

И. Козуба-Кашану

А. Л.

О. А. РИВОШЪ,
инженеръ-технологъ.

Пашенка

Дитъ авиат

УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБЪ РАЗСЧЕТА

КРУГЛЫХЪ

ДЫМОВЫХЪ ТРУБЪ.

Отдѣльный оттискъ изъ журнала
«ВѢСТНИКЪ ОБЩЕСТВА ТЕХНОЛОГОВЪ».



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія журнала „Строитель“, Фонтанка, 66.

1911.

Упрощенный способ статического расчета кирпичных дымовых труб.

Прежде чѣмъ произвести расчетъ, устанавливають внѣшнее очертаніе и размѣры ствола,—для чего задаются обыкновенно внѣшнимъ уклономъ и выбираютъ количество звеньевъ или ихъ высоту,—*произведя затѣмъ расчетъ, убѣждаются, на сколько удачно былъ сдѣланъ выборъ.*

Профессоръ Лангъ даетъ для предварительнаго расчета высоты звена слѣдующую приближенную формулу:

$$h = \infty \varphi (20 \delta + 60 \Delta \delta + 2\gamma + 1,25 d_0 + 200 \operatorname{tg} i - 0,01 H_0 - 0,028 k - 5,7);$$

гдѣ

δ — толщина стѣнки устья трубы въ м.,

$\Delta \delta$ — увеличеніе толщины стѣнки послѣдующихъ звеньевъ въ м.,

γ — удѣльный вѣсъ кладки,

d_0 — внутренній діаметръ устья въ м.,

$\operatorname{tg} i$ — внутренній уклонъ трубы ($\operatorname{tg} i = 0,004 \div 0,018$)

H_0 — высота ствола въ м.,

k — давленіе вѣтра у основанія его,

φ — коэффициентъ,—для круглыхъ трубъ = 1.

Предлагаемый мною способъ расчета устанавливаетъ непосредственно требуемое число звеньевъ—безъ предварительнаго выбора или подсчета,—и позволяетъ, какъ кажется, производить расчетъ проще и скорѣе. Считаю нелишнимъ предпослать упрощенному способу основанія принятаго расчета въ общихъ положеніяхъ.

Общія положенія.

Стволъ.

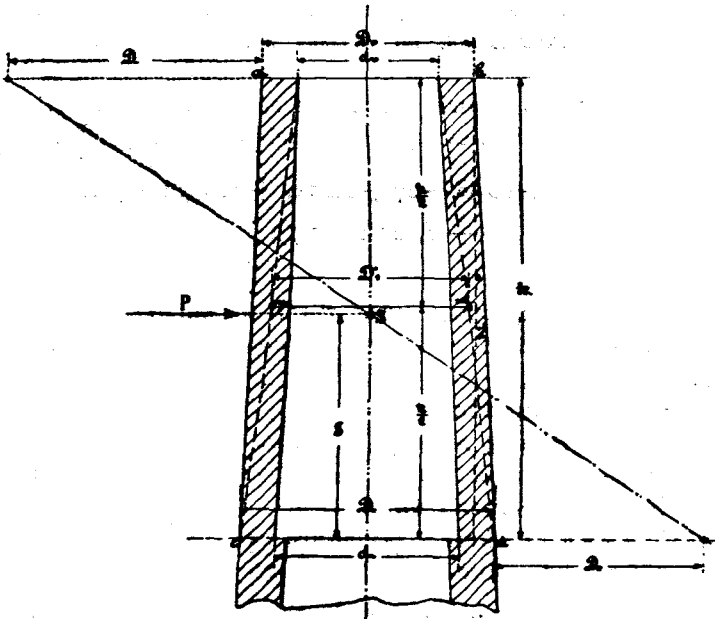
Толщина δ_1 устья для трубы изъ обыкновеннаго кирпича принимается въ 1 кирпичь = 0,265 м.; для трубы изъ лекальнаго кирпича—въ зависимости отъ имѣющихся въ продажѣ сортовъ — въ 0,19; 0,23; 0,18; 0,22 м.

Этимъ опредѣляется величина наружнаго діаметра D_0 устья.

$$D_0 = d_0 + 2\delta_1$$

Величина внѣшняго уклона (фиг. 3)

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_n - D_0}{2H}$$



Фиг. 1..

D_n — наружный діаметръ нижняго сѣченія ствола.

H — высота его.

Велич. внѣш. уклона колеблется между 0,015... 0,04.

Часто принимаемые уклоны:

$i = 0,018; 0,02; 0,022; 0,025; 0,03.$

На погонный метръ трубы ея наружный діаметръ увеличивается соотвѣтственно:

2 . 0,180; 2 . 0,02; 2 . 0,022; 2 . 0,025; 2 . 0,03.

Чѣмъ больше уклонъ, тѣмъ болѣе устойчивой при другихъ одинаковыхъ условіяхъ труба и тѣмъ менѣе можетъ оказаться потребное количество матеріала для ея возведенія безъ ущерба для ея прочности.

При выборѣ уклона считаются съ высотой трубы и съ условіемъ ея красиваго очертанія.

Задавшись внѣшнимъ уклономъ, получаютъ величину наружнаго діаметра D_n нижняго сѣченія ствола.

$$D_n = D_0 + 2Ni \dots \dots \dots (1)$$

и разбиваютъ стволъ на звенья, чѣмъ опредѣляется толщина ихъ (толщина возрастаетъ отъ устья къ основанію равномерно на $\frac{1}{2}$ кирпича).

δ — толщина m -аго звена = i кирпичу + $(m - 1) \frac{1}{2}$ кирпича.

Высота звеньевъ берется отъ 3 до 10 метровъ для трубъ изъ обыкновеннаго кирпича и отъ 4 до 7 м. для трубъ изъ лекальнаго кирпича.

Такъ какъ выборъ числа звеньевъ является произвольнымъ, то по проверкѣ опасное сѣченіе можетъ оказаться неподходящимъ и приходится выбирать другія величины, пока не получатся удовлетворительные результаты.

При равныхъ высотахъ звеньевъ — достаточно проверить опасное сѣченіе.

При дѣйствіи вѣтра въ каждомъ сѣченіи кладки возникаютъ напряженія:

$$\sigma_1 = - \frac{G}{F} - \frac{M}{W} \dots \dots \dots (2)$$

$$\sigma_2 = - \frac{G}{F} + \frac{M}{W}$$

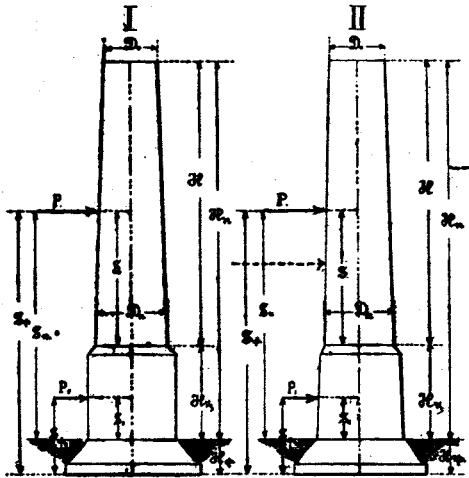
гдѣ G — вѣсъ части трубы, лежащей надъ сѣченіемъ,
 M — моментъ отъ давленія вѣтра,
 F — площадь сѣченія,
 W — моментъ сопротивленія его.

Вѣсъ звена для круглаго сѣченія трубы опредѣляется по правилу Гюльдена:

$$g = \pi D'_1 \delta \cdot h \cdot 1800 \text{ въ kg. (фиг. 1) . . . (3)}$$

(вѣсъ куб. метр. кладки принимается въ 1800 kg.)

$$D'_1 = \frac{D_0 + D}{2} - \delta$$



Фиг. 2.

Вѣсъ всего ствола суммируется изъ вѣса его звеньевъ

$$G_c = \pi \cdot 1800 \Sigma D'_1 \delta h \text{ (фиг. 3) (4)}$$

При одинаковой высотѣ звеньевъ

$$G_c = \pi \cdot 1800 \cdot h \Sigma D'_1 \delta \text{ (5)}$$

Чтобы опредѣлить вѣсъ ствола, не прибѣгая къ вычисленію вѣса каждаго отдѣльнаго звена, пользуются при звеньяхъ одинаковой высоты приближенной формулой:

$$G = 1800 \frac{\pi H}{3} \left[R_n^2 + R_n R_0 + R_0^2 - (r_n^2 + r_n r_0 + r_0^2) \right] \text{ . (6)}$$

Пренебрегаютъ въ этомъ случаѣ выступами звеньевъ и принимаютъ объемъ полаго усѣченного конуса.

R_n, r_n — радіусы нижняго сѣченія,

R_0, r_0 — » верхняго »

Авторомъ статьи выведена формула вѣса (21) ствола, при чемъ всѣ выступы звеньевъ приняты были въ расчетъ. Вѣсъ, опредѣленный изъ этой формулы, меньше дѣйствительнаго вѣса на 0,04⁰/₀—0,40⁰/₀. (см примѣры).

Выводъ представленъ ниже.

Моментъ давленія вѣтра: (фиг. 1)

$$M = P \cdot S, \dots \dots \dots (7)$$

гдѣ P — равнодѣйствующая давленій вѣтра на часть трубы, лежащей надъ разсматриваемымъ сѣченіемъ, S = — разстояніе точки ея приложенія отъ сѣченія.

$$P = \eta \cdot k \cdot f \dots \dots \dots (8)$$

(η — коэффициентъ, зависящій отъ формы сѣченія трубы, — для круглаго сѣченія $\eta = \frac{2}{3}$)

k — давленіе вѣтра на 1 кв. м. поверхности, перпендикулярной къ его направленію.

k — принимаютъ = 150 kg. ¹⁾

f — площадь, на которую дѣйствуетъ вѣтеръ.

Разстояніе S — для трубъ круглаго сѣченія

$$S = \frac{h}{3} \cdot \frac{2D_0 + D}{D_0 + D} \text{ (фиг. 1).}$$

Моментъ относительно опаснаго сѣченія ствола (фиг. 2).

$$M = P_s = \frac{2}{3} k \cdot f \cdot S = \frac{2}{3} \cdot 150 \frac{D_n + D_0}{2} H \cdot \frac{H}{3} \frac{2D_0 + D_n}{D_0 + D_n}$$

$$M = \frac{50}{3} H^2 (2D_0 + D_n) \dots \dots \dots (9)$$

Моментъ относительно нижняго сѣченія, постамент (фиг. 2, I),

$$M_1 = P S_n + P_1 \cdot S_1 \dots \dots \dots (10)$$

¹⁾ Принимаютъ въ данномъ случаѣ, что вѣтеръ дѣйствуетъ по горизонтальному направленію.

Для Пруссіи по постановленію Министерства принимаютъ k = 125 kg., — однако при опредѣленіи напряженія надо считаться съ давленіемъ k = 150 kg.

Въ Баденскомъ Королевствѣ и въ Австріи k = 150 kg.,
 „ Саксонскомъ „ k = 115 + 0,6 H, гдѣ H — вся высота трубы.

Напряжения σ тах для кладки изъ обыкновеннаго кирпича принимаютъ въ 8 kg./qcm.,—для лекальнаго кирпича—12 kg./qcm.

По австрійскимъ нормамъ для трубъ не выше 30 метровъ допускается напряженіе на растяженіе до 1,2 kg./qcm.; при бôльшей высотѣ напряженіе должно уменьшаться на 0,05 kg./qcm. съ каждымъ метромъ увеличенія высоты трубы, т. е. при высотѣ въ 54 м., это напряженіе достигаетъ нуля (0).

Эти данныя легли въ основу предлагаемаго способа.

II. Упрощенный способъ расчета.

A. Труба изъ обыкновеннаго кирпича.

Моментъ давленія вѣтра относительно опаснаго сѣченія ствола—см. форм. (9)

$$M = \frac{50}{3} H^2 (2D_0 + D),$$

гдѣ D —наружный діаметръ нижняго сѣченія въ м.,

D_0 — » » верхняго » » »

H —высота ствола.

При выбранномъ уклонѣ $\operatorname{tg} \alpha = i$ величина $D = D_0 + 2H \operatorname{tg} \alpha$, и величина момента принимаетъ выраженіе:

$$M = \frac{50}{3} H^2 (2D_0 + D_0 + 2H \operatorname{tg} \alpha) = 50 H^2 D_0 + \\ + \frac{100}{3} H^3 \operatorname{tg} \alpha \text{ въ kgm.}$$

$$M \text{ kgcm.} = 5000 H^2 D_0 + \frac{10000}{3} + \operatorname{tg} \alpha H^3 \dots (17)$$

Для примѣняемыхъ уклоновъ значенія M представлены въ слѣд. таблицѣ 1-ой.

Таблица 1-ая.

Внѣшній уклонъ tgα.	Величина момента М въ кгсм.
0,016	$M = 5000 H^2 D_0 + 53,4 H^3$
0,018	$M = 5000 H^2 D_0 + 60 H^3$
0,02	$M = 5000 H^2 D_0 + 66,7 H^3$
0,022	$M = 5000 H^2 D_0 + 73,3 H^3$
0,025	$M = 5000 H^2 D_0 + 83,3 H^3$
0,03	$M = 5000 H^2 D_0 + 100 H^3$

Напряженіе k_b , вызываемое въ кладкѣ сѣченія моментомъ, можно принять въ среднемъ $= 0,39 \frac{H}{D}$ (получено изъ ряда примѣровъ при сопоставленіи), — и такимъ образомъ опредѣляется величина требуемаго момента сопротивленія:

$$W_{гр} = \frac{M}{k_b}$$

Моментъ сопротивленія изслѣдуемаго сѣченія:

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{M}{k_b} \dots \dots \dots (18)$$

Изъ этого выраженія можно опредѣлить величину внутренняго діаметра d .

Для облегченія нахождения d представляемъ W въ слѣдующемъ видѣ:

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi D^3}{32} - \frac{\pi d^4}{64} \cdot \frac{2}{D} \dots \dots \dots (19)$$

Значеніе $\frac{\pi D^3}{32} = w$ можно или непосредственно получить изъ таблицы или вычислить по $\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{D}{8}$;

опредѣливъ изъ у-нія моментъ инерціи $\frac{\pi d^4}{64} = I$, находимъ изъ таблицы соотвѣтствующее близкое значеніе d' .

Толщина δ сѣченія $= \frac{D-d'}{2}$ должна быть кратной

$\frac{1}{2}$ кирпича, потому имѣть одно изъ значеній ряда:

δ въ м . . .	0,41	0,54	0,68	0,82	0,95	1,09	1,22	1,36	1,5
δ въ кирп. . .	1 $\frac{1}{2}$	2,0	2 $\frac{1}{2}$	3,0	3 $\frac{1}{2}$	4,0	4 $\frac{1}{2}$	5,0	5 $\frac{1}{2}$

Придавъ δ —соотвѣтствующее значеніе, наиболѣе отвѣчающее величинѣ $\frac{D-d'}{2}$, находимъ величину внутренняго діаметра d

$$d = D - 2\delta (20)$$

Опредѣленіемъ толщины δ устанавливается n —количество звеньевъ ствола.

$n = \delta' - 1$, гдѣ δ' —число половинокъ кирпича (напримѣръ при $\delta_n = 3\frac{1}{2}$ кирп., $n = 6$).

По нахожденіи d сѣченія приступаемъ къ его провѣркѣ—опредѣленію напряженій:

$$\sigma_1 = - \frac{G}{F} - \frac{M}{W}$$

$$\sigma_2 = - \frac{G}{F} + \frac{M}{W}$$

Кромѣ искомыхъ неизвѣстной величиной является вѣсъ G ствола,—но его нетрудно опредѣлить изъ формулы, въ которую входятъ извѣстныя величины H, D_0 и n ,—при этомъ звенья предполагаются одинаковой высоты.

Выводъ формулы вѣса δ ствола.

(фиг. 3).

Обозначенія:

Свѣченіе.	Наружный диаметр.	Внутренний диаметр.	№ звена.	Толщина звена δ .	Принимаемъ звенья одинаковой высоты $h_1 = h_2 = h_n = h$. Внешний уклонъ $i = \text{tg} \alpha$. $D_0 = d_0 + 2\delta_1$. $R_0 = \frac{D_0}{2}$. п—количество звеньевъ. Вѣсъ звена: $g = 2\pi R' h \delta$, гдѣ δ —толщина звена, R'—разстояніе центра тяжести параллелограмма до оси (фиг. 1, фиг. 3).
ab	D_0	d_0	1-ое	δ_1	
$a_1 b_1$	D_1	d_1	2-ое	δ_2	
$a_2 b_2$	D_2	d_2	3-ье	δ_3	
$a_3 b_3$	D_3	d_3	4-ое	δ_4	
$a_4 b_4$	D_4	d_4	5-ое	δ_5	
$a_n b_n$	D_n	d_n	n-ое	δ_n	

Примемъ возрастаніе толщины звеньевъ отъ устья къ основанію $m = 0,138$, какъ среднее значеніе изъ ряда толщинъ (0,265; 0,41; 0,54; 0,68; 0,82; 0,95).

Такимъ образомъ толщины звеньевъ представляются въ слѣдующемъ порядкѣ:

$$\delta_1 = 0,265; \delta_2 = \delta_1 + m; \delta_3 = \delta_1 + 2m; \delta_n = \delta_1 + (n-1)m.$$

R^1 —радіусы вращенія звеньевъ:

$$1\text{-ое зв. } R'_1 = R_0 + \frac{h}{2} \text{tg} \alpha - \frac{\delta_1}{2}$$

$$2\text{-ое } R'_2 = R_0 + \frac{3}{2} h \text{tg} \alpha - \frac{\delta_2}{2}$$

$$3\text{-ье } R'_3 = R_0 + \frac{5}{2} h \text{tg} \alpha - \frac{\delta_3}{2}$$

$$4\text{-ое} \quad R'_4 = R_0 + \frac{7}{2} \operatorname{htg} \alpha - \frac{\delta_4}{2}$$

$$n\text{-ое} \quad R'_n = R_0 + \frac{2n-1}{2} \operatorname{htg} \alpha - \frac{\delta_n}{2}$$

Всѣ звеньевъ.

$$1\text{-ое зв.}: g_1 = 2\pi R'_1 h \delta_1 \cdot 1800 = 2\pi \cdot 1800 h \delta_1 \left(R_0 + \frac{h}{2} \operatorname{tg} \alpha - \frac{\delta_1}{2} \right)$$

$$g_1 = ch \delta_1 R'_0 + ch \delta_1 k - \frac{ch}{2} \delta_1^2$$

Принято:
$2\pi 1800 = 11310 = c$
$\frac{h}{2} \operatorname{tg} \alpha = k$

$$2\text{-ое зв.}: g_2 = 2\pi R'_2 h \delta_2 \cdot 1800 = 2\pi \cdot 1800 h \delta_2 \left(R_0 + 3k - \frac{\delta_2}{2} \right)$$

$$g_2 = ch \delta_2 R_0 + ch \delta_2 \cdot 3k - \frac{ch}{2} \delta_2^2$$

$$3\text{-ье зв.}: g_3 = 2\pi R'_3 h \delta_3 \cdot 1800 = 2\pi \cdot 1800 h \delta_3 \left(R_0 + 5k - \frac{\delta_3}{2} \right)$$

$$g_3 = ch \delta_3 R_0 + ch \delta_3 \cdot 5k - \frac{ch}{2} \delta_3^2$$

$$4\text{-ое зв.}: g_4 = 2\pi R'_4 h \delta_4 \cdot 1800 = 2\pi \cdot 1800 h \delta_4 \left(R_0 + 7k - \frac{\delta_4}{2} \right)$$

$$g_4 = ch \delta_4 R_0 + ch \delta_4 \cdot 7k - \frac{ch}{2} \delta_4^2$$

$$n\text{-е зв.}: g_n = 2\pi R'_n h \delta_n \cdot 1800 = 2\pi \cdot 1800 h \delta_n \left(R_0 + \frac{2n-1}{2} k - \frac{\delta_n}{2} \right)$$

$$g_n = ch \delta_n R_0 + ch \delta_n \frac{2n-1}{2} k - \frac{ch}{2} \delta_n^2$$

Общій всѣх n -звеньевъ:

$$G = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + \dots + g_n$$

$$G = ch \delta_1 R_0 + ch \delta_2 R_0 + ch \delta_3 R_0 + ch \delta_4 R_0 + \dots + ch \delta_n R_0 +$$

$$+ ch \delta_1 k + ch \delta_2 \cdot 3k + ch \delta_3 \cdot 5k + ch \delta_4 \cdot 7k + \dots + ch \delta_n (2n-1)k -$$

$$- \frac{ch}{2} \delta_1^2 - \frac{ch}{2} \delta_2^2 - \frac{ch}{2} \delta_3^2 - \frac{ch}{2} \delta_4^2 + \dots - \frac{ch}{2} \delta_n^2$$

$$G = \text{ch}R_0(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots \delta_n) + \text{chk}(\delta_1 + 3\delta_2 + 5\delta_3 + \\ + 7\delta_4 + \dots (2n-1)\delta_n) - \frac{\text{ch}}{2}(\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \dots \delta_n^2)$$

Выражаемъ значенія въ скобкахъ ихъ суммами:

$$1) \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \dots \delta_n = \left[\delta_1 + \frac{1}{2}m(n-1) \right] n$$

$$2) \delta_1 + 3\delta_2 + 5\delta_3 + 7\delta_4 + \dots (2n-1)\delta_n = \delta_1 n^2 + mn^2(n-1) - \\ - \frac{mn(n-1)(2n-1)^*}{6}$$

$$3) \delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots \delta_n^2 = n\delta_1^2 + 2\delta_1 \frac{mn(n-1)}{2} + \\ + \frac{m^2 n(n-1)(2n-1)^{**}}{6}$$

$$*) \delta_1 + 3\delta_2 + 5\delta_3 + 7\delta_4 + \dots \frac{2n-1}{2} \delta_n = \delta_1 + 3\delta_1 + 3m + 5\delta_1 + \\ + 5.2m + 7\delta_1 + 7.3m + \dots (2n-1)\delta_1 + (2n-1)(n-1)m = \\ = \delta_1[1+3+5+7+\dots(2n-1)] + m[3+5+5+7+7+7+ \\ + 9+9+9+9+\dots(n-1)(2n-1)] = \\ = \delta_1 n^2 + m[3+5+7+9+\dots(2n-1)] + m[5+7+9+11+\dots \\ + \dots(2n-1)] + m[7+9+11+\dots(2n-1)] + \dots = \\ = \delta_1 n^2 + m(n^2-1) + m(n^2-4) + m(n^2-9) + m(n^2-16) + \dots \\ + \dots m[n^2-(n-1)^2] = \\ = \delta_1 n^2 + mn^2 - m + mn^2 - 4m + mn^2 - 9m + mn^2 - 16m + \dots \\ + \dots mn^2 - m(n-1)^2 = \\ = \delta_1 n^2 + mn^2(n-1) - \frac{mn(n-1)(2n-1)}{6}$$

**)

$$\delta_1^2 = (\delta_1 + m)^2 = \delta_1^2 + 2\delta_1 m + m^2 \\ \delta_2^2 = (\delta_1 + 2m)^2 = \delta_1^2 + 4\delta_1 m + 4m^2 \\ \delta_3^2 = (\delta_1 + 3m)^2 = \delta_1^2 + 6\delta_1 m + 9m^2 \\ \delta_n^2 = [\delta_1 + (n-1)m]^2 = \delta_1^2 + 2(n-1)m\delta_1 + m^2(n-1)^2 \\ \delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \dots \delta_n^2 = \delta_1^2 + \delta_1^2 + 2\delta_1 m + m^2 + \delta_1^2 + \\ + 4\delta_1 m + 4m^2 + \delta_1^2 + 6\delta_1 m + 9m^2 + \dots \\ + \dots \delta_1^2 + 2(n-1)m\delta_1 + m^2(n-1)^2 = \\ = n\delta_1^2 + 2\delta_1 m[1+2+3+\dots(n-1)] + m^2[1+4+9+16+\dots \\ + \dots(n-1)^2] = \\ = n\delta_1^2 + 2\delta_1 m \frac{(n-1)n}{2} + \frac{m^2 n(n-1)(2n-1)}{6}$$

$$G = chR_0n \left[\delta_1 + \frac{m}{2}(n-1) \right] + chk \left[\delta_1 n^2 + mn^2(n-1) - \frac{mn(n-1)(2n-1)}{6} \right] - \frac{ch}{2} \left[n\delta_1^2 + 6_1 mn(n-1) + \frac{m^2n(n-1)(2n-1)}{6} \right]$$

Вставивъ вмѣсто k его значеніе $= \frac{h}{2} \operatorname{tg} \alpha$ и $hn = H$, имѣемъ по приведеніи

$$G = \frac{c}{2} HR_0(2\delta_1 - m) + \frac{c}{2} HR_0 mn - \frac{c}{2} H\delta_1^2 - \frac{c}{2} H\delta_1 mn + \frac{c}{2} H\delta_1 m - \frac{c}{6} Hm^2 n^2 + \frac{c}{4} Hm^2 n - \frac{c}{12} Hm^2 + \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{c}{2} H^2 \delta_1 + \frac{c}{3} H^2 mn - \frac{c}{4} H^2 m - \frac{c}{12} \frac{H^2}{n} m \right)$$

По выше принятымъ обозначеніямъ: $c = 11310$;
 $m = 0,138$; $\delta_1 = 0,265$; $R_0 = \frac{D_0}{2}$.

Вставимъ эти значенія, получаемъ по приведеніи:

$$G_{\text{въ кг.}} = 1108,4HD_0 + 1108,4\operatorname{tg} \alpha \cdot H^2 - 208H + n(390,2HD_0 + 520,3\operatorname{tg} \alpha \cdot H^2 - 153H) - 35,8Hn^2 - 130\operatorname{tg} \alpha \frac{H^2}{n} \dots (21)$$

$$\text{или } G = A + Bn - Cn^2 - D \frac{1}{n},$$

$$\text{гдѣ } A = 1108,4H(D_0 + H\operatorname{tg} \alpha) - 208H.$$

$$B = 390,2HD_0 + 520,3\operatorname{tg} \alpha - 153H.$$

$$C = 35,8H$$

$$D = 130\operatorname{tg} \alpha H^2$$

При выбранномъ уклонѣ и опредѣленномъ нижнемъ сѣченіи вѣсъ G опредѣляется по известнымъ величинамъ,—на сколько точно, видно изъ приведенныхъ ниже примѣровъ.

Для облегченія нахождения G представляемъ въ таблицѣ 2-ой значенія коэффиціентовъ A , B , C и D для часто примѣняемыхъ уклоновъ:

Т а б л и ц а 2-ая.

Уклонъ.	А	В	С	D
0,018	$1108,4HD_0 + 20H^2 - 208H$	$390,2HD_0 + 9,4H^2 - 153H$	35,8H	$2,3H^2$
0,02	$1108,4HD_0 + 22,2H^2 - 208H$	$390,2HD_0 + 10,4H^2 - 153H$	35,8H	$2,6H^2$
0,22	$1108,4HD_0 + 24,4H^2 - 208H$	$390,2HD_0 + 11,4H^2 - 153H$	35,8H	$2,86H^2$
0,025	$1108,4HD_0 + 27,7H^2 - 208H$	$390,2HD_0 + 13,0H^2 - 153H$	35,8H	$3,3H^2$
0,03	$1108,4HD_0 + 33,3H^2 - 208H$	$390,2HD_0 + 15,6H^2 - 153H$	35,8H	$3,9H^2$

Примѣры:

Примѣръ 1-ый. Требуется рассчитать статически дымовую трубу, для которой определены: диаметръ устья $d_0 = 1,5$ м и высота $H_n = 40$ м.

Принимаемъ высоту покоя $= \frac{1}{5} H_n = 8$ м и величину внѣшняго уклона i въ 0,022 (фиг. 4).

А. По упрощенному способу.

Высота ствола $H = 32$ м.; $D_0 = 1,5 + 0,53 = 2,03$ м.

Нижнее сѣченіе:

Его нар. діам. $D = D_0 + 2Hi = 2,03 + 2 \cdot 32 \cdot 0,022 = 3,44$ м.

Моментъ отъ давленія вѣтра (таблица 1-ая).

$$M = 5000H^2D_0 + 73,3H^3$$

$$M = 5000 \cdot 1024 \cdot 2,03 + 73,3 \cdot 32768 = 12795494 \text{ kgcm.}$$

$$K_b = 0,39 \frac{H}{D} = 0,39 \frac{32}{3,44} = 3,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_{\text{треб.}} = \frac{M}{K_b} = \frac{12795494}{3,6} = 3554304 \text{ cm}^3 = 3,55 \text{ m}^3$$

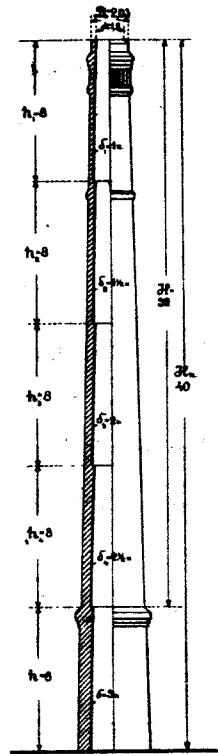
$$W_{\text{(сѣченія)}} = \frac{\pi D^3}{32} - \frac{\pi d^4}{64} \cdot \frac{2}{D} = 3,55;$$

$$\left[\frac{\pi D^3}{32} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{D}{8} = 9,294 \cdot \frac{3,44}{8} = 4,0 \text{ m}^3 \right]$$

$$4 - \frac{\pi d^4}{4} \cdot \frac{2}{D} = 3,55;$$

отсюда $I = \frac{\pi d^4}{64} = 0,77 \text{ m}^4$ и изъ таблицъ соотвѣтствующее значеніе $d = d' \approx 2,0$ м.

$$\text{Толщина кольца } \delta = \frac{D-d'}{2} = \frac{3,44-2}{2} = 0,72 \text{ м.}$$



Фиг. 4.

т. к. δ должно быть кратнымъ числу $1/2$ кирпича,— принимаемъ $\delta = 2 1/2$ кирп. = 0,68 м.; n —колич. звеньевъ = 4.

Внутр. діам. сѣченія $d = D - 2\delta = 3,44 - 2 \cdot 0,78 = 2,08$ м.

Площадь сѣченія

$$F = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = 9,294 - 3,398 = 5896 \text{ м}^2 = 58960 \text{ см}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Мом. сопр. сѣченія } W &= \frac{\pi D^3}{32} - \frac{\pi d^3}{32} = 4 - 0,53 = \\ &= 3,47 \text{ м}^3 = 3470000 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

$$\left[\frac{\pi d^4}{32D} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{d^2}{8D} = 3,398 \frac{4,3}{8,3,43} = 0,53 \right].$$

Проверимъ найденное сѣченіе.

Краевыя напряжения:

$$\sigma = -\frac{G}{F} \pm \frac{M}{W}.$$

Опредѣленіе вѣса ствола G .

$$G = A + Bn - Cn^2 - D \frac{I}{n}; \text{ знач. } A, B, C \text{ и } D \text{ см. табл. 2-ую).}$$

$$G = 1108,4 \cdot 32 \cdot 2,03 + 24,4 \cdot 1024 - 208 \cdot 32 + 4 (390,2 \cdot 32 + 11,4 \cdot 1024 - 153 \cdot 32) - 35,8 \cdot 32 \cdot 16 - 2,86 \frac{1024}{4}$$

$$G = 199789 \text{ кг.}$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -\frac{199789}{58690} - \frac{12795494}{3470000} = -3,39 - 3,68 = - \\ &= -7,07 \text{ кг/см}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= -\frac{199789}{58960} + \frac{12795494}{3470000} = -3,39 + 3,68 = + \\ &= +0,29 \text{ кг/см}^2 \end{aligned}$$

В. Расчетъ по изложенному въ общихъ положеніяхъ.

Количество звеньевъ $n = 4$, каждое высотой по 8 м. (можно было бы принять при произвольномъ выборѣ $n = 5$ съ высотами звеньевъ, считая сверху въ 7,0 м;

7,0 м; 6,0 м; 6,0 м; 6,0 м, — получилось бы нижнее сѣчение толщиной въ 3 кирп. — безъ надобности сильное).

Опредѣленіе вѣса ствола G.

$$G = \pi \cdot 1800 \cdot S \Sigma D' \delta.$$

Діаметры D' центровъ вращенія звеньевъ:

$$D'_1 = D_0 + 2 \cdot \frac{h_1}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha - \delta_1 = 2,03 + 2 \cdot 4 \cdot 0,022 - 0,265 = 1,941 \text{ м.}$$

$$D'_2 = 2,03 + 12 \cdot 2 \cdot 0,022 - 0,41 = 2,12 \text{ м.}$$

$$D'_3 = 2,03 + 20 \cdot 2 \cdot 0,022 - 0,54 = 2,37 \text{ —}$$

$$D'_4 = 2,03 + 28 \cdot 2 \cdot 0,022 - 0,68 = 2,58 \text{ —}$$

$$G = 5655 \cdot 8 (1,941 \cdot 0,265 + 2,12 \cdot 0,41 + 2,37 \cdot 0,54 + 2,58 \cdot 0,68)$$

$$G = 199871 \text{ kg,}$$

больше опредѣленнаго изъ формулы (199789) на 82 kg., что составляетъ 0,04%.

Краевыя напряженія:

$$\sigma_1 \text{ и } \sigma_2 = \frac{G}{F} \left(1 \pm \frac{a}{l} \right)$$

Отклоненіе равнодѣйствующей — разстояніе $a = \frac{M}{g}$;

$$a = \frac{12795494}{199871} = \approx 64,2 \text{ см.}$$

$$\text{радіусъ ядра } e = \frac{D^2 + d^2}{8D} = \frac{3,44^2 + 2,08^2}{8 \cdot 3,44} = 0,58 \text{ м} = 58 \text{ см.}$$

$$\sigma_1 = - \frac{199871}{58960} \left(1 + \frac{64,2}{58} \right) = - 7,1 \text{ кг/см}^2$$

$$\sigma_2 = + 0,36 \text{ кг/см}^2.$$

Примѣръ 2-ой. Требуется рассчитать статически стволъ дымовой трубы высотой $H = 50$ м. съ внутреннимъ діаметромъ устья $d_0 = 3,5$ м (фиг. 5). Принимаемъ величину вѣшняго уклона $i = 0,025$.

А. По упрощенному способу.

Величина момента отъ давленія вѣтра

$$M = 5000 H^2 D_0 + 83,3 H^3 \text{ (таблица 1-ая).}$$

$$D_0 = d_0 + 2 \cdot 0,265 = 4,03 \text{ м.}$$

$$M = 5000 \cdot 2500 \cdot 4,03 + 83,3 \cdot 125000 = 60182500 \text{ кгсм.}$$

Нар. діам. нижняго сѣченія

$$D = D_0 + 2Ni = 4,03 + 2 \cdot 50 \cdot 0,025 = 6,53 \text{ м.}$$

$$\text{Напряженіе } k_b = 0,39 \frac{H}{D} = 0,39 \frac{50}{6,53} = 2,98 \text{ кг/см}^2$$

Требуемый моментъ сопротивленія

$$W_{\text{тр}} = \frac{M}{k_b} = \frac{60812500}{2,98} = 20406879 \text{ см}^3 = 20,4 \text{ м}^3.$$

$$W \text{ (сѣченія)} = \frac{\pi D^3}{32} - \frac{\pi d^4}{64} \cdot \frac{2}{D} = 20,4 ;$$

$$\left[\frac{\pi D^3}{32} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{D}{8} = 33,49 \frac{6,53}{8} = 27,327 \right]$$

$$\frac{\pi d^4}{64} = J = (27,327 - 20,4) \frac{6,53}{2} = 22,616 \text{ м}^4$$

и соответствующее значеніе d изъ таблицъ (близкое)
 $d' = 4,65 \text{ м.}$

$$\text{Толщина } \delta = \frac{D - d^1}{2} = \frac{6,53 - 4,65}{2} = 0,94 \text{ м.}$$

Т. к. δ — кратное $1/2$ кирпича, принимаемъ ее =
 $= 0,95 \text{ м} = 3 1/2$ кирп.

Внутр. діам. $d = D - 2\delta = 6,53 - 2 \cdot 0,95 = 4,63 \text{ м.}$
 $n = 6$ (число звеньевъ)

$$F = \text{плоч. сѣченія} = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = 33,49 - 16,83 =$$

$$= 16,66 \text{ м}^2 = 166600 \text{ см}^2$$

$$W \text{ — мом. сопр. сѣченія} = \frac{\pi D^3}{32} - \frac{\pi d^4}{32D} = 27,327 -$$

$$- 69 = 20,427 \text{ м}^3 = 20427000 \text{ см}^3.$$

Краевыя напряженія:

$$\sigma = - \frac{G}{F} + \frac{M}{W}$$

Вѣсь $G = A + Bn - Cn^2 - D \frac{1}{h}$ (см. коэф., табл. 2-я)

$$G = 1108,4 \cdot 50 \cdot 4,03 + 27,7 \cdot 2500 - 208 \cdot 50 + 6$$

$$(390,2 \cdot 50 \cdot 4,03 + 13 \cdot 2500 - 153 \cdot 50) - 35,8 \cdot 50 \cdot 36 -$$

$$- 3,3 \frac{2500}{6}$$

$$G = 837227 \text{ kg.}$$

$$\sigma_1 = \frac{837227}{166600} - \frac{60812500}{20427000} = -5,02 - 2,97 = -$$

$$= -7,99 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = -5,02 + 2,97 = -2,05 \text{ kg/cm}^2.$$

Этихъ значений напряженія достигаютъ при звеньяхъ одинаковой высоты $h = \frac{50}{6}$ м. (формула вѣса выведена

при такомъ условіи),—но такъ какъ высоты не слѣдуетъ задавать для производства работъ въ такой дроби,—то принимаемъ значенія высотъ, считая сверху въ 8,5 м; 8,5 м; 8,5 м; 8,5 м; 8,0 м; 8,0 м. (см. вариантъ I-й, фиг. 5).

Вѣсъ ствола при этихъ значеніяхъ получится немногимъ меньше выше опредѣленнаго,—такъ какъ звенья съ болѣе тонкими стѣнками взяты немногимъ длиннѣе ихъ средняго значенія $\frac{50}{6}$, что поведетъ къ незначительному уменьшенію краевыхъ напряженій.

Повѣрка.

Провѣримъ, насколько точна формула вѣса, выведенная для звеньевъ одинаковой высоты.

$$\text{Вѣсъ ствола } G = \pi \cdot 1800 \cdot h \Sigma D' \delta,$$

$$\text{гдѣ } h \text{ — высота звена } = \frac{50}{6},$$

D' — діаметръ вращенія п. тяж. звена, δ — толщина его.

$$D'_1 = D_0 + \frac{50}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0,025 - \delta_1 = 4,03 + 0,208 -$$

$$- 0,265 = 4,07 \text{ м.}$$

$$D'_2 = D_0 + \frac{50}{6} \cdot \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0,025 - \delta_2 = 4,03 + 0,625 -$$

$$- 0,41 = 4,245 \text{ м.}$$

$$D'_3 = D_0 + \frac{50}{5} \cdot \frac{5}{2} \cdot 2 \cdot 0,025 - \delta_3 = 4,03 + 1,04 -$$

$$- 0,54 = 4,53 \text{ м.}$$

$$D'_4 = D_0 + \frac{50}{6} \cdot \frac{7}{2} \cdot 2 \cdot 0,025 - \delta_4 = 4,03 + 1,46 -$$

$$- 0,68 = 4,81 \text{ м.}$$

$$D'_5 = D_0 + \frac{50}{6} \cdot \frac{9}{2} \cdot 2 \cdot 0,025 - \delta_5 = 4,03 + 1,875 - 0,82 = 5,08 \text{ м.}$$

$$D'_6 = D_0 + \frac{50}{6} \cdot \frac{11}{2} \cdot 2 \cdot 0,025 - \delta_6 = 4,03 + 2,305 - 0,95 = 5,39 \text{ м.}$$

$$G = 5665 \cdot \frac{50}{6} (4,07 \cdot 0,265 + 4,245 \cdot 0,41 + 4,53 \cdot 0,54 + 4,81 \cdot 0,68 + 5,08 \cdot 0,82 + 5,39 \cdot 0,95)$$

$$G = 839862 \text{ kg.}$$

— больше определеннаго изъ формулы (837227 kg) на 2635 kg, что составляетъ 0,3⁰/₀.

Этотъ излишекъ вѣса увеличить напряженія на 0,015 kg/cm² = $\frac{2635}{166600}$

Какъ видно, при большомъ числѣ звеньевъ вычисленіе вѣса изъ формулы проще.

Такъ какъ моментъ отъ давленія вѣтра и вѣсъ быстройе убываютъ отъ опаснаго сѣченія къ устью, чѣмъ размѣры соответствующихъ сѣченій, то остальные сѣченія при принятыхъ высотахъ звеньевъ въ провѣркѣ не нуждаются.

Вариантъ 2-ой. Для полученія экономіи строительнаго матеріала, принимаемъ высоты звеньевъ, считая сверху— въ 10 м; 9,5 м; 9 м; 8,0 м; 7 м и 6,5 м. (фиг. 5, II)— въ этомъ случаѣ надо провѣрить кромѣ опаснаго и другія сѣченія.

Высоту верхняго звена можно принять въ 10 м,— остальные высоты взяты соответственно меньше на удачу; замѣтимъ, что для полученія меньшаго вѣса область отпадыванія все же значительно сужена и манипуляцій меньше,— въ виду определеннаго по упрощенному способу опаснаго сѣченія и установленнаго этимъ количества звеньевъ п.

Чтобы не занимать мѣста излишними дѣйствіями, привожу окончательные результаты провѣрки нѣкоторыхъ сѣченій.

Сѣченія:	Краевыя напряжения.
Опасное a_6b_6	$\sigma_1 = -7,7 \text{ кг/см}^2; \sigma_2 = -1,83 \text{ кг/см}^2$
a_5b_5	$\sigma_1 = -7,0 \text{ кг/см}^2; \sigma_2 = -1,6 \text{ кг/см}^2$
b_4b_4	$\sigma_1 = -5,6 \text{ кг/см}^2; \sigma_2 = -2,21 \text{ кг/см}^2$

При второмъ вариантѣ потребуется на стволъ въ сравненіи съ первымъ на 27 куб. м. кладки меньше,—при чемъ постаментъ и фундаментъ окажутся легче...

Кромѣ приведенныхъ примѣровъ были произведены другіе,—которые позволяютъ сдѣлать слѣдующее

Заключеніе:

1. Опасное сѣченіе ствола, опредѣляемое, какъ указано было выше, по $W = \frac{M}{k_b}$, оказывается по вѣркѣ краевыхъ напряженій отъ давленія вѣса и дѣйствія вѣтра подходящимъ.

2. По толщинѣ сѣченія устанавливается безъ отгадыванія количество звеньевъ n ,—и тѣмъ опредѣляется высота звена $h = \frac{H}{n}$, если сдѣлать звенья одинаковой высоты, (примѣръ I) или подбираются ихъ высоты въ круглыхъ цифрахъ, близкія къ среднему значенію $\frac{H}{n}$ (см. 2-ой примѣръ, I-ый вариантъ)—при этомъ другія сѣченія не проверяются.

3. Для экономіи строительнаго матеріала дѣлають звенья разной высоты: верхнія $> \frac{H}{n}$, нижнія $< \frac{H}{n}$, не допуская большой разницы между высотами послѣдующихъ звеньевъ,—при этомъ другія сѣченія проверяются (см. 2-ой примѣръ, II-ой вариантъ).

4. Выведенная формула вѣса ствола (21) даетъ очень близкія къ дѣйствительности значенія (разница отъ 0,04% ÷ 0,6%).