°С.

10,5% (CO <sub>2</sub> ) по объему
$\frac{10,5^{\circ}/_{0} \text{ (CO}_{2})}{10,5^{\circ}/_{0} \text{ (O)}}$ по объему.
79°/ <sub>0</sub> (N)
по объему.

Половина кислорода (О) по объему перешла въуглекисл (СО<sub>2</sub>).

Отношеніе объема кислорода къ объему углекислоты

$$\frac{21}{10,5} = 2;$$

с) Горѣніе углерода съ тройнымъ объемомъ воздуха: Коэффиціентъ избытка n=3.

Первоначальный составъ и объемъ воздуха.

Составъ и объемъ дымовыхъ газовъ, проведенныхъ къ О°С.

100 частей воздуха по объему при 0°C. 21°/0 (О) по объему 79°/0 (N) по объему

100 частей дымовыхъ газовъ по объему при 0°C.

1	7º/ <sub>0</sub> (CO <sub>2</sub> ) по объему
	14°/0 (О) по объему.
100000000000000000000000000000000000000	79°/ <sub>0</sub> (N)
	по объему.

Третья часть кислорода(О) перешла въ углекислоту.

Отношеніе первоначальнаго объема кислорода къ объему углекислоты

$$\frac{21}{7} = 3$$

Какъ видно изъ трехъ приведенныхъ примѣровъ, отношеніе первоначальнаго объема кислорода въ составѣ воздуха къ объему угле кислоты въ продуктахъ горѣнія представляетъ собою коэффиціентъ избытка. На этомъ основаніи коэффиціентъ избытка воздуха при сожиганіи углерода можетъ быть вычисленъ, если изъ состава дымовыхъ газовъ опредѣленъ объемъ углекислоты ( $\mathrm{CO}_2$ ) по отношенію къ 100 объемнымъ частямъ этихъ газовъ.

2) При горѣніи водорода (H) не существуетъ найденнаго для углерода равенства объемовъ воздуха и дымовыхъ газовъ и вычисленіе коэффиціента избытка воздуха п затрудняется такъ какъ изъ одной молекулы кислорода  $O_2$  образуются не одна, а двѣ молекулы водяныхъ паровъ 2  $H_2O$  по ур нію: 2  $H_2+O_2=2$   $H_2O$ ;

Кромъ того въ приборахъ для анализа дымовыхъ газовъ происходитъ еще сокращение объема въ силу конденсации паровъ.

а) Горѣніе чистаго водорода съ теоретическимъ объемомъ воздуха n=1.

Представимъ процессъ графически.

# Первоначальный составъ и объемъ воздуха.

100 частей воздуха по объему при О°С. 100 частей воздуха по объему при О°С. 100 частей воздуха по объему при О°С. 100 частей по объему по объему по объему по объему по объему по объему

Такъ какъ изъ одной молекулы кислорода ( $O_2$ ) получаются при сгораніи водорода двѣ молекулы ( $H_2O$ ), то по закону Avogadro объемъ водяныхъ паровъ долженъ быть вдвое больше объема кислорода участво-

вавшаго въ горѣніи, т. е. если изъ 100 объемныхъ частей воздуха  $21^{\circ}/_{\circ}$  кислорода вступиль въ реакцію горѣнія съ водородомъ, то объемъ водяныхъ паровъ долженъ быть равенъ  $42^{\circ}/_{\circ}$  по, объему и слѣдовательно, объемъ дымовыхъ газовъ долженъ на  $21^{\circ}/_{\circ}$  превышать первоначальный объемъ воздуха.

Взявъ 100 объемныхъ частей продуктовъ горѣнія водорода, состоящихъ изъ водяныхъ паровъ ( $H_2O$ ) и азота (N), найдемъ, что эти вещества находятся другъ къ другу въ слѣдующихъ процентныхъ отношеніяхъ:

$$34,7^{0}/_{0}(\mathrm{H_{2}O})$$
 водяные пары  $(\mathrm{H_{2}O})$ :  $\frac{42\times100}{121}=34,7^{0}/_{0}$  водяные пары  $(\mathrm{H_{2}O})$ :  $\frac{42\times100}{121}=34,7^{0}/_{0}$  водяные пары  $(\mathrm{H_{2}O})$ :  $\frac{42\times100}{121}=34,7^{0}/_{0}$  вобъему.  $\frac{79\times100}{121}=65,3^{0}/_{0}$ .

Если не принимать во вниманіе объемъ водяныхъ паровъ, то при теоретическомъ объемъ воздуха, т. е. при n=1-ць въ составъ дымовыхъ газовъ получится одинъ только азотъ (N).

в) Горъніе водорода съ двойнымъ объемомъ воздуха

$$n=2$$
.

Первоначальный составъ и объемъ воздуха.

Составъ и объемъ дымовыхъ газовъ изъ 100 объемныхъ частей воздуха.

$$21^{0}/_{0}$$
 (О) по объему при  $0^{\circ}$ С.  $21^{0}/_{0}$  (N) по объему при  $0^{\circ}$ С.  $21^{0}/_{0}$  (N) по объему по объему по объему по объему ему.  $21^{0}/_{0}$  (N) по объему ему.  $21^{0}/_{0}$  (Н $_{2}$ О) водяныхъ паровъ. При двойномъ объему по объему по

Всего получится  $110,5^{0}/_{0}$  по объему дымовыхъ газовъ по отношенію къ первоначальнымъ 100 частямъ воздуха.

Въ 100 частяхъ дымовыхъ газовъ указаннаго состава  $(H_2O)$ , (O) и (N) будутъ содержаться въ процентахъ:

$$(H_2O)$$
 . . . .  $\frac{21 \times 100}{110,5} = 19^{0}/_{0}$  .  $\frac{19^{0}/_{0} (H_2O)}{9,5^{0}/_{0} (O)}$  въ 100 объемныхъ частяхъ влажных тахъ влажныхъ дымо . . . . . . .  $\frac{74 \times 100}{110,5} = 71,5^{0}/_{0}$  .  $\frac{71,5^{0}/_{0} (N)}{110,5}$  выхъ газовъ.

Если игнорировать водяные пары то окажется, что при двойномъ впускъ воздуха на 100 объемныхъ частей воздуха приходится  $10,5^{\circ}/_{0}$  (О) и  $79^{\circ}/_{0}$  (N) т. е. всего  $89,5^{\circ}/_{0}$  сухихъ дымовыхъ газовъ.

сазовъ придется:

100 объемныхъ частей сухихъ дымовыхъ газовъ.  $11,7^{\circ}/_{0}(0)$  по объему  $10,5 \times 100 = 11,7^{\circ}/_{0}$  кислорода (0) по объему  $10,5 \times 100 = 11,7^{\circ}/_{0}$  кислорода (0) по объему  $10,5 \times 100 = 11,7^{\circ}/_{0}$  кислорода (0) по объему  $10,5 \times 100 = 11,7^{\circ}/_{0}$  кислорода (0) по объему  $10,5 \times 100 = 11,7^{\circ}/_{0}$  азота (N) . . . . . .

с) Горъніе водорода съ тройнымъ объемомъ воздуха при n=3.

Представимъ процессъ также діаграммами, аналогичными съ вышеприведенными.

Первоначальный составъ и объемъ воздуха. Обемъ продуктовъ горънія, получающійся изъ 100 объемныхъ частей

воздуха.

100 частей по объему по объему по объему

 $\frac{14^{0}/_{0} \text{ (H}_{2}\text{O})}{14^{0}/_{0} \text{ (O)}}$   $\frac{14^{0}/_{0} \text{ (N)}}{79^{0}/_{0} \text{ (N)}}$ по объему

 $93^{\circ}/_{\circ}$  Изъ  $21^{\circ}/_{\circ}$  кислорода сухихъ въ реакцію горѣнія дымовыхъ вступаетъ только  $^{1}/_{3}$  газовъ. т. е.  $7^{\circ}/_{\circ}$  по объему и

даетъ вдвое большій объемъ водяныхъ паровъ, т. е.  $14^0/_0$ . Кромѣ того  $14^0/_0$  кислорода и  $79^0/_0$  азота переходятъ непосредственно въ продукты горѣнія.

Такимъ образомъ объемъ, влажныхъ дымовыхъ газовъ увеличи-

вается до 107°/<sub>0</sub>,

Въ 100 объемныхъ частяхъ влажныхъ газовъ будетъ содержаться:

$$(H_2O)$$
 . . . .  $\frac{14 \times 100}{107} = 13,08^{\circ}/_{\circ}$ .  $\frac{13,08^{\circ}/_{\circ} (H_2O)}{13,08^{\circ}/_{\circ} (O)}$ .  $\frac{13,08^{\circ}/_{\circ} (H_2O)}{13,08^{\circ}/_{\circ} (O)}$ . Въ 100 объемныхъ частяхъ влажныхъ дымовыхъ газовъ.  $73,84^{\circ}/_{\circ} (N)$ .

При тройномъ впускъ воздуха на 100 объемныхъ его частей приходится 93% сухихъ дымовыхъ газовъ по объему, поэтому, въ 100 объемныхъ частяхъ сухихъ дымовыхъ газовъ должно содержаться:

$$\frac{14 \times 100}{93} = 15,10^{0}/_{0}$$
 (О) по объему  $\frac{15,1^{0}/_{0}$  (О) по объему  $84,9^{0}/_{0}$  (N)  $84,9^{0}/_{0}$  (N) по объему

въ 100 объемныхъ частяхъ сухихъ дымовыхъ газовъ. Для того, чтобы нагляднье представить зависимость состава дымовыхъ газовъ отъ избытка воздуха, и процентнаго содержанія въ топливъ (С) и (Н) разберемъ нъсколько численныхъ примъровъ.

Численный примъръ № 1-й.

Англійскій каменный (уголь (Кардифъ) имъетъ химическій составъ:

(C) 88,23°/ <sub>0</sub>	по въсу въ 100 частяхъ угля.
(H) 4,66	Полагая, что часть кислорода воздуха.
(O) 1,00	соединена съ водородомъ топлива въ про-
(N) 1,26	порціи воды и что участвуеть въ горѣніи
(S) 1,27	только (H — $\frac{O}{8}$ ) кислорода воздуха,
Воды (H <sub>2</sub> O)0,68	Только ( $11 - \frac{8}{8}$ ) кислорода воздуха,
Золы 2.90	им вемъ составъ горючихъ элементовъ
Bcero 100,00%	даннаго топлива въ видѣ:

$$(C) = 88,23^{\circ}/_{\circ};$$
 $\left(H - \frac{O}{8}\right) = \left(4.66 - \frac{1.00}{8}\right) = 4.54^{\circ}/_{\circ}.$ 
 $(S) = 1.27^{\circ}/_{\circ}.$ 
Положимъ коэффиціентъ избытка  $n = 2.$ 

Изъ 100 объемныхъ частей воздуха, въ этомъ случаѣ половина его кислорода т. е.  $10.5^{\circ}/_{\circ}$  по объему превращается въ (CO<sub>2</sub>), (H<sub>2</sub>O), и (SO<sub>2</sub>).

Количества кислорода, участвующія въ образованіи этихъ газовъ, завися отъ состава топлива, могутъ быть вычислены слъдующимъ образомъ:

для образованія (СО2) требуется по вѣсу кислорода:

$$88,23 \times \frac{8}{3} = 235,28 \text{ klgr} = \frac{235,28}{1,43} = 164,53 \text{ mtr}^3;$$

для образованія водяныхъ паровъ (H<sub>2</sub>O) изъ водорода:

$$4,54 \times 8 = 36,32$$
 klgr.  $= \frac{36.32}{0,805} = 45,11$  mtr <sup>3</sup>;

для образованія ( $SO_2$ ):

$$1,27 \times 1,60 = 1,27$$
 klgr.  $= \frac{1.27}{2,86} = 0,45$  mtr <sup>3</sup>;

Всего образуется:

$$164,53 + 45,11 + 0,45 = 210,09 \text{ mtr}^{-3};$$

кислорода въ дымовыхъ газовъ.

Пропорціонально этимъ объемнымъ количествамъ распредѣляются и цифры расхода кислорода, состовляющаго въ общемъ  $10.5^{\circ}/_{\circ}$  отъ

100 объемныхъ частей воздуха, т. е. на образованіе ( $\mathrm{CO_2}$ ) пойдетъ:  $\frac{10.5 \times 164.53}{210.09} = 8,22^0/_{\mathrm{0}}$  кислорода по объему;

На образованіе (
$$H_2O$$
):  $\frac{10.5 \times 45.11}{210.09} = 2.25\%$ .

На образованіе ( $SO_4$ ):  $\frac{10.5 \times 0.45}{210.09} = 0.03\%$ .

урмани в развити даржи от в Всего .  $10,5^{\circ}/_{\circ}$  кислорода по объему.

При анализъ дымовыхъ газовъ въ спеціальныхъ приборахъ пары воды конденсируются и выпадаютъ, поэтому составъ и объемъ сухихъ дымовыхъ газовъ, получающихся изъ 100 объемныхъ частей воздуха будутъ выражаться слъдующими цифрами въ процентахъ:

Всего сухихъ дымовыхъ газовъ . .97,75% по объему.

процентное содержаніе дымовыхъ газовъ ( $CO_2$ ), (N), (O) и ( $SO_2$ ) въ 100 объемныхъ частяхъ сухихъ продуктовъ равно:

азота (N): . . . . . 
$$\frac{79 \times 100}{97,75} = 80.81^{0}/_{0}$$
 кислорода (O): . .  $\frac{10.5 \times 100}{97,45} = 10.74^{0}/_{0}$  углекислоты (CO<sub>2</sub>):  $\frac{8.22 \times 100}{97,75} = 8.40^{0}/_{0}$   $CO_{2} + 0 = 19.14^{0}/_{0}$ . Сфрнистаго газа(SO<sub>2</sub>):  $\frac{0.03 \times 100}{97,75} = 0.05^{0}/_{0}$ .

Всего . . . 100°/<sub>0</sub> по объему.

Разсмотренный нами примъръ даетъ возможность вывести формулу для опредъленія коэффиціента избытка п, если извъстны цифры анализа 100 объемныхъ частей сухихъ дымовыхъ газовъ. Положимъ, что анализъ газовъ далъ найденныя выше цифры, именно:

Въ 100 объемныхъ частяхъ сухихъ дымовыхъ газовъ оказалось:

Азота (N)					. 80,81%.
Кислорода (0)					
Углекислоты $(CO_2)$ .					
Сфристаго газа (SO <sub>2</sub> )					

Въ объемъ влажныхъ газовъ, образовавщихся изъ 100 объемныхъ частей воздуха азота могло быть только  $79^{\circ}/_{\circ}$ , а въ 100 объемныхъ

частяхъ сухихъ газовъ  $80,81^{9}/_{0}$ , слѣдовательно надо уменьшить цифры анализа въ отношеніи  $\frac{79}{80.81}$ , тогда свободный кислородъ въ дымовыхъ газахъ по отношенію къ первоначальнымъ 100 объемнымъ частямъ воздуха составить:

$$\frac{10.74 \times 79}{80.81} = \frac{(O) \times 79}{(N)} = 10.5^{0}/_{0}.$$

Такъ какъ первоначальное содержаніе кислорода въ 100 объемныхъ частяхъ воздуха составляло  $21^{0}/_{0}$  то, слѣдовательно объемъ сгорѣвшаго кислорода составляетъ:  $21-10.5=10.5^{0}/_{0}$  (O).

Слъдовательно, коэффиціентъ избытка воздуха п можетъ быть найденъ изъ выраженія:

$$\mathbf{n} = \frac{21}{21 - \frac{(1) \times 79}{(N)}} = \frac{21}{21 - 10, 5} = 2.$$

Составъ формулы подсказываетъ методъ опредъленія коэффиціента избытка по даннымъ анализа дымовыхъ газовъ, именно:

- а) Все вычисленіе основывается на способности азота (N) цѣликомъ переходить въ составъ дымовыхъ газовъ изъ состава воздуха. По процентному объемному содержанію азота въ дымовыхъ газахъ сравнительно съ первоначальнымъ содержаніемъ его въ воздухѣ, т.-е. съ 79% вычисляютъ процентное по объему содержаніе дымовыхъ газовъ получившихся изъ 100 объемныхъ частей воздуха.
- b) Вычисляють объемь оставшагося въ дымовыхъ газахъ кислорода по отношенію къ 100 объемнымъ частямъ воздуха и находять объемное количество кислорода, т.-е. разницу сравнительно съ  $21^{0}/_{0}$ .
- с) дѣленіемъ первоначальнаго количества (O) т. е. 21 на количество сгорѣвшаго (O), т.-е. на разницу  $21 \frac{(O) \times 79}{(N)}$ , находятъ коэффиціентъ избытка n.

# Численный примъръ № 2.

Положимъ, что химическій анализъ дымовыхъ газовъ далъ слід-

въ 100 объемныхъ частяхъ сухихъ дымовыхъ газовъ оказалось:

Опредѣлить коэффиціентъ избытка воздуха n. Объемъ азота въ 100 первоначальныхъ объемныхъ частяхъ воздуха составлялъ  $79^{\circ}/_{\circ}$ , поэтому цифры анализа надо уменьшить въ отношеніи  $\frac{79}{79-20}$ ; тогда объемныхъ объемныхъ отношеніи  $\frac{79}{79-20}$ ; тогда объемныхъ

емъ кислорода въ продуктахъ горѣнія по отношенію къ 100 объемнымъ частямъ воздуха будетъ равенъ:  $\frac{14,03\times79}{79,20}=14,00\%$ 

или по формуль: 
$$\frac{(O) \times 79}{(N)} = 14,00^{0}/_{0}$$
.

Разница между первоначальнымъ содержаніемъ кислорода и окончательнымъ равна  $21-\frac{(O)\times79}{(N)}=21-14=7^{0}/_{0}$ . Отношеніе первоначальнаго  $^{0}/_{0}$  наго содержанія кислорода  $(21^{0}/_{0})$ 

Отношеніе первоначальнаго  ${}^0/_0$ -наго содержанія кислорода (21 ${}^0/_0$ ) къ сгорѣвшему (7 ${}^0/_0$ ) равна  $\frac{21}{7}=3$ ; слѣдовательно, коэффиціентъ избытка воздуха равенъ n=3.

### Примѣръ № 3 й.

Анализъ дымовыхъ газовъ далъ цифры: въ 100 объемныхъ частяхъ сухихъ дымовыхъ газовъ содержится;

$$\begin{array}{c} \text{(N)} \dots & \dots & 80,7^{0/0} \\ \text{(O)} \dots & \dots & 4,8^{0/0} \\ \text{CO}_{2} \dots & \dots & 13,8^{0/0} \\ \text{C(O)} \dots & \dots & 0,7^{0/0} \\ \end{array} \right\} \begin{array}{c} \text{Вычислить коэффиціентъ} \\ \text{избытка воздуха n.} \\ \\ \text{n} = \frac{21}{21 - \frac{\text{(O)} \times 79}{\text{(N)}}} = \frac{21}{21 - \frac{4 \cdot 8 \times 79}{80,7}} = \frac{21}{16,3} = 1,29. \end{array}$$

При маломъ избыткѣ воздуха, равномъ 1,29, въ дымовыхъ газахъ оказался продуктъ неполнаго горѣнія (СО); при вычисленіи количество (СО) не принято во вниманіе по своей малой величинѣ.

Приведенными примърами достаточно уясняется химическій способъ опредъленія избытка воздуха при горъніи по даннымъ химическаго анализа дымовыхъ газовъ.

# ГЛАВА VI.

#### 0 топливъ.

## 1. Опредъление понятия о топливъ вообще.

Всякое горючее вещество, способное вступать въ экзотермическую реакцію съ кислородомъ воздуха, т.-е. окисляться съ выдѣленіемъ значительнаго количества теплоты можетъ быть названо топливомъ, но лишь въ самомъ общемъ смыслѣ слова.

Съ этой точки зрънія топливомъ могъ бы быть названъ, напри-

мъръ, металлическій магній (Mg) способный ярко и съ выдъленіемъ теплоты горъть на воздухъ, при чемъ реакція горънія протекаетъ по ур-нію:  $2\,\mathrm{M} + \mathrm{O}_2 = 2\,\mathrm{Mg}\,\mathrm{O};$ 

точно также сѣра (S), окисляясь при соединеніи съ кислородомъ воздуха по ур·нію:  $S+O_2=S\,O_2$ , выдѣляеть теплоту въ значительномъ количествѣ.

Однако же ни магній, ни съра не могуть считаться топливомъ въ обыденномъ смыслъ слова.

Металлическій магній рѣдокъ и дорогъ, сѣра является даже въ небольшихъ количествахъ вредной примѣсью другихъ видовъ горючихъ веществъ; продуктъ ея сгоранія—сѣрнистый газъ—вреденъ для животныхъ организмовъ и для металловъ. Слѣдовательно, далеко не всякое горючее вещество можетъ быть подведено подъ понятіе топлива. Для этого требуется, чтобы горючее удовлетворяло нѣкоторымъ особымъ условіямъ.

### 2. Коммерческія и техническія условія, которымъ должно удовлетворять промышленное топливо.

Промышленнымъ или техническимъ всякое топливо становится лишь тогда, когда удовлетворяетъ нижеслъдующимъ главнъйщимъ требованіямъ рынка.

# А) Коммерческія условія:

- а) Запасы естественнаго горючаго въ природъ должны быть обширными, добыча и предварительная обработка—технически просты и дешевы.
- b) Центры добычи горючаго не должны быть слишкомъ удалены отъ раіоновъ потребленія, дабы стоимость транспорта не препятствовала выгодности потребленія.
- с) Въ раіонахъ добычи естественное горючее не должно имъть другого, болъе выгоднаго техническаго примъненія.
- d) Пути сообщенія раіоновъ добычи топлива съ центрами потребленія должны быть надежны и обильно снабжены средствами транспорта, дабы всегда могли обезпечивать достаточные запасы на мъстахъ потребленія.
- е) Рыночныя цѣны на 1-цу вѣса даннаго горючаго должны оправдываться величиною его полезной теплопроизводительной способности по сравненію съ другими видами топлива въ данномъраіонѣ.
- f) Всѣ виды искусственнаго топлива по возможности должны представлять собою малоцѣнныя во всѣхъ другихъ отношеніяхъ отбросы различныхъ видовъ фабрично-заводской и сельско-хозяйственной промышленности.

### В) Техническія условія:

- а) Всѣ виды твердаго и жидкаго горючаго должны выдерживать транспортъ безъ ухудшенія своихъ физическихъ свойствъ; давать возможно меньше отбросовъ и убыли въ пути.
- b) Содержаніе углерода въ топливѣ должно быть возможно высокимъ, такъ какъ имъ обусловливается теплопроизводительность топлива.
- с) Горючее не должно содержать въ своемъ составъ элементовъ, разрушительно дъйствующихъ на матеріалы очаговъ и котловъ, въ которыхъ оно сожигается.
- d) Продукты горѣнія должны получаться въ газообразномъ видѣ и не должны содержать ядовитыхъ примѣсей, опасныхъ для здоровья людей и животныхъ.
- е) Топливо должно легко и быстро загораться; процессъ горънія долженъ протекать устойчиво, т.-е. не прекращаться разъ начавшись; уходъ за процессомъ сожиганія долженъ быть простъ, чтобы не требовать сложныхъ техническихъ приспособленій и большого персонала машинистовъ и кочегаровъ.
  - 1) Способы храненія запасовъ горючаго должны быть дешевыми.
- k) Физическія свойства топлива должны исключать возможность самовозгоранія на складахъ.

Само собою разумѣется, что топливо, удовлетворяющее всѣмъ этимъ условіямъ, можетъ быть названо идеальнымъ. Такого топлива въ природѣ не существуетъ. Всѣ извѣстные до сихъ поръ виды естественнаго и искусственнаго горючаго могутъ удовлетворить, да и то не полностью, только нѣкоторымъ изъ этихъ требованій.

Понятно, что въ зависимости отъ степени, въ которой данное топливо приближается къ намъченному выше идеалу, опредъляется его техническая и рыночная цънность.

## 3. Классификація видовъ топлива.

Всѣ весьма разнообразные виды горючаго могутъ быть классифицированы, прежде всего, съ точки зрѣнія происхожделія его, раздѣляясь на естественное и искусственное.

Въ свою очередь естественное топливо дълится по физическому состоянію на твердзе, жидкое и назообразное.

Дальнъйшая классификація по отношенію къ твердому топливу различаеть растительное (древесное и травянистое) и ископаемое топливо и т. д.

Весьма удобно и просто дальнъйшая классификація видовъ топлива представляется на прилагаемой здъсь таблицъ.

Таблица № 23 й. Классификацій различныхъ видовъ топлива.

ляніе ляніе чаго.	Естественно	ое топливо.	Искусственно	ре топливо.
Физическое состояніе горючаго.	Растительные виды.	Ископаемые виды.	Продукты обработки ныхъ производствъ и горюча	скопаемыхъ видовъ
100.7	174		Растительныхъ и жи-	Ископаемыхъ.
	1) Древесное:	1) Торфъ	1) Древесные:	1) Торфяной коксъ
.96	а) дрова	2) бурые угли	а) стружки, опилки, корье	2) каменноуголь-
Твердое горючее.	b) сучья, хворостъ	3) каменные угли	b) древесный уголь.	3) брикеты изъ угольной мело-
00 ro	с) валежникъ	4) антрациты.	2) Раст тельные:	Аи и прли
тавя,	d) пни, корчаги.	dia seesa seesa	а) солома	
	2) Травянистое:		b) шелуха подсолнеч- ника и гречихи	
	а) камышъ		с) жмыхи	是数据生活。
	b) бурьянъ.		d) кизякъ	
Жидкое горючее.		1) Нефть 2) нефгяные остат- ки (Мазутъ).	а) деготь b) алкоголь c) древесная смола	а) бензинъ     b) керосинъ     с) каменноугольная     смола
Жидкос			d) древссный спиртъ. e) животные жиры.	d) парафиновое и креозотов масла
Газообразное горючее.		1) Природный газъ (Понсильванія) А пиеронскій полуостровъ, Самарская губ. и др. мёсторожденія.		а) свётильный газъ  b) доменный газъ  c) генераторный (воздушный) газъ  d) водяной газъ  е) паро-воздушный газъ.

Пользуясь порядмомъ этой таблицы, разсмотримъ техническія свойства главнъйшихъ видовъ горючаго.

#### Твердое топливо.

Согласно приложенной выше таблицы къ твердымъ видамъ естественнаго горючаго отнесены всъ растительныя (древесныя и травя-

нистыя породы и пскопаемые виды: торфъ, бурые и каменные угли и антрациты.

#### 1. Химическій составъ естественнаго твердаго горючаго.

Элементы, составляющіе вещество горючаго, раздѣляются на двѣ группы: *органическую и минеральную*; первую группу составляютъ такъ называемые «Органогены»: водородъ (Н), углеродъ (С), кислородъ (О), азотъ (N). Во вторую группу входятъ: сѣра, фосфоръ, кремне-кислота, окиси желѣза и аллюминія, щелочныхъ и щелочно-земельныхъ металловъ.

Кромъ того, всъ виды твердаго топлива содержатъ влагу (H<sub>2</sub>O) въ большемъ или меньшемъ количествъ.

Изъ органогеновъ горючими элементами являются углеродъ (С) и водородъ (Н), кислородъ (О) самъ по себъ не горитъ и считается связаннымъ съ водородомъ въ пропорціи воды. Азотъ (N) совершенно нейтраленъ по отношенію къ реакціи горънія.

Изъ минеральныхъ веществъ горючими являются съра (S) и фосфоръ (Ph), содержание послъдняго во всъхъ видахъ твердаго топлива ничтожно и можетъ быть не принимаемо во внимание.

Негорючіе элементы минеральной группы послѣ сгоранія органогеновъ и сѣры даютъ твердый минеральный остатокъ—*золу*.

Продуктами же горѣнія органогеновъ и сѣры являются парыводы ( $H_2O$ ) и различныя газообразныя вещества, главнымъ образомъ, углекислота ( $CO_2$ ) и сѣрнистый газъ ( $SO_2$ ).

Процентное содержаніе органогеновъ, влаги и золы въ различныхъ видахъ твердаго топлива приведено въ прилагаемой здѣсьтаблипѣ.

**Таблица № 24-й.** Химическаго состава твердыхъ видовъ естественнаго топлива.

Родъ ОРГАНОГЕНЫ:			мине	Абсолют-			
		٠. م		Горючія.	творная способ-		
твердаго горючаго.	Угиеродъ (С).	Волородъ (Н.)	Кислородъ и азотъ (0 + N).	Ctpa (S.)	Вода (II <sub>2</sub> O.)	Всѣминер. вещества, образую- щія золу.	
Дрова (естествен- ной воздушной сушки)		5,10	35,70	0.85	15,00	0,85	3700
Торфъ (дежалый на воздухв).	46,00	4,70	29,00	0,60	14,00	5,70	3950
Бурый уголь .	40,00	3,50	10,00	2,00	36,00	8,50	3720
Каменный уголь	76-85,5	5,00-4,00	10,00-3,50	1.00-2,00	2,00-0,80	6,00-4,20	7250-8000
Антрацитъ	93-00	3,00	2,20	0,80		1,00	8300

Эта таблица указываетъ на полную аналогію составныхъ элементовъ растительнаго и ископаемаго твердаго горючаго.

Разница только количественная.

Данныя этой таблицы въ извъстной мъръ подкръпляютъ господствующую въ современной наукъ теорію объ общности происхожде-

нія всѣхъ выше перечисленныхъ видовъ горючаго изъ одного первоначальнаго основного вещества растительнаго происхожденія.

#### Теорія органическаго происхожденія ископаемыхъ видовъ твердаго горючаго.

Основой всякой растительной ткани является клѣтчатка (целлю-лёза); химическій составъ чистой клѣтчатки ( $C_6H_{10}O_8$ ).

Клѣтчатка образуется въ зеленыхъ клѣточкахъ листьевъ растеній, при условіи поглощенія солнечной энергіи изъ углекислоты и воды, по ур-нію:

Процессъ образованія клѣтчатки, какъ видимъ, эндотермиченъ, т.-е., сопровождается поглощеніемъ теплоты извнѣ и ея преобразованіемъ. Въ составъ чистой клѣтчатки органогены заключаются въ пропорціи

$$44,44$$
 (C)  $+6,17$  (II)  $+49,39$  (O) . . . . . . . . . . . . . . (2).

По воззрѣніямъ органической теоріи всего ближе къ составу чистой клѣтчатки долженъ подходить химическій составъ различныхъ древесныхъ и травянистыхъ породъ, при чемъ колебанія въ цифрахъ содержанія органогеновъ должны быть незначительными, такъ какъ, повторяемъ, главнѣйшей составной частью всѣхъ ихъ является клѣтчатка.

Прежде всего, изслѣдованіями Віолетта доказано постоянство состава отдѣльныхъ частей одной и той же древесной породы, какъ это видно изъ прилагаемой таблицы.

Таблица № 25-й. Состава частей одной и той же древесной породы:

Части древесной породы.		Органогены			
		Углеродъ (С).	Водородъ (Н).	Кислородъ и азотъ (О + N).	3 О Л А.
Стволъ . {	Кора	46,26	5 90	44,70	2,60
Стволь .	Древесина.	48 90	6,40	44,30	0,29
Вътви {	Листья	45.00	6 97	40,90	7,12
	Кора	48,80	6,30	41,10	3,68
	Цревесина.	49.90	6.60	43,30	0,13
Корни {	Кора	50,30	6,07	41,90	1,60
	Древесина.	47,40	6,26	46,10	0,20

Точно также изслѣдованія, произведенныя надъ различными древесными породами показали незначительныя колебанія процентнаго содержанія въ нихъ органогеновъ. Приводимъ здѣсь таблицу данныхъ Фишера.

Таблица № 26-й. Сравнительнаго содержанія органогеновъ въ различныхъ древесныхъ породахъ.

	0 P I			
Древесныя породы.	Углеродъ (С).	Водородъ (Н).	Кислородъ и авотъ $(O + N)$ .	зола.
Сосна	50,1	6,00	43,2	0,70
Береза	48,5	5 9	45,3	0,30
Дубъ	49 8	5,8	44,00	0,40
Букъ	46 6	5,8	45,00	0,60
Акація	49,2	5,9	43.1	0,80

Кромъ того, въ нижеслъдующей сравнительной таблицъ приводимъ содержание однихъ органогеновъ въ совершенно высушенной древесинъ за удалениемъ золы.

Сравнительная таблица № 27-й. Содержанія органогеновъ въ 100 частяхъ обеззоленной и совершенно высушенной древесины.

древесная порода.	Углеродъ (С).	Водородъ (Н).	Кислородъ (О) азотъ (N).
Дубъ	50,64	6,03	$42\ 05 + 1,28$
Букъ	49,48	6,08	44,44
Кленъ	49,80	6 31	43,89
Береза.	50,60	6,23	42.04 + 1,12
Ильмъ	50,19	6.43	43,39
Ива	51,75	6.19	41,08 + 0,98
Ольха	49,19	6,22	44.59
Ель	49 95	6,40	43,65
Сосна	49,94	6,25	43.81
Лиственница	56,11	6.31	43,58

Считая, что всѣ виды ископаемаго топлива произошли изъ клѣтчатки, органическая теорія указываеть, что содержаніе органогеновъ въ различныхъ ископаемыхъ горючихъ должно слѣдовать опредѣленному закону, именно: расположивъ всѣ вещества, начиная съ клѣтчатки, въ рядъ: клѣтчатка, древесныя породы, торфъ, бурые угли, каменные угли, антрациты въ восходящемъ по древности образованія порядкѣ, мы заранѣе должны допустить:

- а) Увеличеніе содержанія углерода (С) въ томъ же порядкъ.
- b) Уменьшеніе содержанія водорода (H).
- с) Уменьшеніе содержанія кислорода (О) и азота (N).

Нижеслѣдующія цифры, какъ нельзя лучше подтверждаютъ выводы теоріи, напримѣръ:

Клѣтчатка . . . . 
$$44,44$$
 (C)  $+6,17$  (H)  $+49,39$  (O). Дерево (въ среднемъ)  $49,20$  (C)  $+6,10$  (H)  $+44,70$  (O  $+$  N). Антрацитъ . . . .  $93,00$  (C)  $+3,00$  (H)  $+2,20$  (O  $+$  N).

Въ этой цѣпи антрацитъ является послѣднимъ звеномъ — онъ самое древнее по времени образованія горючее. Еще болѣе древнимъ является графитъ — чистый углеродъ — тѣло не горючее.

Тороъ, бурые и каменные угли разсматриваются какъ промежуточныя стадіи преобразованія и минерализаціи клътчатки.

На вопросъ, какими процессами органическая теорія объясняетъ послѣдовательныя преобразованія клѣтчатки вплоть до антрацита и графита, теорія отвѣчаетъ слѣдующее.

Образованіе торфа происходить на нашихь глазахь на торфяныхь болотахь. Происхожденіе торфа изъ частей болотныхь растеній не подлежить никакому сомнівню.

Главнѣйшими растеніями, изъ которыхъ образуется торфъ, являются различные виды мховъ:

Sphagnum, Hypnum. Sph. cymbifolium, recuvrum, cuspidatum.

Осенью отмершія части растеній погружаются въ стоячую болотную воду, заливаются и весенними водами. При содѣйствіи особыхъмикроорганизмовъ начинается процессъ торфяного броженія при недостаточномъ притокѣ кислорода и соотвѣтствующей температурѣ среды (6° С. —  $8^{\circ}$  С); ходъ процесса не заканчивается полнымъ разложеніемъ, полной минерализаціей органическаго (азотъ—содержащаго вещества), а замираетъ въ стадіи лишь его расщепленія—неполной минерализаціи. Продуктомъ этого незакончившагося процесса является торфъ.

Важное значеніе указаннаго выше maximum'a температуры подтверждается тѣмъ обстоятельствомъ, что жаркій климатъ не благопріятствуетъ образованію торфа, такъ какъ обиліе теплоты способствуетъ быстрому и полному окончанію процесса окисленія органическихъ веществъ и ихъ минерализаціи. Болъе труднымъ представляется распространить воззрънія теоріи на причины и условія образованія углей.

Доказательства по отношенію къ происхожденію углей распадаются на прямыя и косвенныя.

Къ числу непосредственныхъ доказательствъ относятся:

- а) Остатки и отпечатки частей растеній, зародыши и споры, обнаруженные въ кускахъ угля микроскопическими изслъдованіями.
- b) Результаты химическаго анализа, устанавливающіе общность (и лишь количественное различіе) состава углей съ деревомъ и торфомъ.
- с) Присутствіе въ пластахъ каменныхъ углей древеснаго угля, съ ясно сохранившимися слъдами органическаго строенія растительныхъ кльтокъ.

Косвенными доказательствами считаются лабораторные опыты надъ древесиной. Такіе опыты были продъланы Каньяръ де-Лятуромъ и Віолеттомъ.

Каньяръ де-Лятуръ нагръвалъ до  $+360^{\circ}$  С. въ запаянной трубкъ высушенную древесину различныхъ породъ деревьевъ съ водою. Въ результатъ получалась черная масса, похожая на жирный каменный уголь, горящая коптящимъ пламенемъ.

Таковы же были результаты опытовъ Віолетта и другихъ ученыхъ.

Изложенные выше факты на ряду съ непосредственнымъ наблюденіемъ надъ кусками дерева находящагося подъ водой 2-3 года при высокой температурѣ (отъ  $+50^{\circ}$  до  $+80^{\circ}$ С.) и превращающагося въ подобіе бураго угля по внѣшнимъ признакамъ, дали основаніе предполагать, что и въ природѣ образованіе углей совершалось такимъ же путемъ, т.-е. что остатки растеній доисторической флоры погружались въ воду и при высокой температурѣ подвергались процессу неполнаго окисленія. Предполагаютъ, что пласты каменнаго угля образовались изъ остатковъ хвощей, плауновъ и гигантскихъ папоротниковъ первобытной флоры.

Пласты этихъ отложеній первоначально представляли по своему строенію подобіе современнаго торфа и лишь съ теченіемъ времени уплотнялись; процессъ внутренняго горѣнія медленно уменьшалъ количество азота, кислорода и водорода и увеличивалъ процентное содержаніе углерода.

Такимъ образомъ, по относительному содержанію элементовъ въ составъ угля можно судить о степени его древности. Мукъ составиль нижеслъдующую таблицу химическаго состава горючихъ:

Таблица № 28-й.

вешества.	Углеродъ (С).	Водородъ (Н).	Кислородъ (О).	Авотъ (N).
Древесина	50	6	43	1
Торот	59	6	33	2
Бурый уголь	69	51/2	25	0.8
Каменный уголь	82	5	13	0.8
Антрацитъ	95	2.5	2,5	только слёды.
Графитъ	. 100		-	-

Эта таблица ясно указываеть, какой процессь совершался на пути отъ клътчатки до графита.

Съ химической точки зрѣнія процессъ образованія торфа характеризуется выдѣленіемъ изъ гніющей растительной массы метана СН<sub>4</sub> (болотный газъ) и углекислоты СО<sub>2</sub>. Окисленіе углерода въ обоихъ этихъ случаяхъ происходитъ при недостаточномъ притокѣ воздуха на счетъ отнятія кислорода у клѣтчатки. Слѣдовательно, чѣмъ больше прошло времени съ начала процесса, тѣмъ бѣднѣе кислородомъ и водородомъ должно быть вещество и тѣмъ выше въ немъ содержаніе углерода.

Распространивъ этотъ же взглядъ на угли, получимъ совершенно удовлетворительное объяснение къ цифрамъ таблицы Мука.

Изложивъ въ бъглыхъ чертахъ сущность органической теоріи происхожденія всъхъ твердыхъ видовъ естественнаго топлива, разсмотримъ главнъйшія техническія свойства видовъ наиболье употребительныхъ въ промышленности.

## Древесное топливо.

#### Средній химическій составъ дерева.

Данными предыдущихъ таблицъ доказано, что химическій составъ различныхъ частей одной и той же породы дерева почти одинаковъ; точно также выяснено, что содержаніе органогеновъ и минеральныхъ примъсей для различныхъ древесныхъ породъ колеблется въ очень тъсныхъ предълахъ.

Средній составъ дерева послѣ просушки при  $+140^{\circ}$  С. по Пекле: 50,00 (C) +6,00 (H) +41,00 (O) +1.00 (N) +2,00 (золы)  $=100^{\circ}/_{\circ}$ . По Менделѣеву: для высушеннаго дерева найдено:

$$50,00 (C) + 6,00 (H) + 43,10 (O) + 0,30 (N) + 0,60)$$
 золы) =  $100^{\circ}$ 

#### Содержаніе и химическій составъ золы.

Содержаніе негорючихъ минеральныхъ примѣсей, образующихъ золу, въ среднемъ, для всѣхъ древесныхъ породъ не превышаетъ  $2^0/_0$ , но въ различныхъ частяхъ одного и того же дерева оно можетъ доходить до  $7^0/_0$ .

Такъ, согласно данныхъ табл. № 25-й корни содержатъ золы въ среднемъ  $0.9^{\circ}/_{0}$ , при чемъ въ ихъ древесинѣ золы не болѣе  $0.2^{\circ}/_{0}$ , въ корняхъ же до  $1.6^{\circ}/_{0}$ , далѣе всѣ части ствола даютъ вмѣстѣ  $1.45^{\circ}/_{0}$ , при чемъ на долю древесины приходится только  $0.29^{\circ}/_{0}$ , а на кору $-2.6^{\circ}/_{0}$ .

Наконецъ, части кроны содержатъ въ отдъльности: листья  $7,12^0/_0$ ; кора  $3,68^0/_0$  и древесина только  $0,13^0/_0$ . Въ среднемъ крона даетъ  $3.64^0/_0$  золы. Такимъ образомъ среднее содержаніе золы въ корняхъ  $0,90^0/_0$ , въ стволѣ  $1,45^0/_0$  и въ кронѣ  $3,64^0/_0$ . Меньше всего даетъ золы древесина отъ  $0,29^0/_0-0,13^0/_0$ , больше всего даютъ листья  $7,12^0/_0$ .

Химическій составъ негорючей минеральной части, дающей золу, очень сложенъ и непостояненъ.

Важное вліяніе на характеръ золы имѣетъ почва, на которой росло дерево.

Henneberg составиль интересную таблицу, наглядно показывающую, какь и въ чемъ выражается вліяніе состава почвы на составъ золы.

Таблица Henneberg'a № 29-й.

Таолица Hennederg a № 29-и.							
Составныя части минеральной группы (золы)	Преоблад	аюшій характ	еръ почвы.				
въ деревъ.	Известнякъ.	Гипоъ.	Песчаникъ.				
Угле-каліевая соль	6 7	14 6	4,7				
Угле-натріевая	11,0		3 2				
Сърно-каліевая	4,4	3,4	23,3				
Хлористый натръ	0,7	СЛИЗЬ	5,00				
Растворы солей	22 8	18,00	36 2				
Угле-кальціевая.	27,4	30.9	21,1				
Магнезія	177	12.2	12,4				
Соли фосфорной кислоты	15,6	97	10 9				
Кремнеземъ	16,9	28,7	18,4				
Нерастворимое	77 60° 0	81,500/0	61,000/0				

Содержаніе фосфора въ деревѣ вообще ничтожно и цѣликомъ зависитъ отъ свойства почвы. Хвойныя породы въ 4-5 разъ бѣднѣе фосфоромъ, чѣмъ лиственныя.

Содержаніе фосфора въ хвойныхъ породахъ при зимней рубкъ больше, чъмъ при весенней или лътней.

#### Содержание влаги въ деревъ.

Содержаніе влаги въ различныхъ породахъ дерева свѣже срубленнаго весьма различно и въ среднемъ согласно данныхъ таблицы № 30-й, составляетъ:

Таблица № 30 й. Содержаніе влаги въ различныхъ древесныхъ породахъ.

Древесиь я породы.	Дубъ.	Букт.	Красный букъ.	Племъ.	Ольха.	Береза.	Ear.	Соспа.	Claxes.
<sup>0</sup> / <sub>0</sub> ое сод. влаги	35	18	40	44	42	31	37		45

Въ частяхъ одной и той же породы содержаніе влаги очень различно: вѣтви, напримѣръ, могутъ иногда содержать до  $60^{\circ}/_{\circ}$  воды, тогда какъ въ стволѣ опо не превышаетъ  $35^{\circ}/_{\circ}$ , вообще чѣмъ ближе къ срединѣ дерева по высотѣ, тѣмъ меньшее содержаніе влаги надо ожидать.

Время рубки очень вліяетъ на содержаніе влаги въ деревѣ: дрова, зимней рубки гораздо суше, чѣмъ срубленныя весною или лѣтомъ.

Способъ храненія и продолжительность пребыванія на складахъ также вліяєть на содержаніе влаги въ деревѣ, такъ: если дерево свѣже срубленное зимою содержало  $40^{0}/_{0}$  влаги, то черезъ 6 мѣсяцевъ нахожденія на складѣ на воздухѣ въ немъ останется только  $25-20^{0}/_{0}$ , еще черезъ годъ не болѣе  $17^{0}/_{0}$ .

Способъ транспорта также вліяетъ на содержаніе влаги: дрова, доставляемыя воднымъ путемъ (сплавныя), само собою разумѣется, содержатъ больше влаги, чѣмъ горныя (доставляемыя сухимъ путемъ). По отношенію къ содержанію въ деревѣ влаги установилась опредѣленная номенклатура:

Дерево сырое содержить влаги отъ  $40^{9/_{0}}-20^{9/_{0}}$ . Дерево воздушной (естественной) сушки  $20^{9/_{0}}$ . Сухое (высушенное при  $+125^{9}+140^{9}$ )  $0^{9/_{0}}$ .

При этомъ предполагается, что дерево воздушной сушки защищено отъ дождя и снъга, дерево искусственно высушенное при высокой температуръ (отъ + 125° до + 140° С) даетъ, такъ называемыя «Жаровыя» дрова.

#### Техническія свойства древеснаго топлива.

Техническія свойства древеснаго топлива цѣликомъ зависятъ отъ химическаго состава его органической части, количества минеральныхъ примѣсей и содержанія влаги.

Горючими составными частями являются: углеродъ (С) и водородъ (Н); процентное содержаніе углерода въ деревѣ около 50%, меньше чѣмъ въ другихъ видахъ твердаго горючаго обусловливаетъ его малую теплопроизводительную способность: (абсолютная при полномъ охлажденіи теплопроизводительность совершенно сухого дерева равна

$$K_1 = 4730$$
 cal., полезная же  $K_2 = 4410$  cal.

Сравнительно большое (до 60%) содержаніе водорода служить причиною того, что при горьніи дерева развивается длинное пламя, такъ какъ продукты горьнія въ этомъ случав богаты летучими продуктами сухой перегонки углеводородовъ и смолъ. Обиліе кислорода способствуетъ полноть горьнія и отсутствію копоти въ пламени.

Словомъ, соотношеніе органогеновъ въ деревѣ таково, что обусловливаетъ легкую воспламеняемость, полноту сгоранія и умѣренную температуру горѣнія при длинномъ и чистомъ пламени.

Въ древесномъ топливъ отсутствуетъ съра и почти отсутствуетъ фосфоръ, что дълаетъ его очень важнымъ топливомъ во многихъ спеціальныхъ случаяхъ.

Зола всѣхъ древесныхъ породъ трудно-плавка, поэтому при сгораніи дерева на топочной рѣшеткѣ не образуется шлаковъ, могущихъ затруднять доступъ воздуха подъ рѣшетку.

Очень непріятной примѣсью каждаго древеснаго топлива является вода.

Вліяніе ея на теплопроизводительность очень замѣтно.

Такъ, напримъръ, для дерева искусственной сушки (при  $+140^{\circ}$ ) содержаніе влаги  $0^{\circ}/_{0}$  и его теплопроизводительность:

абсолютная: 
$$K_1 = 4730$$
 cal. полезная:  $K_2 = 4410$  cal.

Если дерево высушено на воздухѣ и содержитъ  $20^{0}/_{0}$  воды, то для него:

$$K_1 = 3790$$
 cal.  $K_2 = 3400$  cal.

Наконецъ, для свѣже-срубленнаго сырого дерева при содержаніи влаги до  $40^{9}/_{0}$ 

$$K_1 = 2840$$
 cal.  $K_2 = 2400$  cal.

Такое пониженіе теплопроизводительности объясняется, во первыхъ, тѣмъ, что присутствіе влаги уменьшаетъ въ 1 вѣсовой единицѣ

топлива содержаніе горючихъ веществъ и, кромѣ того, на испареніе влаги требуетъ затраты части теплоты горѣнія.

#### Плотность древеснаго топлива.

Древесныя породы раздъляются на твердыя, среднія и слабыя. Къ твердымь породамъ относять, обыкновенно: дубъ, букъ, вязъ, грабъ, грушу, вишню.

Къ среднимъ: ясень, кленъ, акацію, березу, ольху, сосну, лиственницу, рябину; къ слабымъ причисляютъ: ель, пихту, липу, тополь, иву и осину.

По отношеню къ дереву надо различать удѣльный вѣсъ совершенно высушенной и освобожденной отъ воздуха древесины — онъ больше вѣса воды и колеблется въ предѣлахъ отъ 1.2 до 1.5; удѣльный вѣсъ дерева свѣже-срубленнаго или пролежавшаго уже на воздухѣ около 6 мѣсяцевъ всегда меньше вѣса воды и называется: «кажущимся удъльнымъ въсомъ».

Кажущійся удъльный въсъ значительно измъняется для различныхъ древесныхъ породъ, такъ:

для дуба свѣже-срубленнаго.	1.07	воздушной сушки	0.78
бълаго бука	1.00		0.72
тополя	0.86		0.53
липы	0 73		0.46
ели	0.74		0.48
сосны	0.73		0.57

Плотныя древесныя породы характеризуются малымъ содержаніемъ смолистыхъ веществъ, трудно загораются, горятъ короткимъ пламенемъ быстро прекращающимся и даютъ плотный древесный уголь догорающій безъ пламени. Слабыя породы, обильныя смолами, легко загораются, даютъ длинное пламя, въ остаткъ даютъ незначительное количество рыхлаго угля.

#### Въсъ объемной ед-цы дровъ.

Теплопроизводительная способность различныхъ породъ дерева взятая при одинаковомъ содержаніи влаги, почти одинакова.

Слъдовательно, при продажѣ дровъ по вѣсу всѣ породы были бы почти въ одной рыночной цѣнѣ, но такъ какъ у насъ дрова продаются по объему, то очевидно, что болѣе дорогими должны быть болѣе плотныя породы съ большимъ удѣльнымъ вѣсомъ, такъ какъ количество горючаго вещества, а слѣдовательно и теплопроизводительность 1-цы объема будетъ большая именно въ этихъ породахъ.

При хорошей укладкъ объема промежутковъ не болъе  $\frac{1}{8}$  (20%) всего объема, обыкновенно же около 25—30%).

Таблица № 31-й вѣса 1 куб. саж. дровъ.

Древесныя породы, дающія дрова:	посль	The same of the sa	Черезъ 11/2 г. послъ рубки.
March in the state of the state		Въ 1 куб. саж	
Березовыя	369	307	300
Сосновыя	276	260	245
Еловыя	245	230	215
Ольховыя	3 m <u>in</u> 3 m	280	
Осиновыя	307	276	210

Такъ какъ способы искусственной сушки дерева, транспорта и храненія относятся къ задачамъ технологіи топлива, то мы и не останавливаемся на этихъ вопросахъ.

#### Торфъ.

Благодаря широкому распространенію торфяниковъ въ сѣверной и средней Россіи, а также благодаря повышенію цѣнъ на дровяное, угольное и нефтяное топливо, русская промышленность московскаго и сѣверо-восточнаго раіона обратилась къ разработкѣ торфяныхъ болотъ и пользованію торфянымъ топливомъ. Начало разработкѣ торфяниковъ въ Россіи положилъ Петръ Великій, выдавъ иностранцу Дюнармусу привилегію на 10 лѣтъ съ 1723 года.

#### - Составъ торфа.

Существуеть много классификацій торфа, основанных на состав его органической массы, при чемъ торфъ нижнихъ болье древнихъ пластовъ всегда характеризуется большимъ содержаніемъ углерода, уменьшеніемъ процентнаго содержанія кислорода и гигроскопической воды. Молодой торфъ по составу очень близокъ къ древеснымъ и растительнымъ породамъ, торфъ древній приближается къ бурымъ углямъ, само собою разумьется, что масса промежуточныхъ формъ по составу своему представляетъ непрерывный рядъ съ тенденціей къ повышенію содержанія углерода въ зависимости отъ возраста.

Въ прилагаемой ниже таблицъ даны приближенныя среднія цифры, которыя отнюдь не должны быть разсматриваемы, какъ постоянныя величины, онъ являются лишь общими характеристиками состава органической массы торфяниковъ различныхъ возрастовъ въ восходящемъ по древности залеганія порядкъ.

Таблица № 32-й.Состава органической массы торфа \*).

Party mondo		Эрганогены.	N+0 H	Зола.	
Виды терфа.	Cº/0	(N+O <sup>0</sup> / <sub>0</sub> )	H <sub>0</sub> / <sub>0</sub>	H	эода.
Мохъ грюнвальдскаго болота.	50,00	, 43,50	6,50	6,7	3,72
Легкій торфъ изъ серагнума.	50,90	43,30	5 80	7,5	0,57
Рыхлый красно-бурый	53 50	40 60	5,90	7.0	5,33
Тяжелый бурый	56,40	38 30	5,30	7,2	-8,13
Черный торфъ	59,70	34,60	5,30	6,5	12,56
Тоже	60,90	32,90	6,20	5,3	4,61
Тяжелый бурый	62,50	30,70	6,80	4.5	1,09
Очень плотный черный	63,90	29,60	6,50	4,6	2,70

Примичаніе: въ числа первыхъ четырехъ столбцовъ не входять зола и влага, а только органическое вещество торфа. Цифры таблицы подтверждають высказанныя выше положенія о характерѣ измѣненій, которымъ съ теченіемъ времени подвергается органическая масса торфа, именно: наблюдается возрастаніе %-паго содержанія углерода, уменьшеніе азота и кислорода; содержаніе же водорода колеблется въ сравнительно узкихъ предѣлахъ

Въ верхнихъ слояхъ торфяного болота торфъ содержитъ еще много свъжихъ мховъ въ массъ ясно замътно строеніе растительныхъ породъ, послужившихъ для него исходнымъ матеріаломъ. Этотъ молодой торфъ получилъ названіе «волокнистаю»; его удъльный въсъ отъ0,113 до 0,676; слъдующій пластъ даетъ «землистый торфъ» съ удъльнымъ въсомъ отъ 0,41 до 0,90. Наконецъ, ниже залегаетъ «смолистый торфъ», имъющій удъльный въсъ отъ 0,639 до 1.039.

Помимо органической части добываемый изъ болоть тороъ содержить въ большихъ или меньшихъ количествахъ минеральныя примъси, образующія послъ сожиганія золу.

<sup>\*)</sup> Г. К. Дементьевъ "Теплота и заводскія печи" стр. 150-я.

#### Содержание золы въ торфъ.

Содержаніе золы колеблется въ очень широкихъ предѣлахъ отъ  $1^0/_0$  до  $50^0/_0$ . Въ хорошихъ сортахъ торфа допустимо не болѣе  $5^0/_0$  золы; при  $10^0/_0$  золы торфъ уже плохъ какъ топливо.

Торфъ низкихъ болотъ, заливаемыхъ водою, приносящей и оставляющей въ осадкъ глину и песокъ, получается съ большимъ содержаніемъ минеральныхъ примъсей; торфъ высокихъ болотъ даетъ значительно меньше золы.

#### Средній составъ золы:

Само собою понятно, что теплопроизводительность сортовъ торфа возрастаетъ по мъръ уменьшенія количества минеральныхъ примъсей.

#### Содержание въ торфѣ влаги.

Торфъ верхнихъ молодыхъ пластовъ при вынутіи содержитъ до до  $90^{\circ}/_{0}$  влаги; въ торфѣ воздушной сушки обыкновенно влага составляетъ отъ  $10^{\circ}/_{0}$  до  $25^{\circ}/_{0}$  по вѣсу; искусственной сушкой можно понизить содержаніе влаги до  $2-3^{\circ}/_{0}$ . Высушенный и пролежавшій на складѣ торфъ снова поглощаетъ и удерживать до  $10^{\circ}/_{0}$  воды.

Содержаніе влаги вліяєть на величину полезной теплопроизводительности, какъ показывають цифры таблицы, данной инженеромь Бляхеромь \*).

#### Таблица № 33-й.

Содержаніе влаги въ 0/0 по въсу.	00/0	10%	200/0	24,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	30%	400/0	50º/ <sub>0</sub>
Полезная теплопроизводительность $K_2$ въ calor/clgr.	4604	4085	3560	3340	3040	2520	2000

Совивстное вліяніе влаги и неорганическихъ примъсей на величину полезной теплопроизводительности выражается цифрами нижеслъдующей таблицы:

<sup>\*)</sup> Бляхеръ "Теплота въ заводскомъ дёлё".

Таблица № 34 й.

Содержаніе влаги и золы въ торфъ.	Геплопроизводительность К2.
Тороъ съ $30^0/_0$ воды и $10^0/_0$ золы	2090 cal/klgr.
" " $25^0/_0$ " безъ "	3800 "
$15^{0/}$ , $15^{0/}$ ,	4440 "
	5250
Сухой тор $\Phi$ ъ $0^0/_0$ безъ золы	5250 "
$4^0/_0$ , $3^{-1}$ , $3^{-1}$ , $3^{-1}$ , $3^{-1}$ , $3^{-1}$ , $3^{-1}$ , $3^{-1}$	5090 "
, $12^0/_0$ , ,	4686 ,,
" " $10^0/_0$ " " $\cdots$	3636 "
Торфъ съ 25% воды	3800 "
" " 30°/ <sub>6</sub> "	3313 ,
, 50 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,	_ 2182

Сырой *«ризаный»* торфъ, содержа огромное количество влаги при полужидкой волокнистой структурѣ, мало пригоденъ для цѣлей отопленія, почему издавна уже дѣлались попытки къ обработкѣ рѣзанаго торфа путемъ сушки и формованія въ прессахъ.

Первая операція имъетъ цълью удаленіе влаги, вторая—концентрацію органическаго вещества. Высушенный прессованный торот называется «формованным» или машиннымъ.

Тороъ какъ малоцънное топливо не выдерживаетъ стоимости искусственной сушки, поэтому, можно говорить только о сушкъ воздушной.

Формованіе торфа производится въ прессахъ и спеціальныхъ машинахъ на мъстахъ добычи.

По мнѣнію извѣстныхъ авторитетовъ всѣ попытки превращенія рѣзаннаго торфа въ топливо болѣе концентрированное путемъ формованія, коксованія и брикетированія, хотя и привились въ техникѣ, но не могутъ разсчитывать на широкое распространеніе въ силу трудности работы по удаленію влаги и размельченію торфяныхъ волоконъ, не окупающихся рыночной стоимостью фабриката.

Въсъ 1 mtr<sup>3</sup> волокнистаго торфа воздушной сушки отъ 260 до 280 klgr.;

бураго или чернаго т. н. смолистаго торфа отъ 250 до 400 krgl. По Менделъеву 100 пуд. прессованнаго торфа замъняютъ 140 пудовъ дровъ.

Достоинствомъ торфяного топлива является ничтожное содержаніе съры и фосфора въ золъ—не свыше  $0,1^0/_0$  что дълаетъ концентрированный торфъ удобнымъ топливомъ для металлургіи чугуна.

## Каменные угли.

Подъ общимъ названіемъ «Каменные угли» въ настоящее время понимаютъ ископаемые виды топлива бурые угли, собственно каменные угли и антрациты, располагая ихъ въ восходящемъ по древности порядкъ.

## А) Бурые угли.

По растительной теоріи происхожденія твердыхъ ископаемыхъ видовъ горючаго, бурые угли располагаются между торфомъ и собственно каменными углями.

Средній составъ бурыхъ углей по Менделѣеву данъ въ таблицѣ № 35.

Влаги.	Золы—съры	Углерода С	Водорода Н	Азота N	Кислорода О	
80/0	80/0	56,80/0	4.20/0	1,000/0	220/0	

Таблица № 35 й.

Среди бурыхъ углей различаютъ также нѣсколько видовъ, именно:

- 1) Землистый бурый уюль, какъ и торфъ, повидимому, происходитъ отъ разложенія низшихъ растительныхъ формъ; его землистая масса имѣетъ бурую окраску, легко растирается въ порошокъ и содержитъ много влаги, въ свѣже добытыхъ угляхъ содержаніе воды доходитъ до  $50^{\circ}/_{\circ}$ ; воздушная сушка понижаетъ его до  $20^{\circ}/_{\circ}$ ; золы также содержится очень много, иногда до  $40-50^{\circ}/_{\circ}$ .
- 2) Лигниты имъютъ древовидную структуру и называются еще битуминознымъ деревомъ—походя на обугленную древесину; лигниты также содержатъ много влаги и золы при малой теплопроизводительной способности.
- 3) Жирные или смолистые бурые угли содержать много смолистаго вещества, горять коптящимь пламенемь и приближаются по свойствамь къ тощимь каменнымь углямь.

Освобожденная отъ влаги и золы масса бураго угля содержить органогены въ следующихъ, примерно, количествахъ въ 100 весовыхъчастяхъ.

Таблица № 36-й.

Воды бурыхъ ўглей.		C			II -	O+N
Лигниты	отъ	57°/0	до	67°/ <sub>0</sub>	60/0-50/0	280/0-370/0
Землистые бурые угли	n	64°/0	))	70°/ <sub>0</sub>	60/0-50/0	25°/ <sub>0</sub> —30°/ <sub>0</sub>
Смолистые бурые угли.	*	65°/ <sub>0</sub>	•	75°/ <sub>0</sub>	60/0-40/0	210/0-290/0

Бурые угли легко окисляются на воздухѣ, что уменьшаетъ вѣсъ торючихъ элементовъ, а иногда влечетъ и самовозгараніе на складахъ.

1 mtr³ лигнита вѣситъ отъ 550 до 650 klgr, смолистаго же бураго угля — около 700 klgr. (Вѣсъ 1 куб. саж. около 400 пудовъ). Удѣльный вѣсъ бурыхъ углей очень непостояненъ: для землистыхъ онъ колеблется въ предѣлахъ отъ 1,25 до 1,45; для лигнитовъ отъ 1,25 до 1,8.

## В) Собственно наменные угли.

Среди каменныхъ углей наблюдается безчисленное множество видовъ, начиная отъ близкихъ къ смолистымъ бурымъ углямъ и кончая полуантрацитами. Существуетъ нѣсколько системъ классификаціи каменныхъ углей, напримѣръ,

- а) *по назначенію* каменные угли дѣлятся: на газовые, паровичные, кузнечные, металлургическіе и проч.
- b) По качеству получающагося кокса каменные угли дѣлятъ на: спекающіеся, полуспекающіеся и неспекающіеся; с) по характеру пламени различаютъ: короткопламенные и длиннопламенные;
- d) По мъсту добычи: кардифъ, донецкій, домбровскій, силезскій и проч. угли.
- е) По величинъ и формъ кусковъ въ продажъ имъются сорта: крупный, средній (куски меньше кулака и до величины оръха) угольная мелочь—куски меньше оръха и, наконецъ—угольная пыль.
- к) Существуютъ еще классификаціи по геологическому происхожденію, по плотности и другимъ признакамъ.

Приводимъ здѣсь заимствованную изъ книги проф. Цементьева таблицу Грунера, пользующуюся успѣхомъ среди техниковъ.

Таблица № 37-й классификація каменныхъ- углей по Грунеру.

№.№	Типы углей.		рный сост оды и воды Н		0 + N H	Выходъ кобса.	Свойства
1	Сухіе угли съ длиннымъ	Отъ 75 до 80.	Отъ 5,5 до 4,5.	Отъ 19,5 до 15	4—3	50—60	Порошокъ или чуть спекшійся.
2	Жирные угля съ длиннымъ пламенемъ или газовые.	80—85	5,8-5	14,2-10	3—2	60—68	Сплавленный но сильно вспученъ.
3	Жирные угли или куз-	<b>84</b> —89	5—5,5	11—,65	2—1	68—74	Сплавленъ средвей плотности.
Ken 4	Kokobie yru	84—91	5,5—4,5	6,5—5,5	1-	71—82	Сплавленъ очень плот- ный.
5	Тоще или антрацитовые угли	90—93	4,5—4	5,5—3	1	82—90	Спекшійся или порошокъ.

При построеніи своей таблицы авторъ исходилъ изъ элементарнаго состава, отношенія содержанія кислорода и азота къ водороду, выхода кокса и состоянія коксовой лепешки.

Считая, что единственно устойчивымъ признакомъ для классификаціи всѣхъ углистыхъ веществъ является ихъ составъ, проф. Алексѣевъ предложилъ слѣдующую таблицу:

Таблица № 38-й.

Горючія вещества.	Составъ органической массы.			
	C	Н	0	
Клътчатка ,	44,40/0	6,2%	49,40/0	
Торфъ		6	-32	
Бурые лигниты	68,5	5,4	26.1	
Богхеды или смолистые угли	77	8	15	
Каменные угли	81,4	5	10	
Лигниты или сухіе угли	78,7	4,9	14,6	
Настоящіе антрациты	91,5	4,83	1,04	
Сухіе антрациты	-94	3	3	

#### Особенности главнъйшихъ видовъ собственно наменныхъ углей.

Въ дальнъйшемъ придержимся простой классификаціи, раздъляя каменные угли на: *сухіе и жирные*, а послъдніе, въ свою очередь на газовые и металлургическіе или кузнечные.

Сухіе каменные уми отличаются длиннымъ пламенемъ, не спекающимся коксомъ, сохраняющимъ форму взятыхъ для коксованія кусковъугля. При горѣніи получается много паровъ воды и газообразныхъ продуктовъ; годны для пламенныхъ печей, полученія генераторнаго газа и для цѣлей отопленія.

Средній составъ сухихъ углей по Менделѣеву представляется нижеслѣдующей таблицей:

Таблица № 39-й.

	Въ предъ- лахъ: отъ и до	Въ среднемъ.
Углерода (С)	65-81,4	73,2
Водорода (Н)	4,2-5,4	4,8
Азота (N)	0,7—1,3	1.0
Кислорода (О)	9-13	11,0
Влаги (Н <sub>2</sub> О)	4,5—7,5	6,0
Золы и съры	3-5	4,0
Теплопроизводительность полная	8000—6000	7000
Геплопроизводительность полезная въ Cal/klgr.		6700

## Жирные или спекающіеся каменные угли.

При накаливаніи жирный уголь прежде, чёмъ превратиться въ коксъ, подвергается нёкоторому разложенію; отдёльные куски сплавляются и получается коксъ болёе или менёе пористый. Жирные угли дёлятся на газовые и металлургическіе.

Газовые каменные уми горять длиннымь пламенемь и оставляють до  $65^{\circ}/_{\circ}$  ноздреватаго кокса. Въ Россіи добываются въ сѣверной части донецкаго каменно-угольнаго бассейна.

По Менделѣеву средній составъ жирныхъ газовыхъ углей представленъ въ таблицѣ № 40-й.

Таблица № 40-й.

Составъ углей.	Огъ и до.	Въ среднемъ.
Углерода С	75—84	79.5
Водорода Н	4,7—5 3	5,0
Азота N	0,8-1,2	1.0
Кислорода О	6.0—8,0	7,0
Воды Н <sub>2</sub> О	4,0—1,00	2,5
Золы и съры	7,0—3,0	5,0
Теплопроизводительность полная	7100—8400	7750
Теплопроизводительность полезная		7500

Газовые угли примънимы для отопленія паровыхъ котловъ и полученія свътильнаго газа.

Металлурішческіе каменчые уіли (или настоящіе коксовые) примъняются всюду, гдъ важны большіе выходы кокса, загораются труднъе, горять длиннымь пламенемь.

Въ Россіи добываются близъ Юзовки и Богодуховки въ Юго-Западной части донецкаго бассейна.

Составъ этихъ углей данъ въ таблицѣ № 41-й.

Таблица № 41-Й. Состава настоящихъ кокосовыхъ углей.

Составъ углей.	Отъ и до.	Въ среднемъ.
Углерода С	80—87	83,5
Водорода Н	4,4-5,2	4,8
Азота N	0.7-1.3	1,0
Кислорода ()	4.0—8,4	6 2
Влаги Н <sub>2</sub> О	1—2	1,5
Золы и съры	1,0-5	3 0
Теплопроизводительность (полная).	7700—8800	8040
Теплопроизводительность полезная.	+ -	7700

## Полуантрацитовые угли и антрациты.

На пути отъ жирныхъ коксовыхъ углей къ антрацитамъ имъется еще группа полуантрацитовыхъ или полужирныхъ углей.

Эти угли мало или совсъмъ не способны спекаться, при чемъ коксъ сохраняетъ форму кусковъ угля; даютъ кокса до 90%. Горятъ почти безъ дыма, не заплавляя колосниковъ и отдавая много теплоты. Являются весьма цъннымъ топливомъ.

Составъ полуантрацитовъ близокъ къ слѣдующему среднему.

Таблица № 42-й.

. Составъ антрацитовыхъ углей.	Отъ и до.	Въ среднемъ.
Углерода (С)	85—89	87,0-
Водорода (Н)	3—5	4,0
Азота (N)	1-1	1,0
Кислорода (О)	1—4,5	2,75
Влаги (Н <sub>2</sub> О)	0 5—2	1,25
Золы и съры	2-6	4,00
Теплопроизводительность полная .		8180
Теплопроизводительность полезная.		7950

#### Антрацитъ.

Антрацить представляеть высшую степень окисленія, органическаго растительнаго вещества, почти совсѣмъ не содержитъ летучихъ веществъ и потому горитъ совершенно безъ пламени, лавая въ высшей степени концентрированный жаръ; въ антрацитѣ мало кислорода и водорода; плотность 1,5; на воздухѣ почти не измѣняется, трудно загорается и оставляетъ до  $90^{0}/_{0}$  совершенно не спекающагося кокса.

Лучшій въ Россіи антрацить добывается близъ Грушевки, его составъ слѣдующій:

Таблица № 43.

Составъ антрацита изъ Грушевки.	въ 0/0
Углерода (С)	89,91
Водорода (Н)	1,25
Азота (N) ( Кислорода (O) (С. 1911)	1,64
Съры (S)	1,00
Золы	2,00
Влаги (П <sub>2</sub> О)	4,2
Теплопроизводительность лежалаго антрацита.	7650

#### Примѣнимость наменныхъ углей для цѣлей отопленія.

Выборъ того или иного сорта каменнаго угля зависить отъ весьма иногихъ факторовъ, изъ которыхъ важнъйшими являются:

- а) Цѣль, для которой выбирается топливо.
- b) Важность использованія остаточныхъ продуктовъ.
- с) Величина и характеръ пламени, степень концентраціи жара, количество и качество золы, содержаніе летучей стры, составъ и количество дымовыхъ газовъ, составъ и выходъ кокса, теплопроизводительность и жаропроизводительность; наконецъ,
  - d) Экономическія соображенія.

Въ случат примъненія угля непосредственно для нагръванія, понятно, лучшимъ будетъ тотъ, при горъніи котораго передача теплоты будетъ происходить не только лучеиспусканіемъ, но и соприкосновеніемъ пламени съ оболочкою нагръваемаго предмета.

Съ этой точки зрѣнія для отопленія печей, кухонныхъ плитъ, калориферовъ и котловъ желательными надо признать сухіе длиннопламенные угли, легче сожигаемые на рѣшеткѣ, требующіе отъ кочегара меньшаго напряженія.

Въ тъхъ случаяхъ, когда въ небольшомъ пространствъ требуется сконцентрировать жаръ наиболъе пригодными явятся коротко-пламенные жирные угли, напримъръ, полуантрацитовый кардифскій.

Процессы металлургическіе, потребности керамической и другихъ видовъ промышленности требуютъ каждый спеціальныхъ свойствъ

отъ углей; въ нашу задачу не входитъ подробное ихъ разсмотрѣніе, почему въ заключеніе и переходимъ къ изложенію самыхъ краткихъ данныхъ о жидкомъ топливѣ. Подробности объ угольномъ топливѣ желающіе найдутъ въ курсѣ проф. Г. К. Дементьева. «Теплота и заводскія печи» и въ книгѣ Юннемана, «Горючіе матеріалы и брикетное производство въ русскомъ переводѣ горнаго инженера Л. Бѣлинко.

Откуда и заимствованы приведенныя выше краткія свъдънія.

#### Жидкое топливо.

Всѣ виды жидкаго топлива какъ метиловый и этиловый спирты, жидкіе продукты сухой перегонки каменнаго и бураго угля, древесный деготь и пр. имѣютъ въ обиходѣ весьма ограниченное примѣненіе.

Широко распространилось только использование нефти и нефтяныхъ остатковъ или мазута.

Нефтью или горнымъ масломъ называется маслянистая горючая жидкость зеленоватаго оттънка, вытекающая изъ земли въ различныхъ мъстахъ земного шара: въ Пенсильвании, на Кавказъ, въ Голландии и др.

Не останавливаясь на гипотезахъ о происхожденіи нефти, способахъ разработки и добычи укажемъ, что нефть представляетъ смѣсь жидкихъ углеводородовъ изъ рядовъ  $C_n$   $H_{2n}$  и  $C_n$   $H_{2n+2}$ . Легкіе сорта нефти имѣютъ удѣльный вѣсъ около 0,8, тяжелые около 0,90.

Природная сырая нефть является исходнымъ матеріаломъ для цѣлаго ряда цѣнныхъ продуктовъ послѣдовательно получаемыхъ путемъ дробной перегонки.

Первымъ продуктомъ перегонки является нефтяной эфиръ; при т-рѣ отъ +70 до +120°с. отходитъ бензинъ, затѣмъ, тѣ части перегонки, которыя кипятъ при т-рахъ не менѣе +130°с. и содержатъ углеводороды отъ  $C_9$  до  $C_{16}$  составляютъ керосинъ. Элементы, кипяшіе при болѣе высокихъ т-рахъ идутъ на смазочныя масла, очищенный же остатокъ идетъ въ продажу въ видѣ вазелина.

Пеочищенные остатки послѣ отгонки керосина подъ названіемъ мазута являются самымъ распространеннымъ видомъ жидкаго топлива для фабрично заводскихъ топокъ.

Средніе элементарные составы сырой нефти и мазута даны въ прилагаемой здѣсь таблицѣ.

Родъ жидкаго Зола, свра Углеродъ Водородъ Азотъ Кислородъ топлива. C. H. N. и влага. 0. 130/0 2% 85% Сырая нефть... Мазутъ 0,30 86,00 0,05 12,00 1,65

Таблица № 44 й.

Удъльный въсъ мазута отъ 0,9 до 0,93.

Теплопроизводительность мазута полная 10520 cal/klg. полезная 9870 cal/klg., т-.е. почти въ 4 раза выше таковой же для дровъ и значительно превышаетъ теплопроизводительность всѣхъ прочихъ видовъ ископаемаго горючаго. Достоинства и недостатки различныхъ видовъ горючаго подробно указываются во II-мъ отдѣлѣ при описаніи печныхъ топливниковъ, поэтому здѣсь мы на нихъ не останавливаемся.

Газообразное топливо до сихъ поръ еще не имъетъ примъненія при отопленіи комнатныхъ печей, равно и встальные виды жид-каго топлива. Изслъдованіе и описаніе ихъ техническихъ свойствъ составляетъ предметъ технологіи топлива и выходитъ изъ круга нашего разсмотрънія.

## ГЛАВА VI.

## Теплопроизводительная способность горючихъ матеріаловъ.

#### 1) Понятіе о теплопроизводительной способности.

1) Maxim'альное количество теплоты, какое можетъ быть получено изъ 1-цы въса даннаго горючаго вещества при его полномъ сгораніи называется его теплопроизводительной способностью.

Иначе говоря, теплопроизводительная способность представляеть собою всю химическую энергію даннаго вещества, переведенную въ энергію тепловую.

Зная, что представляетъ собою процессъ горънія, прослъдимъ, какъ и на что затрачивается тепловая энергія вещества при его сожиганіи въ условіяхъ техническихъ и промышленныхъ.

- а) Часть тепловой энергіи должна быть затрачена на нагр $\pm$ ваніе массы вещества оть н $\pm$ которой начальной температуры t до температуры гор $\pm$ нія T;
- b) Вода, содержащаяся въ горючемъ и гигроскопическая, поглощенная имъ изъ окружающаго воздуха, должна быть нагръта до температуры кипънія;

с) Часть теплоты должно затратить на испареніе этой же воды при постоянной температур'в.

- d) Точно также необходимо затратить часть тепловой энергіи на нагрѣваніе и испареніе воды, образующейся при сгораніи водорода, содержащагося въ горючемъ.
- е) Извъстное количество тепловой энергіи надо затратить на нагръваніе воздуха, необходимаго для процесса горънія отъ температуры, при которой онъ приводится въ соприкосновеніе съ топливомъ до температуры горънія.

- f) Часть тепловой энергіи безусловно затрачивается на ослабленіе и уничтоженіе связи между частицами даннаго горючаго вещества, т, е. на измѣненіе его молекулярнаго строенія или на такъ называемую ∂исгрегацію.
- k) Часть теплоты теряется въ окружающее пространство и передается сосъднимъ тъламъ въ силу лучеиспусканія внъшними поверхностями стънокъ очага.
- 1) Значительное количество теплоты также поглошается стънками очага и дымовыхъ ходовъ.
- m) Часть теплоты уносится газообразными продуктами горънія въ атмосферу.
  - п) Часть теплоты отходить съ парами воды туда же.
- о) Часть теплоты расходуется на разложение углекислоты и воды, входящихъ въ составъ горючихъ газовъ или на такъ называемую диссоціацію.
- р) Наконецъ, нъкоторое количество теплоты остается въ минеральномъ остаткъ процесса горънія—въ золъ.

Если выразить въ ед-цахъ теплоты каждую изъ этихъ потерь и затратъ теплоты черезъ  $k_0, k_1, k_2, k_3 \dots K_u$  и взять ихъ сумму.

$$K_0 = k_0 + k_1 + k_2 + k_3 + k_1 + \dots + k_n = \Sigma k_1 \dots (1)$$

то величина Ко представитъ намъ полную теоретическую теплопроизводительную способность вещества.

2) Лъйствительная теплопроизводительная способность вещества ни при какихъ условіяхъ не можетъ быть равна полной теоретической, уже потому что мы не импемь возможности возвратить той части тепловой энерій, какая расходуется на диегрегацію, т.-е. на разложеніе горючаю вещества.

Поэтому полной теплопроизводительной способностью будемъ называть сумму всѣхъ потерь и затратъ за вычетомъ потери тепловой энергіи  $\mathbf{k}_0$  на дисгрегацію, т.-е. будемъ его представлять въ видѣ:

$$K_1 = K_0 - k_0; \ldots \ldots \ldots (2)$$

Очевидно, чго для полученія величины  $K_1$  необходимо уловить теплоту парообразныхъ и газообразныхъ продуктовъ горѣнія, охладивъ ихъ до первоначальной температуры топлива и воздуха, вводивщагося въ топку.

Учесть теплоту, отданную лучеиспусканіемъ, поглощенную стѣн-ками очага и оставшуюся въ золѣ.

Такимъ образомъ величина  $K_1$  можетъ быть названа теплопроизводительной способностью при полномъ охлажденіи.

3) Приближаясь къ требованіямъ практики, опредѣляютъ еще такъ называемую полезную теплопроизводительную способность, вычитая изъ теплопроизводительности  $K_1$  при полномъ охлажденіи теплоту, уносимую парами воды, какъ образовавшимися отъ сгоранія водорода топлива такъ и гигроскопической, содержавшейся въ самомъ горючемъ. Обо-

значивъ эту послъднюю величину черезъ  $k_1$  можемъ полезную теплопроизводительность представлять въ видъ:

4) Въ условіяхъ дъйствительнаго техническаго сожиганія горючихъ веществъ, однако же понятіе полезной теплопроизводительной способности въ вышеуказанномъ смыслъ не можетъ имъть никакого реальнаго значенія. Для того, чтобы дать, наконецъ, величину теплопроизводительной способности горючихъ веществъ, сожигаемыхъ въ обыденныхъ условіяхъ понадобилось ввести еще одинъ терминъ:

#### Практическая полезная теплопроизводительная способность Кз.

Изъ полезной теплопроизводительности  $K_2$  эта послѣдняя величина получается за вычетомъ теплоты, унесенной дымовыми газами потерянной лучеиспусканіемъ, поглощенной стѣнками очага и потерянной въ золѣ. Обозначивъ сумму этихъ потерь черезъ  $\Sigma$   $k_2$ ,

можемъ написать, что:

$$K_3 = K_2 - \Sigma k_2; \ldots \ldots \ldots (4)$$

#### 2. Методы опредъленія теплопроизводительной способности горючихъ веществъ.

1) Калориметрія издавна является отдѣломъ физики, посвященнымъ изученію вопросовъ о теплопроизводительной способности горючихъ веществъ или о теплотѣ ихъ горѣнія.

Необходимо различать калориметрію строго-научную и техническую.

Научная калориметрія, не преслѣдуя непосредственно практическихъ цѣлей примѣняетъ дорого стоющіе аппараты и кропотливые методы уловленія и исправленія малѣйшихъ погрѣшностей, учитывая и вводя всякаго рода поправки въ интересахъ достиженія полной точности.

Калориметрія техническая принуждена довольствоваться сравнительно грубыми пріемами, болье простыми приборами и можетъ ми риться съ небольшими ошибками, такъ какъ постоянной задачей техника практика—является полученіе средняго результата изъ цълаго ряда испытаній и пробъ.

Научная калориметрія предпочитаетъ прямой путь непосредственнаго сожиганія пробъ въ спеціальныхъ аппаратахъ съ соблюденіємъ всѣхъ возможныхъ предосторожностей, калориметрія техническая пользуется этимъ же методомъ, но съ нѣкоторыми упрощеніями, она допускаетъ примѣненіе эмпирическихъ формуль, основанныхъ на болѣе или менѣе достовѣрныхъ гипотезахъ о строеніи вещества, вычисляетъ теплопроизводительность на основаніи данныхъ химическаго анализа вещества и допускаетъ другіе косвенные способы.

Ие имъя возможности останавливаться на описании научныхъ аппаратовъ - калориметровъ, отсылаемъ интересующихся къ книгъ проф. Дементьева «Теплота и заводскія печи», въ которой отведено много мъста описанію пріемовъ и теорій калориметрическихъ бомбъ.

Здѣсь же опишемъ только техническій калориметръ Парра и приведемъ его теорію.

#### Техническіе калориметры.

Техническая калориметрія, преслѣдуя задачу быстраго опредѣленія теплопроизводительной способности среднихъ пробъ большихъ массъ горючихъ веществъ, не можетъ съ успѣхомъ для дѣла въ условіяхъ ежедневнаго обихода пользоваться чисто лабораторными приборами научной калориметріи по причинѣ сложности опытовъ, требующихъ много времени, большого навыка, необходимости примѣнять сжатый кислородъ и электрическую энергію.

Сообразно физическому состоянію подлежащихъ испытанію видовъ горючихъ веществъ, техническая калориметрія обладаетъ аппаратами, назначенными для испытаній твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ горючихъ тѣлъ.

Техническіе калориметры назначенные для испытаній твердых видово горючаю ділятся на два типа: одни пользуются чистымъ кислородомъ при обыкновенномъ давленіи, другіе приміняють кислородь въ соединеніяхъ, т. е. связанный.

Изъ калориметровъ перваго рода извъстенъ приборъ Фишера, второго рода калориметръ Парра. Опишемъ здъсь только послъдній приборъ.

## Калориметръ Парра.

Этотъ калориметръ принадлежитъ ко второму типу техническихъ аппаратовъ (черт.  $\mathbb{N}$  49).

Главную часть аппарата составляеть латунный патронь А, снабженный внутренней рѣзьбой на обоихъ концахъ. Нижнее отверстіе завинчивается крышкой b, на нижней поверхности которой находится углубленіе. Этимъ углубленіемъ нижняя крышка надѣвается на опору а, имѣющую соотвѣтствующій выступъ.

Верхняя крышка с продолжена въ трубку d. Въ эту трубку вставленъ подвижной также полый стержень e, на концъ котораго имъется клапанъ f.

Цилиндрическая пружина к вставлена для того, чтобы клапанъ f всегда плотно закрывалъ отверстіе въ верхней крышкѣ с.

Трубка d закрывается сверху съемной пробкой l для возможности очистки всего аппарата и провърки пружины.

Патронъ А вставляется на подставку а въ латунный калориметрическій сосудъ В и окружается еще открытымъ съ обоихъ концовъ жестянымъ цилиндромъ С немного выше средины цилиндрической части самого патрона.

Патронъ снабженъ кольцомъ съ укръпленными на немъ 4-мя крылышками для перемъшиванія воды, а трубка d несеть на себѣ шкивъ т для приведенія во вращеніе патрона отъ маленькой водяной турбинки или электромотора (мощность этого послъдняго соотвътствуетъ 10-ти свъчной лампочкъ накаливанія).

За часъ до опыта всв части аппарата вносятся въ комнату для того, чтобы онв приняли температуру близкую къ комнатной. Точно также заготовляють въ мърительной колбъ два литра воды и непосредственно передъ самымъ опытомъ понижаютъ ея температуру на 1°Сили 1 1/, °С противъ комнатной, исходя изъ слѣдующихъ соображеній:въ 1-й періодь опыта, до сожиганія образца горючаго вода въ калориметръ, имъя температуру низшую комнатной будетъ поглощать теплоту изъ окружающаго пространства, во 2-мъ періодъ послъ сожиганія, когда температура воды сдълается выше комнатной, она будетъ наобороть испускать теплоту. Замътивъ, что вообще температура калориметрической воды послѣ опыта повышается на 2-3°C, если имѣла первоначально комнатную температуру, пришли къ простому способу парализовать вліяніе поглощенія и излученія: дъйствительно, комнатная температура является средней между двумя крайними температурами воды; до опыта и послъ опыта. Поэтому количество теплоты, поглощенное водой въ первый періодъ, равно количеству отданному за 2-й періодъ, чемъ и достигается возможность исключать изъ разсмотренія эти величины при опыть. Установивь въ цилиндръ В тщательно высушенный собранный патронъ А, сосудъ В помъщаютъ въ деревянный или картонный сосудъ D, а этотъ въ такой же внѣшній—Е. Про-странство между стѣнками сосудовъ изолируется и оба сосуда послѣ вливанія воды въ калориметръ тщательно закрываются двойной крышкой. Наконець, вставляется термометрь Т.

Среднія пробы угля высушиваются до содержанія влаги въ  $2^0/_0 - 3^0/_0$ . Приготовивъ порошокъ соотвътствующій ситу съ глазками въ 0.3 mm., взвъшенная проба угля засыпается въ патронъ, туда же всыпаютъ и 10 граммовъ перекиси натрія  $\mathrm{Na_2O_2}$ , слъдя за тъмъ, чтобы содержимое патрона осъло на дно. Перекись натрія не должна приходить въ соприкосновеніе съ влажными тълами, такъ какъ способна воспламениться.

Установивъ на мѣсто патронъ, крышки и термометръ, приводятъ патронъ во вращение въ продолжение часа.

Наблюдаютъ дал $\pm$ е температуру калориметрической воды, пока она минуты черезъ 3-4 не сд $\pm$ лается постоянной.

Зажиганіе смѣси въ цилиндрѣ совершается или быстрымъ введеніемъ внутрь патрона раскаленнаго конца проволоки черезъ пробку І или бросаніемъ внутрь патрона взвѣшеннаго раскаленнаго цилиндрика. Пробку надо успѣть закрыть очень быстро во избѣжаніе потери газовъ.

Смъсь воспламеняется и быстро сгораетъ. Для обезпеченія полноты

сгоранія прибавляють напримърь винную кислоту, какъ вещество способствующее горънію.

Минутъ черезъ 5 температура воды достигаетъ maximum'a и отмъчается съ помощью лупы по термометру Бекмана.

Слѣдовательно, выраженіе для теплопроизводительности должно быть исправлено введеніемъ указанной выше опытной поправки:

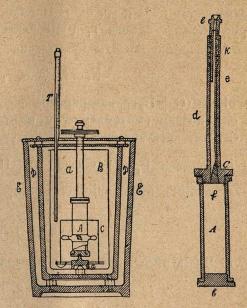
$$K = \frac{0.73 (g+u) (T-t)}{q} Cal.$$

#### Теорія Калориметра Парра.

Обозначимъ черезъ:

G — въсъ калориметрической воды въ гр—ммахъ.

U — водяной эквивалентъ прибора.



 ${
m g}$ —первоначальный въсъ раскаленнаго желъзнаго цилиндрика въ гр.

g, — его окончательный въсъ.

 $a=g-g_0$  вѣсъ сгорѣвшаго желѣза въ гр.

c = 0,12 теплоемкость жельза.

E = 1601 Cal. теплоту реакціи горѣнія 1 грам. желѣза въ  $Fe_{2}O_{3}$ .

Т, о — температуру краснаго каленія жельза.

q — въсъ въ гр. образца горючаго.

 $q_i$  — въсъ въ гр. винной кислоты (обыкновенно 0,5 гр.).

Q — въсъ въ гр. N  $a_2O_2$ ; (обыкновенно 10 гр.).

 ${
m t^0}$  — начальную температуру калориметрической воды (передъ зажиганіемъ пробы).

Т — наблюденную максимальную температуру воды послѣ сожженія образца.

Если бы весь наблюденный прирость температуры можно было отнести на счеть теплоты горвнія взятыхь для опыта q гр. образца горючаго, тогда бы теплопроизводительная способность выражалась очень простой формулой:

$$K = \frac{(G+U)(T-t)}{q} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (1).$$

Въ дъйствительности необходимо въ эту формулу внести рядъ поправокъ, касающихся нахожденія той части температурной разности какая явилась исключительно отъ сгоранія нашего образца.

На повышеніе температуры отъ t°с до Т°с, кромѣ горѣнія угля еще вліяеть:

а) Теплота внесенная внутрь патрона раскаленнымъ желъзнымъ цилиндрикомъ въса g гр. съ теплоемкостью c, и имъющаго температуру краснаго каленія  $T_1$ . (Обыкновенно  $T_1$  близко къ +700°C).

Количество теплоты доставленное этимъ цилиндрикомъ:

$$K_1 = g \times c \times T_1$$
 Calor.

Если (G+U) гр. калориметрической воды сообщить (G+U) Calto онъ поднимуть температуру воды на  $1^{\circ}$ с., соотвътственно этому  $K_1$  Cal вызовуть повышеніе температуры  $\triangle_1$  во столько разъ меньше  $1^{\circ}$ с во сколько  $K_1$  Cal меньше (G+U) Cal или  $\frac{(G+U)}{K_1} = \frac{1^{\circ}}{\triangle_{1}^{\circ}}$ ; откуда искомое повышеніе температуры:

$$\triangle_{\mathbf{i}} = \frac{K_{\mathbf{i}}}{G + U};$$

в) Часть въса желъзнаго цилиндрика въ количествъ

$$a=g-g_0$$
 rp.

сгор $^{\pm}$ ла въ патрон $^{\pm}$  въ  $\mathrm{Fe_2O_8}$ ; реакція гор $^{\pm}$ нія экзотермическая и сопровождается выд $^{\pm}$ леніем $^{\pm}$  теплоты (на 1 гр. 1601 Cal).

Количество теплоты доставляемой горъніемъ а гр. жельза равна:

$$K_a = a \times 1601$$
 Cal.;

разсуждая аналогично предыдущему, найдемъ повышеніе температуры  $\triangle_2$ , вызванное этой причиною, равнымъ:

$$\triangle_2 = \frac{K_2}{(G+U)};$$

Вычисливъ поправки  $\triangle_1$  и  $\triangle_2$ , внесемъ ихъ въ выражение разности температуръ воды до и послъ опыта: исправленная разность равна:

$$T-t-\triangle_1-\triangle_2=[T-(t+\triangle_1+\triangle_2)];$$

Точными сравнительными опытами найдено, что при сжиганіи образцовъ бурыхъ углей совмѣстно съ перекисью натрія  $(Na_2O_2)$  27% повышенія температуры должно быть отнесено на счетъ теплоты реакціи между продуктами горѣнія и реагентомъ  $(Na_2O_2)$ . Иначе говоря только 73% отъ

$$-[T-(t+\triangle_1+\triangle_2)]$$

повышенія температуры можно считать происшедшими отъ горѣнія испытуемаго образца угля т. е. считать разность температуръ равною:

$$0.73 [T - (t + \triangle_1 + \triangle_2)];$$

Количество теплоты доставленное калориметрической водъ равно:

$$(G + U)$$
 0,73  $[T - (t + \triangle_1 + \triangle_2)],$ 

относя эту величину къ 1-цѣ вѣса сожженнаго образца горючаго получимъ выраженіе для теплопроизводительной способности даннаго горючаго:

$$K = \frac{0.73 (G + U) [T - (t + \triangle_1 + \triangle_2)]}{q} \dots (2).$$

Согласно предыдущаго замѣчанія, формула эта вѣрна для сла-

быхъ породъ углей, преимущественно для бурыхъ.

Въ томъ случаѣ, когда въ Калориметрѣ Парра опредѣляютъ теплопроизводительность каменныхъ углей, въ патронъ добавляютъ винной кислоты. Точными опытами выяснено, что участіе въ процессѣ горѣнія 0,5 гр. винной кислоты доставляетъ въ силу экзотермичности реакціи количество теплоты, способное повысить температуру калориметрической воды, независимо отъ всѣхъ другихъ причинъ на  $\triangle_3 = 0.70$ °с.

Слъдовательно, въ опытъ съ образцомъ каменнаго угля въ выражение для температурной разности долженъ быть введенъ со знакомъ минусъ членъ  $\triangle_3 = 0.70$ ° с. т. е.

$$T-t-\triangle_1-\triangle_2-\triangle_3=T-(t+\triangle_{21}+\triangle+\triangle_3);$$

Во всемъ остальномъ выраженіе для теплопроводительности анало-гично съ предыдущимъ, (2), именно:

$$K = \frac{0.73 (G + U) [T - (t + \triangle_1 + \triangle_2 + \triangle_3)]}{q}$$

При сожиганіи образца антрацита, кромѣ того, еще прибавляють въ патронъ 1 гр. надсѣрнокислаго кали. Если повышеніе температуры вызванное теплотою горѣнія этого реагента обозначимъ черезъ  $\triangle_4$  и соотвѣтственно измѣнить выраженіе температурной разности

$$T-(t+\triangle_1+\triangle_2+\triangle_3+\triangle_4),$$

то теплопроизводительность антрацита можеть быть найдена по формуль:

$$K = \frac{0.73 (G + U) [T - (t + \triangle_1 + \triangle_2 + \triangle_3 + \triangle_4)]}{G}$$

Численный примъръ.

Опредъленія теплопроизводительной способности пробы угля калориметромъ Парра.

Положимъ, въсъ воды влитой въ калориметръ до опыта G=2000 гр. Первоначальный въсъ желъзнаго цилиндрика g=0,4014 гр. Окончательный въсъ цилиндрика g=0,3922 гр.

Вѣсъ сгорѣвшей части цилиндрика

$$g - g_0 = a = 0,4014 - 0,3922 = 0,0092$$
 rp.

Температура краснаго каленія желѣза  $T_1 = +700$ °C.

Теплоемкость жельза c = 0,12.

Температура воды въ калориметръ передъ зажиганіемъ t = +16°с. Максимальная температура воды послъ сожиганія T = +19,2°с.

Полное наблюденное повышение температуры воды въ калориметрѣ: T-t=19.2-16=3,2°c.

Въсъ пробы угля 0,5 гр.; винной кислоты 0,5 гр. и  $\mathrm{Na_2O_2}$  10 гр.

#### Опредъленіе водяного эквивалента по способу смѣшенія (Бертело).

Положимъ первоначальная наблюденная температура воды въкалориметр $t=+22^{\circ}c$ .

Въсъ воды въ калориметръ G = 2000 гр.

Въсъ вливаемой воды g = 82 гр. (cm<sup>3</sup>).

Ея температура:  $t_1 = +80^{\circ}$ с.

Общая температура воды посл $^{\ddagger}$  вливанія  $t_2 = +24$ °с.

Общій вѣсъ воды въ калориметрѣ послѣ вливанія G+g=2082 гр. Общее количество бывшей и вновь сообщенной калориметру теплоты.

$$Gt + gt_1 = (2000 \times 22) + (82 \times 80) = 44000 + 6560 = 50560$$
 Cal.

Запасъ теплоты, оказавшейся въ водъ калориметра:

$$(G+g)$$
  $t_2 = 2082 \times 24 = 49968$  Cal.

Остальная теплота, очевидно поглощена частями калориметра и равна:

$$50560 - 49968 = 592$$
 Cal.

Это теплопоглощеніе соотвѣтствуетъ повышенію температуры отъ t=+22°с до  $t_2=+24$ °с., т. е. на 2°с. Слѣдовательно, разности температуръ въ 1°с соотвѣтствуетъ теплопоглощеніе частей калориметра, равное:

$$\frac{592}{2} = 296$$
 Cal.

Это количество теплоты можетъ нагр $\pm$ ть на 1 $^{\circ}$ с. в $\pm$ съ воды въ 296 гр.

Слѣдовательно, водяной эквивалентъ калориметра U=296 гр. Количество теплоты, доставленное раскаленнымъ цилиндрикомъ:

$$K_1 = gc. T_1 = 0.4014 \times 0.12 \times 700 = 33,7176 \text{ Cal};$$

Все количество калориметрической воды

$$(G+U) = 2000 + 296 = 2296$$
 rp.

содержа 2296 Cal. теплоты, можетъ повысить температуру на 1°с., слѣдовательно теплота, доставленная цилиндрикомъ, можетъ повысить температуру воды на

$$\triangle_1 = \frac{K_1}{(G+U)} = \frac{33,7176}{2296} = 0,0147$$
°c

Теплота горѣнія желѣза въ Fe<sub>3</sub>O<sub>3</sub> равна:

$$K_2 = 0.0092 \times 1601 = 14.7292$$
 Cal;

Эта теплота можетъ повысить температуру воды на

$$\triangle_2 = \frac{K_2}{(G+U)} = \frac{14.7292}{2296} = 0,0064^{\circ}c.$$

Точно также, согласно опытовъ, 0,5 гр. винной кислоты поднимаютъ температуру калориметрической воды на  $\Delta_3 = 0.70$ °с.

Величина полной поправки равна:

$$\triangle_0 = \triangle_1 + \triangle_2 + \triangle_3 = 0.0147 + 0.0064 + 0.7000 = 0.7211$$
°c.

Дъйствительная разность температуръ:

$$T - t - \triangle_0 - 19,2 - 16 - 0,7211 = 2,4789$$
°c.

Такъ какъ на счетъ теплоты горѣнія взятой пробы угля можно отнести только  $73^{\circ}/_{\circ}$  отъ полнаго истиннаго повышенія температуры, то, теплопроизводительность пробы выражается формулою:

$$K = \frac{0.73 (G + U) [T - t - \triangle_0]}{0.5} = \frac{0.73 \times 2296 \times 2.4789}{0.5} = 8309.67 \text{ Cal.}$$

Такъ какъ въ дълъ отопленія мъстными печами газообразное и жидкое топливо почти не примъняется, то мы и не описываемъ здъсь калориметровъ Junkers а и Фишера примъняемыхъ при изслъдованіи горючихъ газовъ и нефтяныхъ остатковъ.

# Опредъление теплопроизводительной способности горючаго по дан-

Важнъйшими горючими элементами въ составъ любого топлива какъ извъстно являются: углеродъ (C) водородъ (H) и съра (S).

Еще при первыхъ своихъ калориметрическихъ опытахъ сначала Дюлонгъ, а послъ: Фавръ и Зильберманъ, Бертело, Томсенъ и др. съ постоянно повышавшейся точностью опредълили величины теплопроизводительности углерода, водорода, съры и окиси углерода. Въ округленныхъ для техническихъ цълей цифрахъ эти величины представлены въ нижеслъдующей таблицъ:

Таблица № 45 й.

Вещество.	Химич. составъ.	Продукть горвнія.	Теплопроизводитель- ность 1 klgr. въ Cal.
V		Полнаго (СО2	8140
Углеродъ С		Не полнаго СО	2440
Daranas		$H_2O$ (въ воду)	34200
Водородъ	Herry M	Н <sub>2</sub> О (въ пары)	28800
Съра	S	S0 <sub>2</sub>	2500

Начиная съ Дюлонга различные изслѣдователи неоднократно ставили себѣ задачею найти способъ вычислять величину теплопроизводительной способности горючихъ веществъ по даннымъ химическаго анализа.

Такъ какъ въ результатъ анализа получаются въ % -ахъ точныя въсовыя количества горючихъ элементовъ С, Н и S, то представлялось весьма заманчивымъ воспользоваться этими цифрами на ряду съ данными приведенной выше теблицы теплопроизводительности элементовъ, чтобы путемъ самыхъ несложныхъ ариөметическихъ дъйствій получить трудно добываемую другими способами величину теплопроизводительной способности даннаго горючаго.

Въ осуществленіи этой идеи предложено было очень много эмпирическихъ формулъ, ръшавшихъ задачу съ большей или меньшей степенью точности. Первую формулу предложилъ Дюлонгъ.

## А) Формула Дюлонга.

Положимъ, что въ результатъ химическаго анализа оказалось въ 100 въсовыхъ частяхъ образца горючаго:

Углерода	Cº/0.
Водорода	THE RESERVE OF THE PARTY OF
Съры	annie de la constantina della
Кислорода	O0/0.
Азота	$N^0/_0$ .
Гигроск. (H <sub>2</sub> O) воды	$W^0/_0$ .
Золы	$M^{o}/_{o}$ .

Принимая во вниманіе только первые три активные элемента, Дюлонгь для величины теплопроизводительной способности К дальформулу:

$$K = \frac{8140 \text{ C} + 34200 \text{ (H} - \frac{0}{8}) + 2500 \text{ S}}{100} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (1)$$

Изъ самаго состава формулы легко видъть, что авторъ ея пред положилъ:

а) Независимое другъ отъ друга полное горъніе углерода (С),

водорода (H) и съры (S).

в). Что весь кислородъ въ количествъ  $0^0/_0$  связанъ съ частью водорода въ пропорціи воды и что только свободный водородъ въ количествъ ( $H = \frac{0}{8}$ )  $0/_0$  является горючимъ элементомъ.

Формула Дюлонга даетъ для величинъ теплопроизводительности различныхъ видовъ горючаго цифры значительно расходящіяся съ цифрами, полученными опытнымъ путемъ въ бомбахъ Бертело и Крёкера.

Такой результать не является неожиданнымь, такъ какъ въ основу формулы положены совершенно произвольныя допущенія, ошибка которыхъ состоить въ слъдующемь:

1) Предположивъ независимое другъ отъ друга сгораніе элементовъ C, S и  $(H-\frac{0}{8})$ , Дюлонгъ въ сущности допустиль, что горючее является простой механической смисью углерода, водорода, сиры и негорючихъ веществъ: воды, золы и азота, тогда какъ въ дийствительности тила эти связаны между собою химически и представляютъ сложное соединеніе.

Всякое горючее, раньше чѣмъ начинаетъ горѣть, разлагается на составныя части. Процессъ разложенія или дисгрегаціи требуетъ затраты нѣкоторой части энергіи въ формѣ теплоты и состоитъ въ постепенномъ ослабленіи химической связи между молекулами элементовъ. Для того, чтобы знать и учесть величину этой затраты, надо знать точно характеръ группировки молекулъ и частичныхъ силъ сцѣпленія между ними. Къ сожалѣнію, эта группировка въ большинствѣ случаевъ совершенно не извѣстна и только въ нѣкоторыхъ немногихъ, самыхъ простыхъ, наши допущенія на этотъ счетъ болѣе или менѣе вѣроятны.

Такимъ образомъ, формула Дюлонга, не учитывая расхода теплоты на дисгрегацію, т. е. на разрушеніе химической связи между молекулами элементовъ, должна давать результать преувеличенный.

Пояснимъ это положение нъсколькими примърами:

Примъръ І-й.

Дана простая механическая смѣсь, въ 100 вѣсовыхъ частяхъ которой 75 частей составляетъ углеродъ (С) и 25 частей водородъ (Н). По формулѣ Дюлонга:

$$K = \frac{8140 \text{ (C)} + 34200 \text{ (H)}}{100} = \frac{(8140 \times 75) + (34200 \times 25)}{100} = 14660 \text{ Calor.}$$

Съ точки зрѣнія Дюлонга составъ болотнаго газа (Метанъ)  $\mathrm{CH_4}$  какъ разъ подходитъ къ этому случаю, такъ какъ вѣсовое соотношеніе элементовъ совершенно такое же.

При точномъ калориметрическомъ опытъ для Метана теплота горънія оказалась равною:

K = 13300 Calor.

т. е. меньше на 1360 Cal. сравнительно съ вычисленной по формулъ Дюлонга. 1360 Cal. очевидно представляютъ мъру энергіи израсходованной на разрушеніе химической связи молекулъ углерода и водорода въ составъ болотнаго газа.

Примъръ 2-й.

По даннымъ элементарнаго анализа каменнаго угля оказалось:

Углерода (С).	•		•					80,10%,
Водорода (Н)								$3,74^{0}/_{0}$ .
Сѣры (S)								$2,76^{\circ}/_{\circ}$ .
Кислорода (О) .								2,51°/ <sub>0</sub> .
Азота (N)								0,81%.
Гигр. воды (Н <sub>2</sub> О)								$1,47^{\circ}/_{0}$ .
Золы								$8,61^{\circ}/_{0}$ .
		Was de	E	3 c	eı	0		100°/0.

По формуль Дюлонга, по подстановленіи цифровыхъ значеній, получаемъ:

$$K = \frac{(80,10 \times 8140) + 34200 \quad (3.74 - \frac{2.51}{8}) + 2.76 \times 2500}{100} = 7762,20 \text{ Calor.}$$

Калориметрическимъ опытомъ съ бомбою Крёкера для этого образчика угля найдена величина

$$K = 7602,30$$
 Calor.

т. е. меньше на 159,90 Calor.

Количество энергіи, потребное для разрушенія химической связи между молекулами химическихъ соединеній, возрастаетъ въ зависимости отъ усложненія химическаго состава тѣлъ. Поэтому и разница между истинной теплотой горѣнія опредѣленной калориметрически и полученной по формулѣ Дюлонга возрастаетъ въ томъ же направленіи. Профессоръ Деппъ приводитъ очень наглядную табличку въ доказательство этого положенія:

Въ таблицъ приведены три изомърныя, т. е. одинаковаго состава вещества:

Газообразное	Этиленъ (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> );
Жидкое	Амиленъ (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> );
Твердое	Цетенъ $(C_{16}H_{32});$

Если вычислить теплоту горѣнія по формулѣ Дюлонга, то для всѣхъ трехъ веществъ она будетъ одинакова и равна K=11917 Cal. такъ какъ пропорція составныхъ частей во всѣхъ трехъ случаяхъ одинакова.

Калориметрическимъ путемъ однакоже найдены совершенно различныя величины, именно

для Этилена 
$$(C_2H_4)$$
..... $K_1=11857$  Calor.  
" Амилена  $(C_5H_{10})$ .... $K_2=11491$ —  
" Цетена  $(C_{16}H_{32})$ .... $K_3=11055$ —

Какъ видимъ, разница съ вычисленнымъ значеніемъ, составляя для газообразнаго Этилена всего 60 Cal. для жидкаго Амилена уже равна 426 Cal., а для твердаго Цитена доходитъ до 862 Cal. Само собою понятно, что на дисгрегацію частицъ газа требуется меньшая затрата энергіи, чѣмъ на дисгрегацію молекулъ жидкости, и тѣмъ болѣе, твердаго тѣла.

2) Вторымъ произвольнымъ допущеніемъ въ формулѣ Дюлонга является положеніе, что весь кислородъ (О) въ количествѣ, опредѣляемомъ элементарнымъ анализомъ, связанъ съ частью водорода H въ пропорціи воды  $H_2$ О и что въ горѣніи участвуетъ только свободный избытокъ водорода  $\left(H-\frac{0}{8}\right)$ .

Само собою понятно, что для горючихъ веществъ, бѣдныхъ кислородомъ и водородомъ, это произвольное допущение Дюлонга не влечетъ большой ошибки.

Такъ, по даннымъ Бунте формула Дюлонга въ примѣненіи къ каменнымъ углямъ и антрацитамъ даетъ иногда ошибку не болѣе какъ на 20—30 Calor.

Совершенно иной результать получается для тѣхъ видовъ горючаго, въ составъ которыхъ кислородъ занимаетъ преобладающее значеніе. Въ этомъ случав, въ формулу Дюлонга совершенно не войдетъ теплота горѣнія водорода, такъ какъ весь онъ будетъ считаться связаннымъ съ кислородомъ въ формъ воды и результатъ вычисленія долженъ быть ниже дѣйствительнаго.

Опытъ дъйствительно доказываетъ произвольность сдъланнаго Дюлонгомъ допушенія.

Основаніемъ всякаго растительнаго горючаго является клѣтчатка (целлюлоза) $C_6H_{10}O_5$ ; элементарный ея составъ:

$$C = 44,44^{0}/_{0};$$
  
 $H = 6,17^{0}/_{0};$   
 $C = 49,39_{0}/_{0};$ 

количество свободнаго водорода, по предположенію Дюлонга равно:

$$\left(6,17-\frac{49,39}{8}\right)=6,17-6,17=0,$$

т-е., при сожиганіи клътчатки въ горьніи участвуеть только ея углеродъ.

- Теплопроизводительная способность чистой клѣтчатки по Дюлонгу должна быть равна:

$$K = \frac{8140 \times 44,44}{100} = 3617,42$$
 Cal.

На основаніи точныхъ калориметрическихъ изслѣдованій найдено для клѣтчатки

$$K = 4200$$
 Cal. и  $K = 4190$  Cal.

Или въ среднемъ

$$K = 4195$$
 Cal.;

такъ какъ на дисгрегацію слабосвязанныхъ элементовъ клѣтчатки не могло израсходоваться 577.58 Cal., то остается допустить, что въ горѣніи клѣтчатки принимаетъ участіе и нѣкоторая доля свободнаго водорода, т.-е., что не весь онъ связанъ съ кислородомъ въ формы воды.

Химическій анализъ различныхъ видовъ естественнаго горючаго показываетъ, что процентное содержаніе кислорода и водорода въ нихъ убываетъ при возрастаніи содержанія углерода въ слѣдующемъ порядкѣ, указанномъ таблицею проф. Менделѣева, представляющей средніе приближенные результаты на 1 klgr. горючаго:

Таблица № 46-й.

THE MERCHANIST STORY OF THE PROPERTY OF THE	Въ 1 klgr. горючаго.					
Родъ горючаго вещества (на 1 klgr.).	C	Н	0			
	Въ к	идограм	махъ.			
Дрова (20% влаги)	0,400	0,048	0,345			
Тор $\Phi$ ъ (брикеты) ( $10^{\rm 0}/_{\rm 0}$ влаги)	0.488	0,051	0,284			
Бурый уголь (8°/ <sub>0</sub> влаги)	0,568	0 042	0 220			
Сухой каменный уголь	0,732	0,048	0,110			
Газовый уголь	0 795	0,050	0,070			
Коксовый уголь	0,835	0,048	0,092			
Антрацитъ	0,880	0,018	0,014			

Таблица эта подтверждаеть, что горючее вещество тъмъ болье содержить углерода, чъмъ менъе замътно въ немъ первоначальное органическое строеніе, т.-е., чъмъ болье оно минерализовалось.

Отсюда понятно, что точность результатовъ вычисленій теплопроизводительной способности по формулѣ Дюлонга возрастаетъ сообразно возрасту горючаго, т.-е., пропорціонально уменьшенію процентнаго содержанія въ немъ кислорода.

Для древесныхъ видовъ горючаго (клътчатки) формула Дюлонга

признается совершенно непригодной.

3) Итакъ предположение Дюлонга о связи всего кислорода топлива съ соотвътствующей образованию воды частью водорода не оправдывается фактами.

Кром'в того, Дюлонгъ не принялъ во вниманіе еще и возможность другой группировки молекулъ элементовъ горючаго, именно: кислородъ можетъ быть въ состав'в топлива связанъ не съ водородомъ, а съ углеродомъ въ пропорціи углекислоты (СО<sub>2</sub>), слѣдовательно соотв'ьтствующая часть связаннаго углерода не приметъ участія въ процесс'в гор'внія.

Разница, получающаяся отъ выбора того или другого допуще-

нія выражается въ следующихъ цифрахъ:

Такъ какъ 8 частей кислорода связываютъ 1 часть водорода, то потеря теплоты горѣнія будеть соотвѣтствовать  $^{1}/_{8}$  полной теплопро-изводительности водорода, т.-е. равна:

$$\frac{1}{8} \times 34200 = 4275$$
 cal.

Во второмъ случаћ, когда часть углерода связана съ кислородомъ въ пропорціи углекислоты ( $\mathrm{CO_2}$ ). 8 частей кислорода связываютъ 3 части углерода, а одна часть (O) связываетъ  $^3/_8$  (C) потеря теплоты горѣнія, очевидно, равна:

$$3/_8 \times 8140 = 3052,5$$
 cal.

Предположивъ связь кислорода только съ водородомъ, получаемъ потерю большую на 1222,5 cal. Этотъ подсчеть оправдываетъ формулу Дюлонга только въ томъ отношеніи, что даваемая ею цифра теплопроизводительности не преувеличена.

Для иллюстраціи сказаннаго приведемъ здѣсь два примѣра, взя-

тые изъ курса паровыхъ котловъ проф. Деппъ:

Примъръ 1-й.

Алкоголь ( $C_2H_6O$ ) можно разсматривать состоящимъ согласно ур-нію:

 $C_2H_6O = C_2U_4 + H_2O$ 

изъ маслороднаго газа ( $C_2H_4$ ) и воды ( $H_2O$ ). Слѣдовательно, допускать согласно Дюлонгу, что весь кислородъ связанъ исключительно съ частью водорода въ пропорціи воды.

Горючимъ элементомъ въ составѣ алкоголя при этомъ условіи надо считать только маслородный газъ ( $C_2H_4$ ). Исходя изъ атомныхъ вѣсовъ (C=12,00; H=1,00; O=16,00) находимъ, что алкоголь со-

стоитъ изъ  $\frac{14}{23}$  въсовыхъ частей ( $C_2H_4$ ) и  $^9/_{23}$  частей ( $H_2O$ ).

Теплота горънія маслороднаго газа извъстна изъ калориметрическихъ опытовъ Фавра и Зильбермана (K=11857) и болъе новыхъ и точныхъ Бертело (K=11946,4) и Томсена (K=11884).

Принявъ среднюю изъ двухъ послѣднихъ, т. е. положивъ для маслороднаго газа  $\mathrm{K}=11915,2$  cal. найдемъ для алкоголя:

$$K = \frac{14}{23}$$
11915,2 = 7252,7 cal.

Калориметрически опредъленная теплопроизводительность алкоголя по Фавру и Зильберману равна:

$$K = 7183,6$$
 cal.

2.й примѣръ.

Уксусную кислоту ( $C_2H_4O_2$ ) можемъ представить согласно химическаго равенства:

$$C_2H_4O_2 = CH_4 + CO_2$$

гдъ весь кислородъ будетъ связанъ съ частью углерода въ пропорціи углекислоты (CO<sub>2</sub>).

Болотный газъ (метанъ) СН, составляетъ по въсу 4/15 общаго въса. Калориметрически найденная теплопроизводительность метана по Бертело 13275 cal; по Томсену—13244 cal. въ среднемъ же она равна 13259, 5 cal.

Такъ какъ CO<sub>2</sub> въ горѣніи не участвуетъ то, теплопроизводительность паровъ уксусной кислоты равна:

$$K = \frac{4}{15} \times 13259, 5 = 3535, 8$$
 cal.

Что довольно близко къ найденному Фавромъ числу K=3505 cal. Второй примъръ показываетъ, что и предположение связи кислорода съ углеродомъ (а не водородомъ) можетъ привести къ результату не менъе точному, чъмъ и предположение Дюлонга.

4) Въ своей формулъ Дюлонгъ допустилъ еще одну неправильность, принявъ теплоту горънія водорода равною 34200 cal. Эта цифра относится къ газообразному состоянію водорода, между тъмъ въ составъ твердаго топлива (угля) водородъ не газообразенъ и его теплопроизводительность не выше 30000 cal.

Несостоятельность формулы Дюлонга заставила другихъ изслъдователей ввести въ нее нъкоторыя поправки; въ результатъ появилось еще нъсколько формулъ, претендующихъ на большую степень точности. Изъ нихъ интересна формула, данная пр. Менделъевымъ.

## В) Формула Мендельева.

Пр. Менделѣевъ, изучивъ обширный матеріалъ, представляемый многочисленными калориметрическими изслѣдованіями, считалъ, что ошибки опредѣленій въ работахъ Фавра и Зильбермана могутъ достигать  $5\%_0$ , а въ новѣйшихъ изслѣдованіяхъ съ бомбами до  $2\%_0$ .

Опираясь на наиболъе точныя, по его мнънію, величины теплотъ горънія углерода С 8100 саl. Клътчатки  $C_6 H_{10} O_5$  (по Штоману) 4190 саl., твердаго водорода H=30000 саl. и съры S=2600 саl. и на основаніи среднихъ результатовъ калориметрическихъ изслъдованій Мендельевъ предложилъ универсальную формулу:

$$K = \frac{8100(C) + 30000(H) - 2600(O - S)}{100}$$

пригодную по его мнѣнію для всякихъ видовъ твердаго и жидкаго топлива.

При чемъ теплота горѣнія водорода уменьшена на 4200 cal., т.-е. на величину, соотвѣтствующую затратѣ теплоты на превращеніе твердаго углерода въ газообразное состояніе, или на его дисгрегацію.

#### Опредъленіе теплопроизводительной способности горючихъ по способу Бертье.

Въ 1822 году Вельтеръ обнародовалъ свое приближенное эмпирическое правило, по которому количество теплоты, выдъляющееся при горъніи вещества, пропорціонально количеству поглощеннаго кислорода.

Въ доказательство этого правила приведемъ слъдующій примъръ: Полную теоретическую теплоту горьнія (полный запасъ тепловой энергіи) углерода С обозначимъ черезъ К<sub>0</sub>.

Полную калориметрическую (явную) теплопроизводительность этого же элемента при полномъ сгораніи въ углекислоту  $CO_1$ , опредъленную въ аппаратахъ черезъ  $K_1=8140$  cal. извъстно, что:

гдѣ  $k_0$  есть затрата тепловой энергіи на превращеніе твердаго углерода C въ газообразную углекислоту  $CO_2$ .

Иначе говоря

При неполномъ сожиганіи углерода С въ окись углерода СО явная его теплопроизводительность

$$K'_1 = 2429$$
 cal.

обозначивъ черезъ  $K_0$  полную теоретическую теплоту горънія окиси углерода—СО и имъя въ виду, что на дисгрегацію твердаго углерода до состоянія газообразнаго СО затрачено по прежнему  $k_0$  cal., можемъ написать:

$$K_1' = K_0' - k_0; \dots (b)$$

или

$$K_0{'}\!-\!k_0=\!2429$$
 cal. . . . . . . . . (b')

для рѣшенія ур-ній (a') и (b') съ тремя неизвѣстными  $K_0$ ,  $K_0$ ' и  $k_0$ . составимъ третье ур-ніе на основаніи слѣдующихъ разсужденій:

Положимъ, что 1 klgr. углерода (С) соединился съ кислородомъ

въ пропорціи углекислоты  $CO_2$ , т. е. въ отношеніи  $12:16 \times 2=12:32=3:8$ ; количество выдълившейся при этомъ теплоты равно

$$K_1 = 8140$$
 cal..

добавимъ къ полученной углекислотъ ( $\mathrm{CO_2}$ ) еще 1  $\mathrm{klgr}$ . углерода по формулъ

 $CO_2 + C = 2CO$ 

получимъ  $4^2/_3$  klgr. окиси углерода, при чемъ въ этомъ случав выдвлилось х cal.; слвдовательно, всего нами получено (8140 + x) cal.

Эта сумма должна быть равна тому количеству теплоты, какое выдълилось бы при превращени 2-хъ klgr. углерода С въ окись углерода (СО) при соединени съ  $\frac{8}{3}$  klgr. кислорода, т. е.:

$$(8140 + x) = 2 \times K'_1 = 2 \times 2429 = 4858$$
 cal. . . . . . (c)

отсюда x = -3282 cal.

Отрицательный знакъ указываетъ на эндотермичность реакціи раскисленія  $CO_2$  въ CO, что подтверждается опытомъ: раскисленіе имѣетъ мѣсто только при высокой температурѣ, т. е. требуетъ затраты теплоты, которая идетъ на превращеніе твердаго углерода въ газъ, а тогда величина  $\mathbf{x} = \mathbf{k}_0 = \mathbf{k}_0$ 

По подстановленіи значенія К, въ ур-нія (а') и (b') получаемъ;

, или

$$K_0 - k_0 = 8140$$
 cal.  
 $K_0 = 8140 + 3282 = 11422$  cal.

точно также

$$K_0' - k_0 = 2429$$
 cal.   
 $K'_0 = 2429 + 3282 = 5711$  cal.

Сравнивая цифры для  ${
m K^0}=11422$  cal. и  ${
m K_0'}=5711$  cal., видимъ, что совершенно точно

$$K_0 = 2K'_0$$

Но  $K_0$  есть результать соединенія углерода съ 2-мя паями кислорода, а  $K_0'$  — только съ 1-мъ паемъ его, слъдовательно, въ данномъ случаѣ количества выдѣлившейся теплоты относятся какъ количества поглощеннаго кислорода,: т. е.

Этимъ соотношеніемъ и подтверждается правило Вельтера, на которомъ основанъ способъ Бертье, состоящій въ слѣдующемъ:

Измельченный въ порошокъ образецъ испытуемаго горючаго смѣшивается съ окисью свинца (PbO). Смѣсь прокаливается въ закрытомъ тиглѣ до прекращенія выдѣленія газовъ. Въ результатѣ процесса получается слитокъ металлическаго свинца (Pb); реакція идетъ по ур-нію  $2PbO+C=CO_2+2Pb$ . Если извѣстенъ вѣсъ окиси свинца до прокаливанія и вѣсъ чистаго свинца послѣ этого, то извѣстенъ и

въсъ вступившаго въ соединение кислорода. По этому послъднему согласно правила Вельтера опредъляется и количество оовобожденной теплоты.

Пусть вѣсъ испытуемаго горючаго до опыта равенъ р klgr. Вѣсъ возстановленнаго изъ окиси свинца q klgr. Количество углерода, вступившаго въ соединеніе изъ горючаго, общій вѣсъ котораго равенъ р klgr. изъ соотношенія остальныхъ вѣсовъ равенъ:

$$\frac{q.12}{2 \times 206,4} = \frac{q}{34,4}$$
 klgr.

а на 1 klgr. горючаго:

$$C = \frac{q}{34,4.p};$$

зная теплопроизводительную способность углерода 8100 Cal., имъемъ теплопроизводительную способность образчика горючаго

$$K = \frac{q}{34,4 \cdot p} 8100 = 232,5 \frac{q}{}$$
 Calor.

Способъ Бертье, не будучи точнымъ, настолько простъ, что имъ охотно пользуются въ цъляхъ быстроты полученія результатовъ опыта.

#### Вычисленіе полезной теплопроизводительной способности.

Непосредственнымъ калориметрическимъ опытомъ, опытомъ съ бомбою, способомъ Бертье или вычисленіями по формуламъ Дюлонга и Менделѣева мы можемъ опредѣлить для любого горючаго вещества величину  $K_1$  его теплопроизводительной способности при полномъ охлажденіи.

Если изъ величины  $K_1$  вычесть теплоту  $k_1$ , уносимую парами воды какъ гигроскопической, такъ и образовавшейся отъ сгоранія свободнаго водорода топлива, то разность

$$K_2 = K_1 - K_1$$

называется полезной теплопроизводительной способностью даннаго горючаго потому, что въ условіяхъ практическаго сожиганія теплота паровъ воды  $k_1$ , удаляющихся съ продуктами горѣнія, пропадаетъ безполезно, полезной же частью теплоты горѣнія будетъ только величина  $K_2$ .

Допустивъ, что температура паровъ удаляющихся въ атмосферу равна  $t^0c$ , а первоначальная температура воды до горвнія  $t^0_0$ , найдемъ скрытую теплоту парообразованія по формуль Реньо равною:

$$\lambda = 606,5 + 0,305 (t - t_0).$$

Если полный въсъ воды обозначимъ черезъ  $\Sigma W$ , то полная скрытая теплота парообразованія равна  $\lambda \Sigma W = k_1$ .

Положивъ, какъ обыкновенно полагаютъ t=+100°с  $t_{\rm o}=0$ °, найдемъ для  $\lambda$  значеніе:

$$\lambda = 606,5 + 0,305 \times 100 = 637$$
 Cal. на 1 klgr. паровъ,

а для всего количества воды превратившейся въ паръ:

$$637 \Sigma W = K_1$$
.

Далъе, обозначимъ черезъ W въсовое количество гигроскопической воды въ составъ топлива, зная, что изъ 8 частей кислорода и 1 части водорода образуются 9 частей воды, количество воды отъ сгоранія водорода можемъ представить въ видъ 9Н. Такъ что  $\Sigma W = (9H + W)$  и величина потери теплоты, уносимой парами воды:

$$k_1 = 637 (9H + W) \dots (1)$$

Слѣдовательно, полезная теплопроизводительность можетъ быть представлена выраженіемъ:

$$K_2 = K_1 - 637(9H + W)$$
 cal. . . . . . . . . . (2)

гдъ:  $K_2$ , искомая полезная теплопроизводительность  $K_1$ , найденная опытомъ или вычисленная тепропроизводительность при полномъ охлажденіи (калориметрическая); 637(9H+W) теплота, уносимая парами воды.

Формулой (2) можно пользоваться тогда, когда извъстны:  $K_t$  и элементарный составъ горючаго, т.-е. когда даны въсовыя количества водорода (H) и гигроскопической воды W.

### Примъръ:

Донецкій полуантрацитовый уголь:

Элементарный составъ:

Углерода (С)	
Съры (S)	
Азота (N) 0,81% Золы	Согласно формулы (2) скрытая теплота паровъ, уносимая
Furp. $60001$ (W) 1,47 $\frac{0}{0}$	въ атмосферу:

$$k_i = \frac{637(9 H + W)}{100} = \frac{637(9 \times 3,74 + 1,47)}{100} = 222,95 \text{ cal.}$$

Поэтому полезная теплопроизводительность:

$$K_2 = K_1 - k_1 = 7602,30 - 222,95 = 7379,35$$
 cal.

2) Полезная теплопроизводительность  $K_2$  можеть быть получена и вычисленіемъ съ помощью формулы Дюлонга, если ее дополнить членомъ 637(9H + W), взятымъ со знакомъ(—).

Въ этомъ случав формула Дюлонга принимаетъ видъ:

$$K_{2} = \frac{8140(C) + 34200\left(H - \frac{0}{8}\right) + 2500(S) - 637(9H + W)}{100} . . (3)$$

Пользуясь цифрами предыдущаго примъра, легко находимъ, что:

$$K_2 = \frac{(80,10 \times 8140) + 34200 \left(3,74 - \frac{2,51}{8}\right) + (2500 \times 2,76) - 222,95}{100} = 7762,20 - 222,95 = 7539,25 \text{ cal.}$$

3) Можно этому же выраженію придать другую форму, именно: такъ какъ изъ 1 klgr. водорода образуется 9 klgr. водяныхъ паровъ,

уносящихъ  $9 \times 637 = 5733$  cal., то каждый klgr. сгор $\pm$ вшаго водорода выдѣлитъ только 34200 - 5733 = 28467 cal. эту послѣднюю уменьшенную величину и вводимъ въ формулу Дюлонга въ качестет теплоты горвнія водорода\*); потеря же отъ паровъ гигроскопической воды 637 W cal. вводится въ формулу непосредственно, при этихъ условіяхъ формула принимаетъ видъ:

$$K_{2} = \frac{8140(C) + 28467\left(H - \frac{0}{8}\right) + 2500S - 637W}{100} \qquad (4)$$

4) Въ формулу (4) различными учеными подставляются различные коэффиціенты (теплоты горвнія элементовъ) смотря по тому, берутся ли цифры Фавра и Зильбермана, Бертело, Томсена, Бунте и проч.

Общество германскихъ инженеровъ предложило формулу округленными техническими коэффиціентами: она имфетъ видъ:

$$K_2 = \frac{8100C + 29000 \left(H - \frac{0}{8}\right) + 2500S - 600W}{100}$$
 . . . (5)

5) Формула проф. Менделвева, точно также, будучи дополнена членомъ 637W, взятымъ со знакомъ (-), можетъ служить для вычисленія полезной теплопроизводительности К, именно:

$$K_2 = \frac{8100C + 30000H - 2600(O - S)637W}{100} \dots$$
 (6)

Въ заключение считаемъ еще разъ необходимымъ указать, что терминъ "полезная теплопроизводительность" крайне неудаченъ и даеть неправильное понятіе величины имъ представляемой.

"Полезная теплопроизводительность" далеко не выражаетъ величины того количества теплоты, какимъ можно воспользоваться въ практикъ сожиганія.

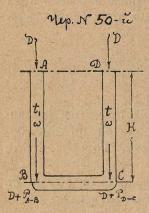
<sup>\*)</sup> Этой величиной и оденивается потеря теплоты отъ паровъ, образовавшихся при горвніи водорода.

#### ГЛАВА VIII.

Основанія элементарной теоріи движенія воздуха и газовъ въ трубахъ и каналахъ.

#### 1. Выражение теоретического напора.

Представимъ себѣ опрокинутую сифонную трубу ABCD (см. черт. № 50) постояннаго поперечнаго сѣченія  $\omega$  mtr.², оба колѣна которой имѣютъ одинаковую высоту H mtr. и открыты въ верхнихъ сѣченіяхъ A и D.



Положимъ, что вся труба ABCD заполнена атмосфернымъ воздухомъ, имѣющимъ температуру  $t^0$  с. и что стѣнки трубы абсолютно не теплопроводны, т.-е. что воздухъ заполняющій трубу не способенъ ни воспринимать теплоту изъ окружающей среды, ни отдавать ее внаружу, если температура этой среды не равна температурѣ t воздуха въ трубъ.

Въ силу того, что оба колѣна сифонной трубы АВ и СD подвергаются въ сѣченіяхъ А и D совершенно одинаковому атмосферному давленію и такъ какъ физическое состояніе воздуха и количество его по объему и по вѣсу

въ обоихъ колънахъ сифона также совершенно одинаково, то массы воздуха обоихъ столбовъ АВ и CD должны находиться въ равновъсіи.

Положимъ, далѣе, что подъ вліяніемъ какой-либо причины температура воздуха въ одномъ изъ колѣнъ сифона, напримѣръ, въ колѣнѣ АВ повысилась до  $\mathbf{t_1}^{\mathfrak{o}}$  с.

Одной этой причины, при сохраненіи всѣхъ остальныхъ условій, достаточно для того, чтобы равновѣсіе нарушилось и чтобы въ обоихъ колѣнахъ сифонной трубы возбудилось движеніе.

Обозначимъ: черезъ δ плотность, т.-е. вѣсъ 1 mtr.<sup>3</sup> воздуха въ klgr. при 0°С., черезъ α коэффиціентъ кубическаго расширенія воздуха и черезъ D въ klgr. атмосферное давленіе на уровнѣ А—D открытыхъ концовъ сифонной трубы.

Состояніе равновѣсія воздуха въ колѣнахъ сифонной трубы при одинаковой въ нихъ температурѣ t объясняется равенствомъ давленій въ сѣченіяхъ В и С; дѣйствительно:

Давленіе въ сѣченіи A колѣна AB равно давленію атмосферы, т.-е. D klgr., въ сѣченіи же B оно увеличивается вѣсомъ столба воздуха высоты H mtr.

Вѣсъ этого столба при температурѣ t, очевидно, равенъ:

$$P_{A-B} = H \cdot \omega \delta_t = H\omega \frac{\delta}{1+\alpha t} \text{ klgr.} \dots$$
 (a)

Полное давленіе въ съченіи В, поэтому, равно:

$$P_B = D + H\omega \frac{\delta}{1 + \alpha t} \text{ klgr.} \dots \dots \dots \dots \dots (b)$$

Точно такимъ же путемъ найдемъ, что полное давленіе въ сѣченіи С колѣна DC равно:

$$P_C = D + H\omega \frac{\delta}{1 + \alpha t} \text{ klgr.} \dots$$
 (c)

откуда:

Такъ какъ давленіе атмосферы D совершенно одинаково, то можно разсматривать только давленія столбовъ воздуха въ предълахъ высоты H кольнъ сифонной трубы, что приводить къ равенству:

Измѣнивъ температуру воздуха въ колѣнѣ AB, именно: повысивъ ее отъ  $t^0$  с. до  $t_1^{\ 0}$  с. мы получимъ въ этомъ колѣнѣ въ сѣченіи B другое, уже меньшее давленіе, именно:

$$P_{A-B} = H\omega \delta_{t_1} = H\omega \frac{\delta}{1+\alpha t_1} \dots \dots (f)$$

Тогда какъ давленіе въ съченіи С кольна DC осталось по-прежнему равнымъ:

$$P_{D-C} = H\omega \delta_t = H\omega \frac{\delta}{1 + \alpha t}$$
.

Перевъсъ давленія или избыточное давленіе въ сѣченіи С надъ давленіемъ въ сѣченіи В выразится при нашихъ обозначеніяхъ уравненіемъ:

$$P_{D-C} - P_{A-B} = H\omega \delta_t - H\omega \delta_{t_1} = H\omega \delta \left( \frac{1}{1+\alpha t} - \frac{1}{1+\alpha t_1} \right) \text{ klgr.} . . (1)$$

Избытокъ давленія  $(P_{D-C}-P_{A-B})$  въ сѣченіи С влечеть за

собою нарушеніе равновѣсія и обусловливаетъ теченіе воздуха низшей т-ры t въ колѣнѣ DC въ сторону колѣна BA съ меньшимъ давленіемъ воздуха, имѣющаго т-ру  $t_1$ . Подъ вліяніемъ этого избыточнаго давленія болѣе теплый воздухъ долженъ вытекать черезъ сѣченіе A вверхъ съ опредѣленной скоростью  $v_{t_1}^{\rm mtr./cek.}$ , зависящей отъ вели-

чины избыточнаго давленія  $(P_{D-C} - P_{A-B})$ .

Преобразовавъ ур-ніе (1), можемъ представить его въ формъ:

$$P_{D-C}-P_{A-B} = H\omega \delta \frac{\alpha (t_1-t)}{(1+\alpha t_1)(1+\alpha t)} \text{ klgr.} \dots (2)$$

Ур-ніе (2) показываетъ, что величина избыточнаго давленія при прочихъ равныхъ условіяхъ зависитъ отъ разности т-ръ  $(t_1-t)$  нагрѣтаго и холоднаго столбовъ воздуха, следовательно и скорость вытеканія воздуха у является функціей т-ры.

Избыточное давленіе, обусловливающее движеніе воздуха и скорость этого движенія въ трубъ DCBA называется теоретическимо напороми и выражается давленіемь въ klgr. на 1 mrt.2 площади поперечнаго съченія трубы или канала нормальной къ направленію воздуш-

Принявъ, поэтому  $\omega = 1 \text{ mrt.}^2$ , найдемъ изъ ур-нія (1) выраженіе:

$$\frac{P_{D-C}}{\omega} - \frac{P_{A-B}}{\omega} = H\delta \, \left( \frac{1}{1+\alpha t} - \frac{1}{1+\alpha t_1} \right); \label{eq:pde}$$

положивъ, далѣе,  $\frac{P_{\rm D}-c}{a}=p$  и  $\frac{P_{\rm A}-B}{a}=p_{1}$ , можемъ написать болѣе

простое выражение для величины теоретическаго напора:

$$p - p_1 = H\delta \left( \frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha t_1} \right) \frac{klgr.}{Ha \ 1 \ mtr.^2} \dots \dots (3)$$

Въ этомъ послъднемъ выражении р и р, представляютъ давления столбовъ воздуха высотою H mtr. при температурахъ t и t, и съ площадью основанія въ 1 mtr.2.

Въ физическихъ условіяхъ разсмотрѣннагоиер. N.51-и выше случая движенія воздуха ничто не изм'внится, если, отбросивъ участокъ сифонной трубы DCB, мы будемъ разсматривать (черт. № 51-й) просто вертикальную трубу АВ высоты Н mtr. съ площадью основанія  $\omega$  mtr.<sup>2</sup> (или  $\omega = 1$  mtr.<sup>2</sup>) открытую съ обоихъ концовъ А и В и заполненную воздухомъ при т-ръ і. Дъйствіе кольна DC сифонной трубы мы замвняемъ въ этомъ случав вліяніемъ воображаемаго столба атмосфернаго воздуха т-ры t и той же, что и труба АВ, высоты Н.

Подъ вліяніемъ разности давленій р — р, на уровнъ нижняго съченія В внутри и внъ трубы, въ трубъ АВ возбудится тоже самое движение воздуха отъ В вверхъ къ А и съ тою-

же скоростью вытеканія  $v_{t_i}$  изъ отверстія A.

## 2. Различныя формы выраженія теоретическаго напора или избыточнаго давленія.

Если площадь  $\omega$  поперечнаго сѣченія вертикальной трубы или канала положить равною 1 mtr.², то при высотѣ H mtr. и температурахъ t и  $t_1$  внѣ трубы и, соотвѣтственно внутри ея, величина избыточнаго давленія или теоретическій напоръ выражается найденною выше формулою:

$$p-p_1=H\delta\left(\frac{1}{1+\alpha t}-\frac{1}{1+\alpha t_1}\right)$$
 въ klgr....(4)

Представляемая этимъ выраженіемъ разность вѣсовъ или давленій р и р, можетъ быть въ свою очередь представлена какъ вѣсъ или давленіе нѣкотораго столба воздуха съ основаніемъ въ 1 mir. взятаго при какой угодно произвольной т-рѣ  $\tau$ , но при соотвѣтствующей этой т-рѣ высотѣ  $h_{\tau}$ ; въ этомъ случаѣ вѣсъ или давленіе на 1mtr. снованія уравновѣшивающаго столба, очевидно, выразится въ видѣ:

Вивсто того, чтобы вводить въ формулы произвольную т-ру  $\tau$ , проще выразить давленіе уравновѣшивающаго столба воздуха, взявъ послѣдній при  $0^{\circ}$ С, тогда:

$$p - p_1 = h_0 \delta = H\delta \left( \frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha t_1} \right) \text{ klgr. } ......(b)$$

гдѣ, по прежнему, черезъ  $\delta$  обозначена плотность воздуха при 0°С., а черезъ  $h_0$  въ mtr. высота при 0° уравновѣшивающаго столба.

Обозначивъ черезъ h высоту уравновъшивающаго столба при т-ръ t наружнаго, притекающаго къ нижнему основанію трубы, воздуха и зная, что  $h = h_0$  (1  $+ \alpha t$ ), можемъ въ предыдущее выраженіе ввести вмъсто  $h_0$ , высоту уравновъшивающаго столба при  $t^{\bullet}$ С., написавъ выраженіе теоретическаго напора въ формъ:

$$p - p_i = \frac{h}{1 + \alpha t} \delta = H \delta \left( \frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha t_i} \right) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (c)$$

Точно также можемъ ввести въ выраженіе теоретическаго напора высоту  $h_1$  уравновѣшивающаго столба воздуха при температурѣ  $t_1$ , съ которой воздухъ вытекаетъ изъ верхняго основанія трубы, если снова воспользуемся зависимостью:

$$h_1 = h_0 (1 + \alpha t_1).$$

При этомъ условіи получимъ:

$$p - p_t = \frac{h_t}{1 + \alpha t_t} \delta = H\delta \left( \frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha t_t} \right) \quad . \quad . \quad . \quad (d)$$

Наконецъ, величину теоретическаго напора можемъ представитъвъсомъ или давленіемъ столба воды, имъющаго основаніе  $\omega$  равное 1 mtr.  $^2$ .

Такъ какъ вѣсъ столба воздуха высотою въ 1 mtr. при 0 °C. и при основаніи въ 1 mtr. ² вѣситъ  $\delta=1,293\,$  klgr.; а вѣсъ такого же столба воды равенъ  $1000\,$  klgr., то  $h_{\rm w}$  высота въ mtr. столба воды, уравновѣшивающаго столбъ воздуха высотою  $h_{\rm o}$  при 0 °C., найдется изъ условія:

$$1000 \times h_w = \delta h_0 = 1,293 h_0;$$

откуда:

$$h_{\rm w} = \frac{1.293 \ h_0}{1000} = 0,001293 \ h_0 \ mtr.$$

Въ техникъ обыкновенно выражаютъ  $h_{\rm w}$  въ миллиметрахъ водяного столба, что доставляетъ:

$$h_{w} = 1,293 h_{o} mm$$
.

Такъ какъ столбъ воды съ основаніемъ въ 1  $^{\rm mtr.}$  и при высотѣ въ 1  $^{\rm mm}$ . вѣситъ 1  $^{\rm klgr.}$ , то при высотѣ  $^{\rm hw}$  уравновѣшивающаго столба въ  $^{\rm mm'}$ ахъ, теоретическій напоръ въ  $^{\rm klgr.}$  выражается зависимостью:

$$p-p_1=h_{\rm w}=(1~{\rm klgr.}\times h_{\rm w})=h_0~\delta=H\delta\left(\frac{1}{1+\alpha t}-\frac{1}{1+t\alpha_1}\right)~{\rm klgr.}~.~(e)$$

## 3. Высота теоретического напора.

Въ объ части ур-ній (b), (c) и (d), выражающихъ въ различныхъ формахъ величину теоретическаго напора, входитъ общимъ множителемъ  $\delta$  — плотность воздуха при 0°С., сокративъ его и внеся во второй части выраженій множитель H въ скобки, получимъ:

$$h_0 = \frac{h}{1 + \alpha t} = \frac{h_1}{1 + \alpha t_1} = \left(\frac{H}{1 + \alpha t} - \frac{H}{1 + \alpha t_1}\right) \text{ mtr. } ..., (5)$$

Первая часть этого выраженія представляєть отнесенную къ  $0^{\circ}$ С. высоту столба воздуха, уравновъщивающаго избыточное давленіе и взятую при температурахъ  $0^{\circ}$ С., t или  $t_1$ . Равная ей численно вторая часть представляєть разность отнесенныхъ къ  $0^{\circ}$ С. высотъ воздушныхъ столбовъ, взятыхъ при температурѣ t и  $t_1$  и соотвѣтствующихъ давленіямъ р и  $p_1$ .

Выраженіе (5) получило названіе—висоты теоретическаго напора и представляєть высоту  $h_0$  того столба воздуха, отнесеннаго къ 0°С, давленіе котораго равно избыточному давленію, т.-е. теоретическому напору  $h_0$  $\delta$ .

Высоту теоретическаго напора можно измърять и высотою во-

дяного столба. Такъ какъ изъ ур-нія (е) можно вывести зависи-мость:

$$\frac{h_{W}}{\delta} = \frac{h_{W}}{1.293} = h^{\circ}.$$

TO:

$$\frac{h_{w}}{1.293} = \left(\frac{H}{1+\alpha t} - \frac{H}{1+\alpha t_{1}}\right) \cdot \dots \cdot (6)$$

Первая часть этого ур-нія выражается въ mm'ахъ водяного столба, вторая же—въ mtr'ахъ воздушнаго.

Такт какт высота теоретическаго напора, измъряя величину самого напора, представляет болъе простое его выраженіе, то въ дальнъйшихъ нашихъ выводахъ мы будемъ всюду, вмъсто выраженія теоретическаго напоръ пользоваться выраженіемъ высоты теоретическаго напора, тъмъ болѣе, что для перехода отъ выраженія высоты напора въ mtr'ахъ воздушнаго столба къ выраженію напора въ klgr. достаточно первое выраженіе умножить на плотность воздуха при  $0^{0}$   $\delta = 1.293$ , если же площъдь, съченія  $\omega$  столба воздуха не равна 1 mtr.,—то еще и на  $\omega$  въ mtr  $\omega$ 

#### 4. Теоретическая скорость истеченія у.

При выводѣ величины теоретическаго напора мы совершенно не принимали во вниманіе, что въ предѣлахъ высоты трубы Н воздухъ движется въ руслѣ, огражденномъ матеріальными стѣнками, способными оказывать этому движенію сопротивленіе, благодаря, напримѣръ, тренію между частицами воздуха, прикасающимися къ стѣнкамъ и поверхностью этихъ послѣднихъ; кромѣ сопротивленія отъ тренія, воздухъ при своемъ движеніи по трубамъ и каналамъ встрѣчаетъ рядъ разнообразныхъ сопротивленій, зависящихъ отъ внезапныхъ измѣненій площади или формы поперечныхъ сѣченій каналовъ, отъ изгибовъ, поворотовъ и т. д.

Инорируя до сих поръ вредное вліяніе этих сопротивленій, мы получили преувеличенное значеніе напора, недостижимое въ практических условіях и потому назвали его теоретическим напоромъ.

Слѣдуя тому же пріему и далѣе, т.-е. игнорируя то сопротивленіе, которое въ дѣйствительности встрѣчаетъ воздухъ при вытеканіи въ спокойную атмосферу со стороны этой послѣдней, для опредѣленія скорости вытеканія воздуха  $v_1$  изъ верхняго отверстія трубы, мы можемъ воспользоваться формулою Торичелли:

$$v = \sqrt{2gh}$$
;

эта формула выведена въ предположении, что воздухъ вытекаетъ въ безвоздушное пространство, при чемъ  $h=\frac{v^2}{2g}$  представляетъ ту высоту, на какую вытекающій воздухъ могъ бы подняться въ пустотѣ, а величина g=9.81 mtr./сек. есть ускореніе паденія.

Законъ Торичелли справедливъ однако же только для того случая, когда удъльный въст движимой части жидкости или газа равент удъльному въсу движущей части.

Движущей частью у насъ служить теоретическій напоръ, выраженный столбомъ воздуха  $h_0$  при  $0^{\circ}\mathrm{C}$ , имѣющимъ удѣльный вѣсъ  $\delta=1.293$ , тогда какъ движимая часть—масса воздуха въ трубѣ имѣетъ температуру  $t_1$  и соотвѣтствующую ей меньшую плотность (удѣльный вѣсъ)

 $\delta_{t_1} = \frac{\delta}{1 + \alpha t_1} = \delta \frac{1}{1 + \alpha t_1};$ 

для того, чтобы формула Торичелли была приложима къ нашему случаю, очевидно, надо движущую часть воздуха, т.-е. теоретическій напоръ взять выраженнымъ при плотности  $\delta_{t_1}$ , т.-е. ввести въ формулу Торичелли вмѣсто  $h_0$  при  $0^0$ , высоту уравновѣшивающаго столба воздуха, или высоту теоретическаго напора при  $t_1$ , т.-е.

$$h_1 = h_0 (1 + \alpha t_1).$$

При этомъ условіи скорость вытеканія болье нагрътаго воздуха:

 $V_1 = \sqrt{2g h_1} = \sqrt{2g h_0 (1 + \alpha t_1)};$ 

откуда:

$$h_1 = h_0 (1 + \alpha t_1) = \frac{{v_1}^2}{2g}$$

Выразивъ теперь при О°С объ части этого ур-нія, получаемъ:

$$h_0 = \frac{h_1}{1+\alpha t_1} = \frac{{v_1}^2}{2g(1+\alpha t_1)}; \dots \dots (7)$$

Лъвая часть ур-нія (7) попрежнему представляетъ отнесенную къ О°С высоту теоретическаго напора, а правая — получила названіе высоты теоретической скорости истеченія.

Высота скорости вообще измъряетъ ту часть высоты напора, а, слъдовательно, и самого напора, какая должна быть затрачена на созданіе скорости вытеканія воздуха.

Уравненіе (7) показываетъ, что въ идеальныхъ условіяхъ, при отсутствіи сопротивленій движенію воздуха какъ въ предѣлахъ трубы или канала, такъ и при вытеканіи его въ атмосферу вся высома теоретическаго напора  $\mathbf{h_0}$  иъликомъ превращается въ высоту скорости  $\frac{\mathbf{v_1}^2}{2\mathbf{g}\left(1+a\mathbf{t_1}\right)}$  которая названа теоретической. Иначе говоря весь теоретической напоръ или ито тоже вся имъющаяся въ запасть энеріія превращается въ живую силу и расходуєтся исключительно на созданіе скорости истеченія  $\mathbf{v_1}$ ; дѣйствительно, умноживъ обѣ части выраженія:

 $h_{\rm 0}=rac{{
m V_1}^2}{2g\,(1+lpha t_1)}$  на  $\delta$ , т. е. на удъльный въсъ воздуха при ОС $^{\rm 0}$ , получаемъ:

$$h_0 \delta = \frac{\delta}{g(1 + \alpha t_i)} \cdot \frac{{v_i}^2}{2};$$

Въ этомъ выраженіи  $h_0 \delta$  —есть теоретическій напоръ выраженный въ klgr.,  $\frac{m{v_1}^2}{2}$  —есть выраженіе живой силы, соотвътствующей скорости  $v_1$  истеченія.

Вообще говоря, часть теоретическаго напора, превращающаяся въ живую силу для созданія скорости, называется скоростныма напорома, а соотвѣтствующая часть высоты теоретическаго напора — высотюю скоростнаю напора, какъ показываютъ ур-нія (7) и (8).

Ири отсутствіи сопротивленій весь теоретическій напорт  $h_0\delta$  превращается въ скоростной  $\frac{\delta v_1^{\ 2}}{2g\left(1+\alpha t_1\right)}$ , и вся высота  $h_0$  теоретическаю напора представляеть собою высоту скоростною напора или высоту скорости

$$\frac{{\rm v_1}^2}{2{\rm g}\,\left(1+\alpha{\rm t_1}\right)}\cdot$$

#### 5. Сопротивленія и формы ихъ выраженія.

Какъ уже указывалось, при отсутствіи сопротивленій на пути движенія воздуха все избыточное давленіе р $-p_1=h_0\delta$  или теоретическій напоръ идетъ на созданіе скорости, представляя собою въ этомъ

случав скоростной напоръ 
$$\frac{{{V_1}^2}\delta}{2g\left( {1 + \alpha t_1 } \right)}$$
 ·

Въ практическихъ условіяхъ однакоже часть теоретическаго напора приходится израсходовать на преодолѣніе всякаго рода препятствій въ формѣ тренія и др., получившихъ общее названіе вредныхъ сопротивленій или просто сопротивленій.

Величина сопротивленій, такимъ образомъ, можетъ быть представлена, какъ нѣкоторая часть  $h_0$ % полнаго или теоретическаго напора  $h_0$ 8.

Если остальную часть теоретическаго напора, расходуемую на созданіе скорости, т. е. скоростной напоръ обозначимъ черезъ  $h_0$ %, то очевидно, должно существовать равенство:

$$h_0 \delta = h_0 \delta + h_0 \delta; \quad \dots \qquad (9)$$

Показывающее, что теоретическій напоръ состоитъ изъ суммы скоростного напора  $h_0{}^{\prime\prime}\delta$  и напора  $h_0{}^{\prime\prime}\delta$ , расходуемаго на преодолѣніе сопротивленій.

Такъ какъ h<sub>0</sub>" в всегда положительная величина, то поэтому дийствительный схоростной напоръ всегда меньше полнаго теоретическаго напораа такъ какъ величиною скоростного напора опредъляются и скорости движенія по трубамъ и скорости истеченія, то практически достижимыя скорости всегда меньше теоретическихъ.

Отсюда заключаемъ, что вліяніе сопротивленій выражается въ уменьшеніи скоростей движенія возд**у**ха въ трубахъ и каналахъ.

Раздѣливъ обѣ, части ур-нія (9) на  $\delta$ , найдемъ выраженіе  $h_0 = h_0' + h_0''$  показывающее, что высота теоретическаю напора  $h_0$  состоить изъ суммы высоты скорости  $h_0'$  и высоты сопротивленій  $h_0''$ . Послѣднее заключеніе даетъ намъ возможность представлять сопротивленія въ той же формѣ какъ теоретическій и скоростной напоры, т. е. вмѣсто самого сопротивленія въ klgr. вводить высоту сопротивленія  $h_0''$  въ mtr'ахъ воздушнаго столба при  $O^0$ С.

Обозначивъ далѣе черезъ  $v_2$  въ mt/cek. величину практически достижимой при, наличіи сопротивленій, скорости, докажемъ, что высоты сопротивленій можно выражать въ формѣ найденной для высоты скорости какъ часть этой послѣдней.

Высоту теоретическаго напора вообще представляемъ въ видъ

$$h_{0}\!=\!h_{0}{'}\!+\!h_{0}{''}\!=\!\tfrac{{V_{1}}^{2}}{2g(1+\alpha t_{1})}\!+\!h_{0}{''}$$

гдѣ  $\frac{{{{\rm v_1}}^2}}{2{\rm g}(1+\imath{{\rm t_1}})}$  высота скорости  ${{\rm v_1}}$ , выраженная столбомъ воздуха h'.

Въ томъ случаћ, когда  $v_{\bf 1}$  есть теоретическая скорость, высота сопротивленій предполагается равной  $h_{\bf 0}''=0$  и предыдущее равенство превращается въ слѣдующее:

$$h_0 = h' = \frac{{V_1}^2}{2g(1 + \alpha t_1)}; \dots$$
 (a)

обозначивъ черезъ  $v_2$  практически достижимую скорость и замѣчая, что при наличіи сопротивленій  $v_2 < v_1$ , имѣемъ:

$$h_0 = h' + h'' = \frac{{V_2}^2}{2y(1 + \alpha t_1)} + ht''; \dots \dots (b)$$

сравнивая вторыя части ур-ній (a) и (b) найдемъ:

$$h_0'' = \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} - \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_1)} = \frac{1}{2g(1+\alpha t_1)}(v_1^2 - v_2^2); \quad . \quad . \quad (c)$$

такъ какъ скорость  $v_1$  больше скорости  $v_2$ , то ее можно представить какъ произведеніе  $v_2$  на нѣкоторый коэффиціентъ численно всегда >1-цы, т.-е. полагать  $v_1=\varphi v_2$ . Подставляя значеніе  $v_1=\varphi v_2$  въ ур-ніе (c), находимъ:

$$h_0'' = \frac{1}{2g(1 + \alpha t_1)} (\varphi^2 v_2^2 - v_2^2) = \frac{v_2^2}{2g(1 + \alpha t_1)} (\varphi^2 - 1)$$
 . . (d)

Такимъ образомъ мы доказали, что высота сопротивленія  $h_0$  представляется во-первыхъ въ той же формѣ, что и высота скорости  $v_{a,b}$ 

при которой воздухъ вытекаетъ изъ трубы, во-вторыхъ, что численно она равна высотѣ этой же скорости, умноженной на положительную величину ( $\varphi^2$ —1); положивъ для упрощенія формулъ  $\varphi^2$  – 1)—Z назовемъ его коэффиціентомъ сопротивленія, подразумѣвая подъ этимъ сумму численныхъ значеній коэффиціентовъ всѣхъ отдѣльныхъ сопротивленій на данной длинѣ трубы. Численныя значенія этихъ коэффиціентовъ ниже даны въ особой таблицѣ.

Выведенная нами формула:

$$h_0'' = \frac{{V_2}^2}{2g(1+\alpha t_1)}Z$$
 ....(10)

справедлива, однако же, только для того случая, когда температура внутри трубы и при истеченіи  $t_i = {
m Const.}$ 

Если же воздухъ входитъ въ трубу при температурѣ  $t_1$ , а при истечени имѣетъ высшую т-ру  $t_2$ , нагрѣваясь внутри трубы, тогда, допуская для простоты разсужденія, что сопротивленія равномѣрно распредѣляются по всей длинѣ трубы l и обозначивъ черезъ  $t_{\rm cp.} = \frac{t_1 + t_2}{2}$  среднюю температуру, а черезъ  $v_{\rm cp.} = \frac{v_1 + v_2}{2}$  среднюю изъ практически достижимыхъ скоростей  $v_1$  и  $v_2$  при входѣ и при истеченіи воздуха можемъ выразить высоту сопротивленія при среднихъ условіяхъ температуры и скорости въ каналѣ аналогично предыдущему случаю, въ видѣ:

$$h_0'' = \frac{v^2 cp.}{2g(1 + \alpha t cp.)} Z \dots \dots \dots \dots (2)$$

Высота же скорости, само собою разумѣется, должна быть отнесена къ температурѣ  $t_2$  и скорости  $v_2$  соотвѣтствующихъ конечному сѣченію трубы по направленію движенія газовъ, т.-е. мѣсту ихъ вытеканія и тогда:

$$h_0' = \frac{{V_2}^2}{2g(1 + \alpha t_2)};$$

#### 6. Уравненіе практически достижимой скорости.

Все сказанное выше позволяетъ намъ сдѣлать слѣдующія заключенія:

- 1) Теоретическій напоръ въ случаь движенія воздуха и другихъ газовъ въ каналахъ и трубахъ, огражденныхъ матеріальными стънками, неспособными проводить теплоту, расходуется на созданіе и поддержаніе скорости теченія и на преодольніе вредныхъ на пути сопротивленій.
- 2) Часть полнаго напора, расходуемая на созданіе скорости, получила названіе *скоростного*, а остальная часть, расходуемая на побъжденіе сопротивленій, названа *потерянныма напорома* въ томъ смыслѣ, что она не участвуетъ въ созданіи и поддержаніи скорости.

- 3) Сумма скоростного напора и напора потеряннаго равна величинъ полнаго теоретическаго напора.
- 4) При замънъ напоровъ соотвътствующими имъ высотами сумма высоты скорости и высоты сопротивленій равна высоть теоретическаго напора.
- 5) Такъ какъ высота скорости меньше теоретическаго напора на высоту сопротивленій, то практически достижимая скорость всегда меньше теоретической.
- 6) Высоты скоростей и сопротивленій выражаются одинаково въ зависимости отъ скорости.

Пользуясь этими замъчаніями перейдемъ къ составленію ур ній движенія воздуха въ каналахъ.

#### 1. Первый основной случай.

Положимъ имъется (черт. № 52) прямой вертикальный каналъ постояннаго съченія въ 1 mtr² и высоты H mtr; т-ра воздуха въ каналѣ по всей его высотѣ равна t, т-ра внѣшняго воздуха  $t_0$ ;  $t_0 < t$ .

Высота теоретическаго напора, на основаніи всего предыдущаго выразится въ видѣ:

Mero. N 522 
$$\frac{H}{1+\alpha t_0} - \frac{11}{1+\alpha t} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (a)$$



Обозначивъ черезъ v въ mtr/sec искомую скорость движенія воздуха въ данномъ каналѣ, можемъ написать выраженія какъ для высоты скорости, такъ и для высоты сопротивленій, именно:

высота скорости 
$$\frac{\mathrm{v}^2}{2\mathrm{g}\,(1+\alpha\mathrm{t})};$$
 . . . . . . . (b) высота сопротивленій  $\frac{\mathrm{v}^2}{2\mathrm{g}\,(1+\alpha\mathrm{t})}\mathrm{Z}$  . . . . . . (c)

высота сопротивленій 
$$\frac{v^2}{2g(i+\alpha t)}Z$$
 . . . . . . (c)

гдъ Z численный коэффиціенть, опредъляющій значеніе величины сопротивленія.

Въ условіяхъ установившагося д'вйствія должно выполняться равенство:

$$\frac{H}{1+\alpha t_0} - \frac{H}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} + \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} Z = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} (1+Z). (1)$$

При заданныхъ H, t<sub>0</sub>, t и Z изъ ур нія (1) можетъ быть вычислена дъйствительная или практически достижимая скорость движенія воздуха.

Ур-ніе (1) является основнымъ и приложимо съ соотвътствующими измѣненіями ко всякаго рода частнымъ случаямъ.

#### 2. Второй случай.

Т ра внъшняго воздуха t₀>t постоянной т-ры въ каналъ. При всёхъ прочихъ прежнихъ обозначеніяхъ, имфемъ:

$$\frac{H}{1+\alpha t} - \frac{H}{1+\alpha t_0} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} (1+Z) \dots (2)$$

Въ этомъ случав болве холодный воздухъ внутри вертикальнаго канала долженъ опускаться, т. е. движеніе должно происходить въ обратномъ направленіи, сравнительно съ предыдущимъ случаемъ:

#### 3. Третій случай.

Въ вертикальномъ каналъ постояннаго съченія и высоты H mtr. т-ра воздуха постепенно измъняется отъ t, при входъ въ съченіи А до t при выходъ въ съченіи В. Въ этомъ случат необходимо различать скорость вытеканій v относимую къ конечной т-ръ t и среднюю скорость уср. въ предълахъ высоты канала относя къ ней высоту сопротивленій, проявляющихся въ предълахъ той же высоты канала Н. На этомъ основаніи ур-ніе движенія должно имъть видъ:

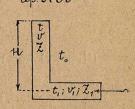
$$\frac{H}{1+\alpha t_0} - \frac{H}{1+\alpha t_{cp.}} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} + \frac{v^2_{cp.}}{2g(1+\alpha t_{cp.})} Z . . . (3)$$

гдъ:  $t_{cp.} = \frac{t_0 + t}{2} =$  средней т-ръ воздуха въ каналъ.

#### 4. Четвертый случай.

Каналъ постояннаго съченія (черт. № 53-й) состоитъ изъ двухъ участковъ: горизонтальнаго и вертикальнаго высоты Н; т-ра воздуха

внѣ канала to; т-ра въ горизонтальномъ участкъ  $t_1>t_0$  въ вертикальномъ:  $t>t_0$ , слъдовательно, не чер х 53-и постоянна по всей длинъ канала но постоянна въ каждомъ изъ участковъ. Полагая вертикальное измѣреніе поперечнаго сѣченія горизонтальнаго участка небольшимъ, мы должны считать высоту напора въ этомъ участкѣ равной нулю. Обозначая черезъ у, и у скорости въ участкахъ и черезъ Z,



и Z коэффиціенты сопротивленій, въ нихъ, можемъ написать выраженіе:

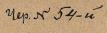
$$\frac{11}{1+\alpha t_0} - \frac{11}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} (1+Z) + \frac{{v_1}^2}{2g(1+\alpha t_1)} Z_1 . . . (4)$$

Следовательно, горизонтальный участокъ участвуетъ только въ созданіи добавочной высоты сопротивленій, выраженной последнимъ членомъ ур-нія (4).

#### 5. Пятый случай.

Положимъ (черт. № 54-й) каналъ состоитъ изъ 2-хъ горизонтальныхъ участковъ со вставленнымъ среднимъ вертикальнымъ, вст участки постояннаго съченія. Высота вертикальнаго участка Н.

Въ каждомъ участкъ особыя т-ры: t2, t1 и t, особыя скорости  $v_2$ ,  $v_1$  и v и свои коэффиціенты сопротивленій  $Z_2$ ,  $Z_1$  и Z. Наружная

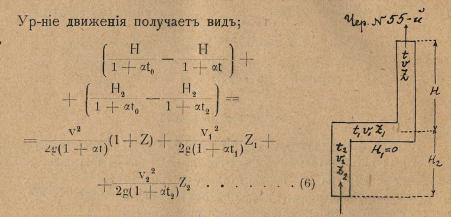


т-ра 1<sub>0</sub> ниже т-ръ въ участкахъ канала. Для этого случая ур-ніе будетъ имъть видъ:

$$\frac{H}{1+\alpha t_0} - \frac{H}{1+\alpha t_1} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} (1+Z) + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} Z_1 + \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)} Z_2. \quad (5)$$

#### 6. Шестой случай.

Каналь состоить изъ двухъ крайнихъ вертикальныхъ участковъ высотъ  $H_2$  и H со вставкою средняго горизонтальнаго ( $H_1=0$ ). Остальныя условія одинаковы съ случаемъ 5-мъ. (Черт. № 55-й).



#### 7. Седьмой случай.

(Черт. № 56-й). Каналъ состоитъ изъ двухъ вертикальныхъ участковъ ковъ со вставкою наклоннаго; высоты участковъ Н₂. Н₁ и Н; конечно, въ этомъ случаѣ наклонный участокъ вліяетъ на величину напора и ур-ніе скорости при обозначеніяхъ, данныхъ на чертежѣ, напишется въ формѣ:

шется въ формъ:
$$\begin{pmatrix}
\frac{t_1}{V_1} \\
\frac{t_2}{V_1}
\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}
\frac{H}{1 + \alpha t_0} - \frac{H}{1 + \alpha t}
\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}
\frac{H_1}{1 + \alpha t_0} - \frac{H_1}{1 + \alpha t_1}
\end{pmatrix} + \\
+ \begin{pmatrix}
\frac{H_2}{1 + \alpha t_0} - \frac{H_2}{1 + \alpha t_2}
\end{pmatrix} = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha t)}(1 + Z) + \\
+ \frac{v_1^2}{2g(1 + \alpha t_1)}Z_1 + \frac{v_2^2}{2g(1 + \alpha t_2)}Z_2 \quad . \quad . \quad (7)$$

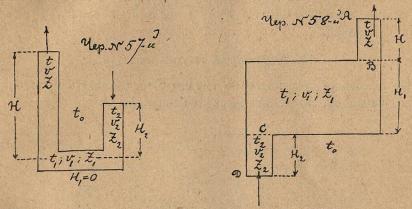
#### 8. Восьмой случай.

(Черт. № 57-й). Въ случаѣ канала, представленнаго на чертежѣ, при данныхъ на немъ обозначеніяхъ и при меньшемъ т-ръ въ участкахъ, необходимо имѣть въ виду, что избыточныя давленія въ мень-

шемъ и большемъ вертикальныхъ колѣнахъ стремятся двигать воздухъ въ разныхъ направленіяхъ, слѣдовательно дѣйствительный движущій напоръ долженъ быть равенъ ихъ разности, т. е. ур-ніе принимаетъ видъ:

#### 9. Девятый случай.

Если между двумя вертикальными участками (Черт. M 58-й) вставлень горизонтальный—съ большой высотою  $H_1$ , пренебрегать кото-



рою уже нельзя, тогда, вслѣдствіе расширенія участка, скорость въ немъ значительно уменьшается и практически можетъ быть принята равною нулю. Въ силу этого величина высоты сопротивленій въ этомъ участкѣ также равна нулю, но зато при вытеканіи воздуха изъ сѣченія С надо вводить высоту скорости такъ же, какъ и при вытеканіи изъ сѣченія А.

Ур-ніе скорости представится въ видь:

$$\left(\frac{H}{1+\alpha t_{0}} - \frac{H}{1+\alpha t}\right) + \left(\frac{H_{1}}{1+\alpha t_{0}} - \frac{H_{1}}{1+\alpha t_{1}}\right) + \left(\frac{H_{2}}{1+\alpha t_{0}} - \frac{H_{2}}{1+\alpha t_{2}}\right) = \frac{v^{2}}{2g(1+\alpha t)}(1+Z) + \frac{v_{2}^{2}}{2g(1+\alpha t_{2})}(1+Z_{2}) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (9)$$

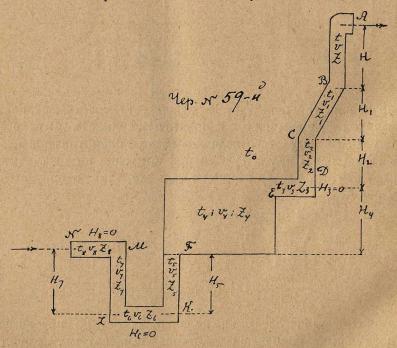
Разсмотрѣнными случаями, конечно, далеко не исчерпывается число возможныхъ комбинацій участковъ температуръ, скоростей и сопротивленій, но, во всякомъ случаѣ, съ ихъ помощью является возможность сдѣлать нѣкоторые общіе выводы, именно:

а) Лѣвая часть каждаго изъ у-ній представляетъ алгебраическую сумму высотъ избыточныхъ давленій или напоровъ въ каждомъ изъ отдѣльныхъ участковъ системы каналовъ.

- b) Въ отдъльныхъ участкахъ высота избыточнаго давленія положительна, если. при т-рѣ воздуха въ участкѣ большей, чѣмъ т-ра наружнаго воздуха  $t_0$ , воздухъ долженъ подниматься вверхъ или при т-рѣ въ участкѣ низшей, чѣмъ наружная, воздухъ долженъ опускаться.
- с) Если болъе теплый сравнительно съ наружнымъ воздухъ въ участкъ долженъ опускаться или долженъ подниматься болъе холодный—высота избыточнаго давленія или напора является отрицательной величиной.
- d) Правая часть ур ній состоить изъ суммы высоть скоростей и высоть сопротивленій.
- е) Высоты скоростей всегда относятся къ скоростямъ въ выходныхъ съченияхъ и т-рамъ воздуха при его вытекании.
- f) Высоты сопротивленій въ случать постоянныхъ т-ръ по длинть участковъ выражаются черезъ скорости и т-ры въ этихъ участкахъ, въ случаяхъ же перемънныхъ т-ръ и скоростей зависятъ отъ ихъ среднихъ значеній.

#### 10. Общій случай системы каналовъ.

На основаніи сказаннаго не трудно уже составить уравненіе для системы каналовъ, представленныхъ на черт. № 59.



Положимъ, приближаясь къ случаямъ, возможнымъ въ практикѣ, что въ участкахъ:

NM, ML, LK и КF т-ры протекающаго воздуха одинаковы и равны  $t_{\mathfrak{s}}=t_{\mathfrak{s}}=t_{\mathfrak{s}}=t_{\mathfrak{s}},$  т. е. всѣ равны т-рѣ  $t_{\mathfrak{s}}.$ 

Точно также при постоянствъ поперечныхъ съченій въ этихъ

участкахъ скорости въ нихъ равны  $v_5 = v_6 = v_7 = v_8$  и различны только коэффиціенты сопротивленій, указанные на чертежѣ.

Пусть, точно также одинаковы т-ры и скорости въ участкахъ АВ, ВС, СD, и DE, т.-е.:

$$t=t_1=t_2=t_3;\ v=v_1=v_2=v_3;$$
 Въ участиъ же ЕЕ т-ра  $t_4=\frac{t_3+t_5}{2}=\frac{t+t_8}{2}$ 

При этихъ условіяхъ 1 уравненіе практически осуществимой скорости напишется въ видѣ:

#### 11) Плоскость разграниченія системъ каналовъ.

Положимъ (черт. № 60-й) требуется, чтобы въ плоскости m—n избыточное давленіе на величину М было больше, чѣмъ то, какое получается вслѣдствіе разности т-ръ, тогда расчетъ можетъ быть произведенъ по частямъ до плоскости m—n и послѣ нея. Положимъ, что превышеніе избыточнаго давленія въ плоскости m—n должно быть больше на высоту М данную при т-рѣ t₁, тогда для цѣпи каналовъ выше плоскости m—n получаемъ, при данныхъ на чертежѣ обозначеніяхъ:

Mep. 
$$\mathcal{N}$$
 60- $u^{2}$ 

$$\begin{array}{c|cccc}
t_{0} & \downarrow t_{1} \\
\hline
t_{1} & \downarrow t_{1} \\
t_{1} & \downarrow t_{1} \\
\hline
t_{1} & \downarrow t_{1} \\
t_{1} & \downarrow t_{1}$$

а для цёпи каналовъ до плоскости т-п.

#### 12) Общій видъ ур-ній движенія.

Если для любой системы каналовъ сумму давленій наружнаго воздуха обозначимъ черезъ A, алгебраическую сумму давленій внутри системы каналовъ—черезъ B, то величина избыточнаго давленія, которой мы будемъ располагать для созданія скорости и побъжденія сопротивленій равна разности A—B.; если сумму высотъ скоростей и сопротивленій обозначимъ черезъ C, то при положительномъ

движеніе воздуха въ системъ каналовъ должно происходить вверхъ, въ противномъ случаъ, къ отрицательному избыточному давленію необходимо добавить нъкоторое добавочное давленіе F, такъ чтобы выполнялось условіе:

$$(A-B)+F=C.$$
 . . . . . . . . . . . . . . . . . (13)

Послѣднее равенство можно представить въ формѣ;

Это значить, что для движенія воздуха необходимо ідобавочное давленіе нагнетательнаго вентилятора F.

То же ур ніе можно переписать въ формъ:

т.-е., что сумма высотъ внутренняго давленія В можетъ быть уменьшена разръдительнымъ дъйствіемъ высасывающаго вентилятора.

Наконецъ, въ случат равенства А=В.

Движеніе воздуха въ системъ можетъ быть осуществимо только примъненіемъ посторонняго механическаго давленія.

$$F=C.$$
 . . . . . . . . . . . . . . . . . (16)

Во всѣхъ разсмотрѣнныхъ нами случаяхъ во вторыя части ур-ній входили неизвѣстныя скорости, и зависящія отъ нихъ выраженія, содержавшія коэффиціенты

$$Z, Z_1 Z_2 \ldots Z_n$$

Каждое изъ приведенныхъ выше ур-ній позволяло вычислить только одну изъ скоростей, слѣдовательно требовалось заданіе всѣхъ остальныхъ неизвѣстныхъ.

Въ практикъ расчетовъ обыкновенно задаются рядомъ неизвъстныхъ еще величинъ, исходя изъ теоретическихъ и конструктивныхъ соображеній и затъмъ провъряютъ выборъ по даннымъ выше уравненіямъ.

Напримъръ, имъя секундные объемы воздуха, протекающаго по цъпи каналовъ, при назначенныхъ уже т-рахъ, и задаваясь площадями съченій участковъ, вычисляютъ потребныя скорости, осуществимость же одной изъ этихъ скоростей уже провъряютъ при наличіи сопротивленій по ур-ніямъ для практически осуществимыхъ скоростей.

#### 13) О коэффиціентахъ сопротивленій.

Величины коэффиціентовъ сопротивленій движенію воздуха мы асюду обозначали буквою Z, понимая подъ нею численное значеніе всъхъ разнообразныхъ препятствій, уменьшающихъ величину движущей силы и скорости.

Здѣсь, не входя въ детали, укажемъ, что сопротивленія раздѣляются на два рода:

а) Сопротивленія, вызываемыя треніемъ частицъ движущагося потока воздуха или другого газа о всегда шереховатыя стѣнки матеріальныхъ каналовъ и трубъ.

Величину этого сопротивленія будемъ обозначать буквою R и считать его силой непрерывно приложенной по поверхности даннаго участка канала.

Въ зависимости отъ длины 1, периметра и и площади поперечнаго съченія канала ω величина R выражается формулою:

гдѣ р.—коэффиніентъ пропорціональности есть коэффиціентъ тренія. Формула (17) показываетъ, что величина тренія прямо пропорціональна периметру и, омываемому воздушнымъ потокомъ, и длинѣ участка l, и обратно пропорціональна площади поперечнаго сѣченія  $\omega$ .

Что касается до коэффиціента тренія  $\rho$ , то величина его зависить отъ рода и состоянія поверхности, вдоль которой движутся газы, отъ температуры и состава этихъ газовъ. Коэффиціентъ тренія уменьшается для гладкихъ поверхностей и возрастаетъ для шереховатыхъ при всъхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, поэтому, всегда слѣдуетъ стремиться дѣлать стѣнки всякаго рода каналовъ, назначенныхъ для проводки газовъ, возможно болѣе гладкими. Въ прилагаемой здѣсь таблицѣ даны значенія для коэффиціентовъ тренія воздуха въ кирпичныхъ каналахъ.

 Таблица № 47-й.

 коэффиціентовъ тренія (ρ) воздуха въ кирпичныхъ каналахъ.

Перимет	ръ ка	нала въ п	Коэффиціентъ тренія.	Периметръ канала въ т	Коэффиціенть тренія.
0.50 вы	ирок	т. до 0.51	0.035	<b>0</b> ·80 включит. до 0·84	0.0084
0.51	"	" 0.52	0.025	0.84 " " 0.88	0.0082
0.52	,	" 0·53 -	0.020	0.88 , , 0.95	0.0080
0.53	"	, 0.54	0.019	0.95 " "1.03	0.0078
0.54	,,	<b>"</b> 0.55	0.017	1.03 " " 1.15	0.0076
0.55	, ,	" 0·56	0.015	1.15 " " 1.34	0.0074
0.56	ŋ	, 0.57	0.014	1:34 , , 1.69	0.0072
0.57	"	" 0.59	0 013	1.69 " " 1.99	0.0070
0.59	"	" 0.61	0.012	1.99 " " 2.50	0.0069
0.61	"	,, 0.65	0.011	2.50 " " 3.50	0.0068
0.65	"	, 0.72	0.010	3.50 " " 6.52	0.0067
0.72	,	,, 0.74	0.009	6.52 " "12.50	0.0066
0.74	,,	, 0.77	0.0088	свыше 12:50	0.0065
0.77	n	, 0.80	0.0086		

Для квадратнаго поперечнаго съченія со стороною а, периметръ  $u=4a;\;\omega=a^2;\;u$  величина тренія:

$$R = \rho \frac{u}{\omega} l = \rho \frac{4a}{a^2} l = \rho \frac{4l}{a};$$

Точно также, для круглаго съченія діаметра d:  $u = \pi d$ ;  $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$ 

$$R = \rho \frac{4\pi d}{\pi d^2} l = \rho \frac{4l}{d};$$

Въ цъляхъ облегченія вычисленій здъсь прилагается извъстная таблица проф. Ритчеля величинъ R вычисленныхъ для прямоугольныхъ, квадратныхъ и круглыхъ съченій кирпичныхъ каналовъ при длинъ  $l=1\ \mathrm{mt}$ .

Таблица № 48-й. значеній величинъ тренія К въ кирпичныхъ каналахъ при l=1 mt.

К	углое попер	Круглое поперечное свчение			Квадратное поперечное съчение				
liaметръ m	Периметръ и т	Поперечное съчение f qm	$\frac{\rho u}{f}$	Сторона m	Периметръ и т	Поперечное сѣченіе f qm	$\frac{\rho u}{f}$		
				0.125	0.50	0.016	1.122		
0.175	0.550	0.024	0.200	0·150 0·175	0.60	0.023	0.320		
0.200	0.628	0.031	0.389 $0.220$	0.200	0.80	0.040	0.168		
0.250	0.785	0.049	0.137	0.250	1.00	0.063	0.125		
0:300	0 942	0.071	0.107	0.300	1.20	0.090	0.099		
0.350	1.100	0.096	0 087	0.350	1.40	0.123	0.082		
0.400	1.257	0.126	0.074	0.400	1.60	0.160	0.072		
0.450	1.414	0.160	0.064	0.450	1.80	0.203	0.062		
0.500	1.570	0.196	0.058	0.500	2.00	0.250	0.055		
0.550	1.73	0.237	0.051	0.550	2.20	0.303	0.020		
0.600	1.89	0.283	0.047	0 600	2.40	0.360	0.046		
0.650	2.04	0.332	0 042	0.650	2.60	0.423	0.042		
0.700	2·20 2·36	0.385	0 039	0·700 0·750	2·80 3·00	0 490 0·563	0.036		
0 100	2 30	0.442	0.037	0.730	300	0.303	0 030		
0 800	2.51	0.503	0.034	0.800	3.20	0.640	0.034		
0.850	$\frac{2.67}{2.83}$	0.567	0.032	0.850	3.40	0.723 0.810	0.032		
0.950	2.98	0.636 0.709	0.030	0.900	3.80	0.903	0.030		
1.000	3.14	0.785	0.027	1:000	4.00	1.000	0.027		
1.050	3 30	0.866	0.026	1.050	4.20	1.103	0.026		
1.100	3.46	0.950	0.025	1.100	4.40	1.210	0.024		
1.150	3.61	1.039	0.023	1.150	4.60	1.323	0.023		
1.200	3.77	1.131	0.022	1.200 .	4.80	1.440	0.022		
1.250	3.93	1.227	0.021	1.250	5 00	1.563	0.021		
1.300	4.08	1.327	0.021	1.300	5.20	1 690	0.021		
1.350	4.24	1.431	0.020	1 350	5.40	1.823	0 020		
1·400 1·450	4·40 4·56	1.539	0.019	1.400	5.60	1.960	0.019		
1.500	4.71	1:651 1:767	0·019 0·018	1·450 1·500	5.80 6.00	2·103 2·250	0.018		
1.550	4.87	1.887	0.017	1.550	6.20	2.403	0.017		
1.600	5.03	2.011	0.017	1.600	6:40	2.560	0.017		
1.650	5.18	2.138	0.016	1.650	6.60	2.723	0.016		
1.700	5.34	2.270	0.016	1.700	6.80	2.890	0.016		
1.750	5.20	2:405	0.015	1.750	7.00	3.063	0.015		
1 800	5.66	2:545	0.015	1.800	7.20	3.240	0.015		
1.850	5.81	2.688	0.014	1.850	7.40	3.423	0.014		
1.900	5.97	2.835	0.014	1.900	7.60	3.610	0.014		
2.000	6.13	2·986 3·142	0.014	1·950 2 000	7·80 8·00	3·803 4·000	0.014		
2.500	7.85	4.909	0 013	2.500	10.00	6.250	0.013		

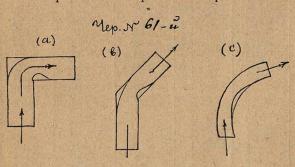
	Значенія	величинъ $\frac{\rho u}{f}$	для прямо	угольныхъ	поперечных	ь съченій	
Размѣръ. т×т	Периметръ и т	Поперечное свченіе f qm	pu f	Размѣръ т×т	Периметръ и т	Поперечное сѣченіе f qm	<u>pu</u> f
0·14×0·14 0·20 0·27 0·33 0·40 0·46 0·53 0·66 0·79 0·92 1·05	0·56 0·68 0·82 0·94 1·08 1·20 1·34 1·60 1·86 2·12 2·38	0·020 0·028 0·038 0·046 0·056 0·064 0·074 0·092 0·111 0·129 0·147	0·429 0·221 0·182 0·163 0·147 0·138 0·130 0·125 0·118 0·114 0·112	0·33×0·53 0·66 0·79 0·92 1·05 1·18 1·31 1·44 1·57 1·70 1·83 1·96 2·09		0·175 0·218 0·261 0·304 0·347 0·389 0·432 0·475 0·518 0·561 0·604 0·647 0·690	0·069 0·064 0·059 0·056 0·055 0·053 0·052 0·050 0·049 0·048 0·047 0·047
0·20×0·20 0·27 0·33 0·40 0·46 0·53 0·66 0·79 0·92 1·05	0·80 0·94 1·06 1·20 1·32 1·46 1·72 1·98 2·24 2·50	0·040 0·054 0·066 0·080 0·092 0·106 0·132 0·158 0·184 0·210	0·172 0·139 0·122 0·111 0·106 0 099 0·091 0·088 0·084 0·081	$0.40 \times 0.40 \\ 0.46 \\ 0.53 \\ 0.66 \\ 0.79 \\ 0.92 \\ 1.05 \\ 1.18 \\ 1.31 \\ 1.44$	2·12 2·38 2·64 2·90	0·160 0·184 0·212 0·264 0·316 0·368 0·420 0·472 0·524 0·576	0·072 0·065 0·061 0·055 0·052 0·049 0·047 0·046 0·044
0·27×0·27 0·33 0·40 0·46 0·53 0·66 0·79 0·92 1.05 1·18 1·31 1·44 1·57 1·70 1·83 1·96 2·09	1·08 1·20 1·34 1·46 1·60 1·86 2·12 2·38 2·64 2·90 3·16 3·42 3·68 3·94 4·20 4·46 4·72	0·073 0·089 0·108 0·124 0·124 0·178 0·213 0·248 0·319 0·354 0·389 0·424 0·459 0·494 0·529 0·564	0·113 0·100 0·089 0·085 0·081 0·073 0·066 0·063 0·062 0·061 0·060 0·058 0·057 0·057	1 · 57 1 · 70 1 · 83 1 · 96 2 · 09 0 · 46 × 0 · 46 0 · 53 0 · 66 0 · 79 0 · 92 1 · 05 1 · 18 1 · 31 1 · 44	3·94 4·20 4·46 4·72 4·98 1·84 1·98 2·24 2·50 2·76 3·02 3·28 3·54 3·80	0·628 0·680 0·732 0·784 0.836 0·212 0·244 0·304 0·363 0·423 0·483 0·603 0·662 0·722	0.042 0.041 0.041 0.040 0.040 0.051 0.051 0.044 0.042 0.041 0.039 0.039 0.038
0·33×0·33 0·40 0·46	1·32 1·44 1·58	0·109 0·132 0·152	0·090 0·079 0·075	1·57 1·70 1·83 1·96 2·09	4·58 4·84	0·782 0·842 0·902 0·961	0·037 0·036 0·036 0·036

Размѣръ т×т	Периметръ и т	Поперечное съчение f	pu f	Разм*връ т×т	Иериметръ и т	Поперечное съченіе f qm.	pu f
0·53×0·53 0·66 0·79 0·92 1·05 1·18 1·31 1·44 1·57 1·70 1·83 1·96	2·12 2·38 2·64 2·90 3·16 3·42 3·68 3·94 4·20 4·46 4·72 4·98	0·281 0·350 0·419 0·488 0·557 0·625 0·694 0·763 0·832 0·901 0·970 1·039	0·051 0·047 0·043 0·040 0·039 0·037 0·035 0·035 0·034 0·033 0·033	0·92×1·83 1·96 2 09 1·05×1·05 1·18 1·31 1·44 1·57 1·70	5·50 5·36 6·02 4·20 4·46 4·72 4·98 5·24 5·50	1. 84 1 803 1.923 1.103 1.239 1.376 1.512 1.649 1.785	0·022 0·021 0·021 0·024 0·024 0·023 0·022 0·021 0·021
2·09  0·66×0·66 0·79 0·92 1·05 1·18 1·31 1·44 1·57 1·70 1·83 1·96 2·09	5·24 2·64 2·90 3·16 3·42 3·68 3·94 4·20 4·46 4·72 4·98 5·24 5·50	0.460 0.521 0.607 0.693 0.779 0.865 0.950 1.036 1.122 1.208 1.294 1.379	0·032 0·041 0·037 0·035 0·033 0·032 0·031 0·030 0·029 0·028 0·027 0·027	1.83 1.96 2.09 1.18×1.18 1.31 1.44 1.57 1.70 1.83 1.96 2.09	5·76 6·02 6·28 4·72 4·98 5·24 5·50 5·76 6·02 6·28 6·54	1·922 2·058 2·195 1·392 1·546 1·699 1·853 2·006 2·159 2·313 2·466	0·020 0 020 0·019 0·023 0·022 0 021 0·020 0·019 0·019 0·018
$0.79 \times 0.79$ $0.92$ $1.05$ $1.18$ $1.31$ $1.44$ $1.57$ $1.70$ $1.83$ $1.96$	5·24 5·50	0.624 0.727 0.830 0.932 1.035 1.138 1.240 1.343 1.446 1.548 1.651	0.033 0.032 0.030 0.028 0.027 0.026 0.025 0.025 0.024 0.023	1·31×1·31 1·44 1·57 1·70 1·83 1·96 2·09 1·44×1·44 1·57 1·70 1·83 1·96 2·09	5·24 5·50 5·76 6·02 6·28 6·54 6·80 5·76 6·02 6·28 6.54 6·02	1·716 1 886 2·057 2·227 2·397 2·568 2·738 2·074 2·261 2·448 2·635 2·822 3·010	0·020 0·020 0·019 0·018 0·018 0·017 0·016 0·019 0·018 0·017 0·016
0.92×0.92 1·05 1·18 1·31 1·44 1·57 1·70	3·68 3·94 4·20 4·46 4·72 4·98 5·24	0.846 0.966 1.086 1.205 1.325 1.444 1.564	0·029 0·027 0·026 0·025 0 024 0·023 0·022	1.57×1.57 1.70 1.83 1.96 2.09	6·28 6·54 6·80 7·06 7·32	2·465 2·669 2·873 3·077 3·281	0·015 0·017 0·016 0·016 0·015

b) Второй родъ сопротивленій движенію газовъ въ каналахъ представляють, во-первыхъ, повороты оси канала въ горизонтальной и вертикальной плоскостяхъ, во вторыхъ рѣзкія измѣненія площади или формы поперечнаго сѣченія при переходахъ отъ большаго къ меньшему и наоборотъ, въ третьихъ, постороннія тѣла, находящіяся на пути потока внутри канала; сопротивленія возникаютъ также при вытеканіи струи изъ канала въ безгранично обширное пространство (сравнительно съ сѣченіемъ выходного отверстія) и во многихъ другихъ случаяхъ.

#### а) Повороты.

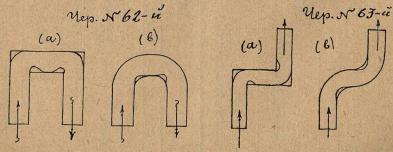
Возникновеніе подобнаго рода мюстных сопротивленій, требующих затраты ніжоторой части располагаемаго напора при поворо-



тахъ объясняется вліяніемъ центробѣжной силы, отклоняющей струю отъ внутренней стѣнки и тѣмъ вызывающей ея мѣстное сжатіе въ томъ именно мѣстѣ, гдѣ должно измѣниться направленіе оси потока. (Черт. № 61-й а, b, c).

Величина сжатія тъмъ больше, чъмъ меньше уголъ поворота. При плавномъ изгибъ сжатіе уменьшается.

Опыты, произведенные надъ нѣсколькими послѣдовательными поворотами показали, что потеря напора при двухъ послѣдовательныхъ поворотахъ (черт.  $\ M \ 62$ -й) зависитъ отъ измѣненія окончательнаго на-



правленія струи. Если два такіе поворота соединены короткимъ прямолинейнымъ участкомъ (черт. №), то струя, сжатая при первомъ поворотъ, не успъваетъ расшириться и при второмъ поворотъ сохраняетъ свое сжатое раньше съченіе безъ измъненія, почему при двухъ подобныхъ поворотахъ потеря бываетъ не болъе, чъмъ при одномъ.

При двухъ поворотахъ въ одной плоскости съ возстановленіемъ первоначальнаго направленія теченія (черт. № 63 а, b) потеря напора почти въ 2 раза больше, чѣмъ при одномъ.

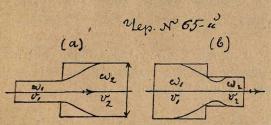
Въ случаћ двухъ поворотовъ въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ другъ другу (черт. № 64-й) потеря напора приблизительно въ  $1^{1}/_{2}$  раза превышаетъ потерю при одномъ поворотѣ.

Общее, выведенное изъ опытовъ правило для уменьшенія вліянія поворотовъ на величину потери напора, состоитъ въ томъ, чтобы избѣгать рѣзкихъ измѣненій направленія, скругляя углы по дугамъ возможно большаго радіуса или замѣнять прямые углы тупыми.

#### β) Измѣненія поперечныхъ сѣченій каналовъ.

При всякомъ внезапномъ измѣненіи площади поперечнаго сѣченія (черт. № 65-й а, b), напримѣръ, при переходѣ отъ меньшаго сѣченія  $\omega_1$  къ боль-

шему  $\omega_2$  или обратно, отъ большаго къ меньшему начальнаяскорость  $v_1$  должна измѣниться и перейти въ скорость  $v_2$ ; въ этомъ случаѣ



проявляется ударъ отъ столкновенія массъ различныхъ скоростей и происходитъ потеря напора. Иля возможнаго уменьшенія вреднаго вліянія ръзкихъ измъненій поперечныхъ съченій слъдуетъ дълать переходы плавными.

Величины коэффиціентовъ мѣстныхъ сопротивленій могутъ быть вычисляемы въ каждомъ частномъ случаѣ, съ помощью общихъ формулъ механики, выводъ которыхъ мы здѣсь и предлагаемъ.

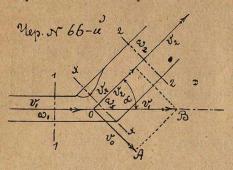
## 7) Теорія містныхъ сопротивленій.

При всякихъ измѣненіяхъ направленія потока жидкости, пара или газа движущагося по трубѣ, при измѣненіяхъ площадей поперечныхъ сѣченій трубъ, т. е. при переходахъ потока изъ трубы большаго діаметра въ трубу меньшаго или наоборотъ, неизмѣнно проявляется нѣкоторая потеря энергіи заключающейся въ движущемся потокѣ.

При измѣненіяхъ только одного направленія проявляется центробѣжная сила, деформирующая жидкую струю и часть энергіи затрачивается на работу деформированія; въ случаяхъ измѣненія сѣченій участковъ трубъ происходятъ удары, на которые также затрачивается часть энергіи.

Въ томъ случав когда измвненіе направленія сопровождается и измвненіемъ свченія въ одной и той же точкв оси трубы, вліянія каждой изъ этихъ причинъ независимы другъ отъ друга и потеря энергіи равна сумив отдвльныхъ потерь.

Разсмотримъ общій случай, изъ котораго затѣмъ выведемъ и всѣ встрѣчающіеся въ практикѣ частные случаи.



Положимъ жидкость движется по трубѣ поперечное сѣченіе которой  $\omega_1$  въ mtr²; при переходѣ къ трубѣ большаго сѣченія  $\omega_2$ , направленіе трубы измѣняется, такъ что оси обоихъ участковъ составляютъ уголъ  $\alpha$ . (Черт. № 66-й). Площадь поперечнаго сѣченія струи въ сѣченіи (х—х), въ которомъ подъвліяніемъ центробѣжной силы струи

отклоняются къ наружной сторонъ, отставая отъ стънки съ внутренней стороны, обозначимъ черезъ  $\omega_{\rm x}$ .

Обозначимъ еще черезъ  $v_1$   $v_2$  и  $v_2$  въ mtr./sec. скорости движенія въ съченіяхъ (1-1), (x-x) и (2-2).

Въ случа $\dagger$  установившагося движенія, им $\dagger$ емъ зависимость  $\omega_1 v_1 =$ 

$$= \omega_{\mathbf{X}} \ \mathbf{v}_{\mathbf{X}} = \omega_{\mathbf{2}} \ \mathbf{v}_{\mathbf{2}} \ \dots \ \dots \ (1)$$

Обозначимъ черезъ  $p_1$ ,  $p_2$  и  $p_2$  въ klg./mtr.² давленія, испытываемыя со стороны жидкости, мысленно проведенными сѣченіями (1-1)(x-x) и (2-2) а черезъ  $\triangle$  вѣсъ 1 mtr.³ жидкости, тогда:

$$\frac{p_1}{\triangle}$$
;  $\frac{p_x}{\triangle}$  и  $\frac{p_2}{\triangle}$ 

представять собою высоты давленій въ этихъ сѣченіяхъ, ими измѣряются запасы потенціальной энергіи. Обозначимъ эти высоты черезъ  $a_1$ ,  $a_x$  и  $a_2$ , т. е. положимъ:

$$\frac{p_1}{\wedge} = a_1; \frac{p_x}{\wedge} = a_x$$
 и  $\frac{p_2}{\wedge} = a_2; \dots$  (2)

Высоты скоростей, измъряющія кинетическую энергію въ этихъ же съченіяхъ, будутъ равны:

$$\frac{{\rm v_1}^2}{2{\rm g}}; \frac{{\rm v_x v_x}^2}{2{\rm g}} = \frac{{\rm v_2}^2}{2{\rm g}}, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots$$
 (3)

По закону сохраненія энергіи, при установившемся движеніи (теченіи) въ каждомъ съченіи потока сумма потенціальной и кинетической энергіи величина постоянная, слъдовательно постоянна и сумма соотвътствующихъ высотъ.

На этомъ основаніи можемъ составить выраженіе:

$$a_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} = a_x + \frac{{v_x}^2}{2g}$$
 . . . . . . . . . . (4)

Такъ какъ при переход\$ отъ с\$ченія (1-1) къ с\$ченію (x-x) н\$тъ потери энергіи.

При переходъ же отъ съченія (x-x) къ съченію (2-2) благодаря внезапному измъненію скорости является уже потеря части энергіи движенія, слъдовательно и потеря части высоты скорости.

Обозначимъ ее черезъ h.

При этомъ условіи для перехода отъ сѣченія (x-x) къ сѣченію (2-2) получаемъ выраженіе:

$$a_x + \frac{{v_x}^2}{2g} - h = a_2 + \frac{{v_2}^2}{2g} + \cdots$$
 (5)

Для установленія зависимости между потерянною высотою h и остальными элементами задачи разложимъ скорость  $v_1$  по направленію новой оси трубы и по нормали къ нему.

Составляющая, параллельная новой оси есть новая скорость  $v_2$ , нормальная же  $v_0$  представляеть потерянную скорость, уничтоженную сопротивлениемъ стънки трубы. Соотвътствующая этой потерянной скорости потерянная высота ея измъряющая потерю энергіи движенія равна  $\frac{v_0^2}{2g}$ ; слъдователано;

$$h = \frac{V_0^2}{2g}; \ V_0^2 = 2gh \dots$$
 (6)

Изъ треугольника ОАВ имъемъ для квадрата стороны, лежащей противъ остраго угла:

$$v_0^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \alpha$$
 . . . . . . . . . (7)

или:

$$2gh = v_1^2 + v_2^2 - 2v_0v_2 \cos \alpha$$
. (8)

тригонометрія даетъ зависимость:

$$\frac{1 - \cos \alpha}{2} = \sin^2 \frac{\alpha}{2} \text{ или } \cos \alpha = 1 - 2\sin^2 \frac{\alpha}{2} \dots (9)$$

Воспользуемся ею въ цъляхъ преобразованія ур-нія (8) тогда:

$$2gh = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 + 4v_1v_2 \sin^2\frac{\alpha}{2} : . . . . . . (10)$$

откуда:

$$h = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} + \frac{4v_1v_2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{2g} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (11)$$

Первый членъ второй части ур-нія (11) представляетъ выраженіе потери энергіи при измѣненіи скорости  $v_1$  въ  $v_2$ , а второй — вліяніе отклоненія оси трубы отъ первоначальнаго.

Положимъ, что потерянная высота h выражена черезъ скорость v<sub>2</sub> съ помощью нѣкотораго коэффиціента у меньшаго ед-цы, т. е:

При переход $^{\pm}$  отъ с $^{\pm}$ ченія (x — x) къ с $^{\pm}$ ченію (2 — 2) теряется скорость (v, -v2); высота этой потерянной скорости

$$h = \frac{(v_x - v_2)^2}{2g} \cdot (13)$$

изъ  $\omega_{_{\mathbf{x}}} \mathbf{v}_{_{\mathbf{x}}} = \omega_{_{\mathbf{2}}} \mathbf{v}_{_{\mathbf{2}}}$  имѣемъ

$$\mathbf{v_x} = \frac{\mathbf{w_2}}{\mathbf{w_x}} \ \mathbf{v_2}$$

поэтому:

$$h = \frac{(v_x - v_2)^2}{2g} = \frac{\left(\frac{\omega_2}{\omega_x} v_2 - v_2\right)^2}{2g} = \frac{v_2^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_x} - 1\right)^2}{2g} \cdot \dots (14)$$

сравнивая съ ур-ніемъ (12) имфемт

мы имѣемъ еще зависимость: положивъ  $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \lambda \ \omega_1 v_1 = \omega_2 v_2;$ 

откуда  $v_1 = \frac{\omega_2}{\omega_*} v_2$  найдемъ:  $v_1 = \lambda v_2$ ;

подставля въ ур.ніе (11) и (12) имфемъ:

$$h = \gamma \frac{{v_2}^2}{2g} = \frac{\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} v_2 - v_2\right)^2}{2g} + \frac{4 \frac{\omega_2}{\omega_1} v_2^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{2g} \dots (16)$$

или:

$$h = \gamma \frac{v_2^2}{2} = \frac{v_2^2}{2g} \left( (\lambda - 1)^2 + 4 \lambda \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

гдъ коэффиціентъ сопротивленія:

$$\gamma = (\lambda - 1)^2 + 4\lambda \operatorname{Sin}^2 \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots \dots (18)$$

первый членъ  $(\lambda-1)^2=\gamma_1$  характеризуетъ переходъ отъ  $\omega_1$  къ большему сѣченію  $\omega_2$ ; второй:  $4\lambda \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \gamma_2$  — отклоненіе оси на уголъ  $\alpha$ .

уже по ур-нію (15)  $\omega_x$ , а изъ ур-нія:  $\omega_x \ v_x = \omega_2 \ v_2$  также и скорость  $v_x$ .

Сжатіе струи при извъстныхъ  $\omega_{x}$  и  $\omega_{2}$  равно  $\mu = \frac{\omega_{x}}{\omega}$  . . (20) гдв и коэффиціенть сжатія.

Найдемъ выраженія для ү въ частныхъ случаяхъ.

#### А) Вліяніе измѣнонія угловъ отклоненія а.

положивъ  $\omega_1 = \omega_2$  найдемъ:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \lambda = 1.$$

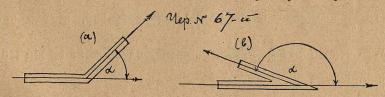
Изъ ур-нія (18)

давая углу  $\alpha$  различныя значенія отъ  $\alpha = 0$  до  $\alpha = 180^{\circ}$  будемънаходить значенія  $\gamma$ .

Такъ для: 
$$\alpha = 30^{\circ} \gamma = 4 \operatorname{Siu}^{2} \frac{\alpha}{2} = 4 \times (0,259)^{2} = 0,268$$

$$\begin{array}{ccccc}
\alpha = & 45^{\circ} & = 4 \times (0,383)^{2} = 0,588 \\
\alpha = & 60^{\circ} & = 4 \times (0,500)^{2} = 1,000 \\
\alpha = & 90^{\circ} & = 4 \times (0,707)^{2} = 2,000 \\
\alpha = & 112^{\circ} & = 4 \times (0,831)^{2} = 2,764 \\
\alpha = & 135^{\circ} & = 4 \times (0,924)^{2} = 3,416 \\
\alpha = & 180^{\circ} & = 4 \times (1,000)^{2} = 4,000
\end{array}$$

Само собою понятно, что углы измѣряются между направленіями первоначальнаго и измѣненнаго теченія, напримѣръ: (Черт. № 67 а, b)



#### В) Вліяніе измѣненій сѣченій.

$$\alpha$$
) Положивъ  $\alpha = 0$  имъемъ 4  $\sin^2 \frac{\alpha}{2} = 0$ .

и 
$$\gamma = (\lambda - 1)^2$$

въ случаѣ: (че т. № 68-й.)

$$\omega_1 > \omega_2$$
 $\frac{\omega_2}{\omega_1} < 1$  и  $\lambda < 1$ .; обозначимъ  $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1}{\varphi} = \lambda$  гдв

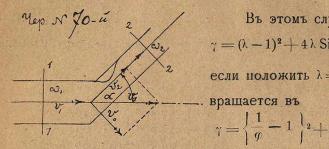
Мер.: N 68-и

 $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1}{\varphi} = \lambda$  гдв

ф положительное число больше ед-цы:

 Случай измѣненія направленія при переходѣ изъ болѣе широкой трубы въ болѣе узкую.

Черт. № 70-й.



$$\omega_1 > \omega_2$$
.  $\lambda < 1$ . Въ этомъ случав  $v_1 < v_2$ .  $\gamma = (\lambda - 1)^2 + 4 \lambda \sin^2 \frac{\alpha}{2} \dots \dots$  (24)

если положить  $\lambda = \frac{1}{\varphi}$ , то ур-ніе (24) пре-

$$\gamma = \left\{ \frac{1}{\varphi} - 1 \right\}^2 + 4 \cdot \frac{1}{\varphi} \operatorname{Sin}^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \ldots (25)$$

или:

$$\gamma = \left\{ \frac{1 - \varphi}{\varphi} \right\}^2 + 4 \cdot \frac{1}{\varphi} \operatorname{Sin}^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \ldots \cdot \ldots \cdot (26)$$

Если  $\lambda = \frac{\omega_2}{\omega_1}$  очень мало, т.-е. если  $\omega_1$  очень велико сравнительно съ  $\omega_2$ , то  $\frac{1}{g} = \lambda$  также очень мало, слѣдовательно, велико число  $\varphi$ , поэтому очень мало  $\left\{\frac{1-\varphi}{\varphi}\right\}$  и первымъ членомъ въ ур-ніи (28) можно пренебречь.

Тогда

Положимъ отъ трубы D=0.143 mtr, (6") требуется взять отростокъ діаметра d=0, 0265 mtr. (1") подъ угломъ  $\alpha=60^{\circ}$ .

$$\begin{array}{c|c} \omega_{1} = 160,6 \text{ cm.}^{2} \\ \omega_{1} = 5,510 \text{ cm.}^{2} \end{array} \middle| \quad \lambda = \frac{\omega_{2}}{\omega_{1}} = \frac{5,510}{160,600} = 0,0343; \\ \gamma = (0,0343 - 1,000)^{9} + 4 \times 0,0343 \times \sin^{2} \frac{60^{0}}{2}; \end{array}$$

или

$$\gamma = (-0.9657)^2 + 0.0343 \times 4 \times 0.250 = 0.94 + 0.0343 = 0.9743.$$

Величины коэффиціентовъ мѣстныхъ сопротивленій  $\gamma$ , по опытамъ, произведеннымъ проф. Ритчелемъ надъ кирпичными каналами, выражаются цифрами нижеслѣдующей таблицы.

## Таблица № 49-й.

## коэффиціентовъ мъстныхъ сопротивленій у.

Родъ мѣстнаго сопротивленія.	Значеніе коэффи- ціента у.
<ol> <li>Измѣненіе направленія оси канала (бевъ измѣненія площади попер наго сѣченія).</li> <li>При остромъ поворотѣ подъ угломъ 90°.</li> <li>При скругленномъ поворотѣ подъ угломъ 90°.</li> <li>При поворотѣ подъ тупымъ угломъ въ 135°.</li> <li>При плавномъ измѣненіи направленія.</li> <li>Измѣненіе поперечнаго сѣченія канала (бевъ измѣненія направлетеченія).</li> <li>При переходѣ отъ меньшаго сѣченія ω₁ къ большему ω₂, сопротив</li> </ol>	. 1,50 . 1,00 . 0,60 . 0,00
ніе по отношенію къ скорости $\omega_2$	1 .001
мости отъ отношенія $\omega_2$ къ $\omega_1$ :	
(=0,	0,50
= 0	20 0,42
$\left[\begin{array}{c} \operatorname{tr} \left( \operatorname{ortion aniff} \ \omega_{2} \right) \\ \end{array}\right] = 0.$	0,33
для отношеній $\dfrac{\omega_2}{\omega_1} = egin{cases} = 0.6 \\ = 0,1 \end{cases}$	
=0,	
=1,	
<ul> <li>III) При прохожденіи черезъ регулирующія приспособленія.</li> <li>1) Для открытаго клапана или задвижки</li></ul>	0,00
<ol> <li>Для ръшетки, свободная площадь которой равна поперечному съ нію канала:</li> </ol>	
а) Въ случать, когда отношение свободной площади рашетки къ полвея площади равно 0,5.	ой 1.50
b) Если это отношение составляеть 0,2	2,00
3) Для ръшетки, свободная площадь которой въ 11/2 раза больше ченія канала:	
а) Если отношеніе свободной площади рішетки къ полной состав.	
eth 0,5	0,75
<ul> <li>b) Если это отношеніе равно 0,2</li> <li>4) Для проволочной рѣшетки, свободная площадь которой равна по речному сѣченію канала, а отношеніе свободной площади къ полной не предводу продоставля продержавания продоставля продоставл</li></ul>	1,00
нье 0,60.  5) Для проволочной ръшетки, свободная площадь которой въ 1½ ра	0,60
больше свченія канала, а отношеніе свободной площади къ полной не в	16-
HE 0,6	. 0,30

Сумма мѣстныхъ сопротивленій въ данномъ участкѣ канала можетъ быть обозначена черезъ  $\Sigma \gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \ldots + \gamma n$ 

Если длина участка l, его периметръ u, площадь съченія  $\omega$  и коэффиціентъ тренія  $\rho$ ., то какъ выше было указано, сопротивленіе отъ тренія на длинъ

$$R = \rho \cdot \frac{u}{\omega} 1;$$

Суммируя всѣ сопротивленія въ данномъ участкѣ, найдемъ полный коэффиціентъ сопротивленій, обозначаемый черезъ Z и равный:

$$Z = R + \Sigma \gamma$$
;

Эта послъдняя величина вводится въ ур-нія для практически достижимой скорости.

# Оглавленіе І-го отдѣла.

ГЛАВА І-я.	
Заноны распространенія теплоты	Cmp. 1—99
<ol> <li>Три способа распространенія теплоты: 1) Теплопроводность. 2) Переносъ теплоты или конвекція. 3) Лученспусканіе.</li> </ol>	1 00
II. Теплопроводность: 1) Основаніе теоріи Фурье. 2) Выводъ закона теплопроводности.	
III. Передача теплоты соприкосновеніемъ (конвекція): 1) Формула Ньютона. 2) Формула Дюлонга и Пти. 3) Формула Пекле.	
IV. Передача теплоты лучеиспусканіемъ: 1) Сущность лучистой энергіи. 2) Формула Ньютона. 3) Формула Дюлонга и Пти. 4) Формула Пекле.	
V. Общій случай передачи теплоты соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ: 1) Основныя формулы. 2) Преобразованіе основныхъ формулъ теплопередачи соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ. 3) Численные примѣры на опредѣленіе потери теплоты черезъ внѣшнее охлажденіе.	
VI. Выраженіе для количества проведенной теплоты N въ случав несколькихъ разнородныхъ слоевъ.	
Г ЛАВА ІІ-я.	
Всеобщій коэффиціентъ теплопередачи К и формы его выраженія въ частныхъ слу-	
чаяхъ	29—72
П. Случай воздушнаго прослойка въ сложной вертикальной стёнкъ.	
III. Случай воздушнаго прослойка въ системѣ горизонтальныхъ соприкасающихся слоевъ: а) передача теплоты снизу вверхъ; b) передача теплоты сверху внизъ.	
IV. Выраженіе всеобщаго коэффиціента теплопередачи К для вертикальных окон-	
ныхъ рамъ и горизонтальныхъ свътовыхъ покрытій: 1) Рамы съ одиночнымъ	
застекленіемъ. 2) Случай двойныхъ (льтня́го и зимняго) оконныхъ переплетовъ.	
<ol> <li>Случай одиночной рамы съ двойнымъ застекленіемъ. 4) Горизонтальное двойное застекленіе (свѣтовой фонарь).</li> <li>Свѣтовыя покрытія съ шахтами.</li> </ol>	
6) Окна и свётовыя покрытія съ тройнымъ застекленіемъ.	
V. Всеобщій коэффиціенть теплопередачи К для потолочныхь конструкцій,	
VI. Передача теплоты полами.	
VII. Всеобщій коэффиціенть теплопередачи черезь вертикальныя стіны. 1) Предільная толщина воздушнаго прослойка. 2) Заполненіе прослойка дурными проводниками теплоты.	dedail.
ГЛАВА Ш-я.	
Элементарная теорія поверхности нагрѣва	73—92
1) Понятіе о поверхности награва. 2) Виды награвательных поверхностей. 3) Осо-	10-04
бенности условій передачи теплоты черезъ нагр'явательныя поверхности.	
4) Выраженіе для поверхности нагрѣва S <sub>1</sub> въ случаѣ параллельныхъ то-	
ковъ. 5) Выраженіе для поверхности нагрѣва $S_2$ въ случа	
6) Выраженіе для поверхности нагрѣва въ случаѣ пеподвижности среды, отдающей теплоту. 6¹) Выраженіе для поверхности S <sub>4</sub> съ неподвижной сре-	
дой, воспринимающей теплоту. 7) Способъ приближеннаго вычисленія все-	
общаго коэффиціента теплопередачи К ср. въ случай переминыхъ т-ръ	
срединъ, обмѣнивающихся теплотою и при незначительныхъ разностяхъ т-ръ по обѣ стороны раздѣлительной стѣнки. Численный примѣръ № 1.	

1) Экзотермическіе и эндотермическіе процессы въ химіи. 2) Горвніе, какъ экзотермическій процессь. 3) Соединеніе тэль сь кислородомь есть частный случай въ ряду экзотермическихъ процессовъ. 4) Схематическое представленіе процесса горфнія. 5) Явленія, сопровождающія процессь горфнія въ случаяхъ практическаго сожиганія горючихъ веществъ. 6) Неполное горьніе. 7) Температура воспламененія. 8) Пламя. 9) Температура горвнія. 10) Выраженіе для т-ры горвнія и условія достиженія Т тах. 11) Причины, препятствующія росту т-ры горвнія. Численный приміврь. 12) Т-ра печного пространства. ГЛАВА У. 1) Необходимый для полнаго сгоранія топлива теоретическій объемъ воздуха. 2) Численные примъры опредъленія теоретическаго расхода воздуха (В необх.) и L необх.). 3) Количество газообразныхъ продуктовъ горенія, получаемое при сожиганіи 1 klgr. топлива. Потеря теплоты дымовыми газами. Зависимость потери теплоты дымовыми газами оть избытка воздуха. 4) Способы опредъленія избытка воздуха. А) Способъ прямого измітренія; В) Химическій способъ опредъленія избытка воздуха, основанный на составъ дымовыхъ газовъ. Численный примъръ № 1-й; численный примъръ № 2-й; примъръ ГЛАВА VI. 1) Определеніе понятія о топливе вообще. 2) Коммерческія и техническія условія, которымъ должно удовлетворять промышленное топливо. А) Коммерческія условія; В) Техническія условія. З) Классификація видовъ топлива. Теердое топлиео. Химическій составъ естественнаго твердаго горючаго. Теорія органического происхожденія ископаемыхъ видовъ твердаго горючаго. Древесное топливо. Средній химическій составъ дерева. Содержаніе и химическій составъ золы. Содержаніе влаги въ деревѣ. Техническія свойства древеснаго топлива. Плотность древеснаго топлива. Вѣсъ объемной ед-цы дровъ. Торфъ. Составъ торфа. Содержание волы въ торфъ. Содержание въ торфъ влаги. Каменные угли. А) Бурые угли. В) Собственно каменные угли. Особенности главвъйшихъ видовъ собственно каменныхъ углей. Жирные или спекающіеся каменные угли. Полуантрацитовые угли и антрациты. Антрацить. Примънимость каменныхъ углей для целей отопленія. Жидкое топливо. ГЛАВА VII-я. 1) Понятіе о теплопроизводительной способности. Практическая полезная теплопроизводительная способность Кз. 2) Методы опредвленія теплопроизводительной способности горючихъ веществъ. Технические калориметры. Калориметръ Парра. Теорія калориметра Парра. Численный примѣръ опредѣлепія теплопроизводительной способности пробы угля калориметромъ Нарра. Опредъленіе водяного эквивалента по способу смітенія (Бертело). Опреділеніе теплопроизводительной способности горючаго по даннымъ химическаго анализа. А) Формула Дюлонга. В) Формула Менделфева. Вычисление полезной теплопроизводительной способности. Определение теплопроизводительной способности горючихъ по способу Бертье. Вычисление полезной теплопроизводительной способности. Формула Дюлонга; формула О-ва германскихъ инженеровъ; формула Мендельева.

Основанія элементарной теоріи движенія воздуха и газовъ въ трубахъ и наналахъ. 178—208

1) Выраженіе теоретическаго напора. 2) Различныя формы выраженія теоретическаго напора.

4) Теоретическая скорость истеченія v<sub>1</sub>. 5) Сопротивленія и формы ихъ выраженія. 6) Ур-піє практически достижимой скорости. 1) Первый случай, 2) второй случай, 3) третій случай, 4) четвертый случай, 5) пятый случай, 6) шестой случай, 7) седьмой случай, 8) восьмой случай, 9) девятый случай, 10) общій случай системы каналовъ, 11) плоскость разграниченія системъ каналовъ, 12) общій видъ ур-ній движенія, 13) о коэффиціентахъ сопротивленій; α) повороты, β) измѣненія поперечныхъ сѣченій

Теорія мѣстныхъ сопротивленій. А) Вліяніе измѣненія угловъ отклоненія α.
 В) Вліяніе измѣненій сѣченій.

каналовъ.

### Оглавленіе таблицъ 1 отдѣла.

таолица	145	1.	коэффиціентовъ к внутренней теплопроводности нъкоторыхъ тълъ.	0
Таблица	No	2.	Коэффиціентовъ $\kappa_1$ (вкладной листъ).	
Таблица	No	3.	Коэффиціентовъ $\kappa_1$ для вертикальныхъ плоскостей	12
Таблица	No	4.	Коэффиціентовъ $\kappa_1$ для горизонтальныхъ цилиндровъ	13
Таблица	No	5.	Коэффиціентовъ $\alpha_1$	. 14
Таблица	No	6.	Основныхъ коэффиціентовъ передачи тепла	16
			Коэффиціентовъ $\kappa_1$ лучеиспускательной способности	19
Таблица	No	8.	Коэффиціентовъ $\alpha_2$ въ формулѣ Дюлонга	20
Таблица	No	9.	(Дополнительная) коэффиціентовъ р	21
Таблица	No	10.	Коэффиціентовъ α	44
Таблица	No	12.	Всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачъ для оконъ	
Таблица	M	13.	Всеобщихъ коэффиціентовъ для входныхъ дверей	50
Таблица	№	14.	Всеобщихъ коэффиціентовъ для дверей	51
Таблица	№	15.	Всеобщихъ коэффиціентовъ теплопередачи для половъ, потолковъ	
			и крышъ	58
Таблица	M	16.	Значение $T_1$ — $t$ = $t$ — $t_0$ для кирпичныхъ ст $\check{b}$ нъ	66
			Значеніе всеобщихъ коэффиціентовъ для стѣнъ зданій	69
Таблица	№	18.	Температуръ воспламененія T-min	99
Таблица	No	19.	Удъльной теплоты нъкоторыхъ газовъ	108
Таблица	No	20		109
Таблица	No	21.	Теоретической жаропроизводительности T max при n=1-ць	110
			Практически измъренныхъ высокихъ т-ръ	111
			Классификація различныхъ видовъ топлива	133
Таблица	№	24.	Химическаго состава твердыхъ видовъ топлива	134
Таблица	№	25.	Составъ частей одной и той же древесной породы	135
Таблица	No	26.	Сравнительнаго содержанія органогеновъ въ древесныхъ породахъ.	136
Таблица	No	27.	(Сравнительная). Содержанія органогеновъ въ 100 частяхъ высу-	
			шенной древесины	136
				139
Таблица	№	29.	Henneberg'a	140
			Содержанія влаги въ древесныхъ породахъ	141
			Въса 1 куб. саж. дровъ	144
			Состава органической массы торфа	145
			Содержанія влаги въ $^0/_0$ по вѣсу	146
Таблица	No	34.	Содержанія влаги и золы въ торфъ	147

		The control of the co	p.
Таблица	No	35	18
Таблица	Nº	36	19
Таблица	No	37. Классификація каменныхъ углей по Грунеру	0
Таблица	No	38. Состава органической массы горючихъ веществъ	0
Таблица	№	39. Средняго состава углей по Менделъеву	1
Таблица	№	40. Состава углей	2
Таблица	No	41. Состава настоящихъ коксовыхъ углей	2
Таблица	№	42. Состава антрацитовыхъ углей	3
Таблица	№	43. Состава антрацита изъ Грушевки	4
Таблица	№	14. Состава жидзкаго тоцлива	5
Таблица	№	15	6
Таблица .	№	46. Состава топлива на 1 klgr въса	0
Таблица	№	47. Коэффиціентовъ тренія (q) воздуха въ кирпичныхъ каналахъ 19	6
Таблица	No	8. Значенія величинъ тренія R въ кирпичныхъ каналахъ	7
Таблица	No	9. Коэффиціентовъ мѣстныхъ сопротивленій	7

The control of the second seco

A CANOTES AND MAIN FURNISHED AND AND PROPERTY OF A PARTY OF A PART

ATTENDED TO THE THE PROPERTY OF THE PROPERTY O

during the state of the second second

The state of the Newsconder, and a long recommendation of the state of the second stat

CHARLES TO A CONTROL OF THE PARTY OF THE PAR

Mission in process that we enable he are a made in the desired of the contract of

04

Цѣна за обѣ части съ атласомъ 7 руб.

## СКЛАДЪ ИЗДАНІЯ

при Технической вонтор'в Торговаго Дома "В. Залѣсскій и В. Чаплинъ". Моснва, Большая Дмитровка, д. № 16. Тел. 5-28 и 501-16.

Выписывающіе со склада за пересылку не платять.

