86383

# Инженерное Дѣло.

## № 3.

Май—Іюнь

1905 года.

МОСКВА
Университетская типографія, Страстной бульваръ.
1905.

# СОДЕРЖАНІЕ.

*Стран.*

1. Къ теоріи безраскосныхъ фермъ. **Г. Передерія.** (Продолженіе)..... 1
2. Желѣзнодорожныя работы въ неустойчивыхъ грунтахъ. (Окончаніе). **Е. Соковича** ..... 38
3. Повѣрочный разсчетъ желѣзныхъ ригельныхъ полотенъ воротъ въ шлюзахъ для р. С. Донца **Н. Тяпкина**..... 66
4. Американскій способъ очищенія воды въ связи съ современнымъ положеніемъ вопроса объ очищеніи воды. **С. Петрова** ..... 99
5. Американскіе механическіе фильтры съ санитарной точки зрѣнія. **Н. Игнатова** ..... 128
6. Изъ практики примѣненія желѣзо-бетона. **Эд. Норверта** ..... 145
7. Критика и библіографія. Ученые эквилибристы. По поводу возраженій гг. Патона и Черепашинскаго. **Г. Передерія** ..... 153

# Къ теоріи безраскосныхъ фермъ.

*(Продолженіе).*

---

## *В. — Опоры съ консолями.*

*(Дѣйствительныя безраскосныя опоры).*

*24. Одноэтажная опорная рама съ консолями.* — Теорія жесткой рамы съ консолями изложена въ параграфѣ 9 съ достаточной полнотой. Выведемъ здѣсь только формулу для опредѣленія прогиба рамы.

Прогибъ рамы $\xi$ по фигурѣ (15) равенъ:

$$\xi=(\theta_1-\alpha_1)\mathrm{H}$$

Знакъ минусъ стоитъ потому, что углы $\theta_1$ и $\alpha_1$ даются въ функціи моментовъ не только по величинѣ, но и по знаку. Знаки ихъ противоположны, а слѣдовательно, чтобы взять сумму ихъ абсолютныхъ величинъ, надо такъ написать, какъ написано.

Въ параграфѣ 9 нашли, что

$$\theta_1=\tau'_4 n_4-\tau''_4 m_4=\frac{\tau'_4(b_1+l_4)}{B}-\frac{\tau''_4 b_1}{B}$$

$$\alpha_1=\tau'_1 s_2-\tau''_1 r_2=\frac{\tau'_1(l_1+a_2)}{\mathrm{H}}-\frac{\tau''_1 a_2}{\mathrm{H}}$$

или

$$\theta_1=\frac{l_4}{3EJ_4}\left(M_8-\frac{M_7}{2}\right)\frac{b_1+l_4}{B}-\frac{b_1 l_4}{3EJ_4 B}\left(M_7-\frac{M_8}{2}\right)$$

$$\alpha_1=\frac{l_1}{3EJ_1}\left(M_1-\frac{M_2}{2}\right)\frac{l_1+a_2}{\mathrm{H}}-\frac{l_1}{3EJ_1}\left(M_2-\frac{M_1}{2}\right)\frac{a_2}{\mathrm{H}}$$

или, при $M_8 = M_7$,

$$\theta_1 = \frac{l_4^2 M_8}{6EJ_4 B}$$

$$\alpha_1 = \frac{l_1}{3EJ_1 H}\left[M_1\left(l_1 + \frac{3a_2}{2}\right) - M_2\left(\frac{l_1}{2} + \frac{3a_2}{2}\right)\right].$$

Такимъ образомъ

$$\xi = \frac{l_4^2 H M_8}{6EJ_4 B} + \frac{l_1}{6EJ_1}\left[M_2(l_1 + 3a_2) - M_1(2l_1 + 3a_2)\right.$$

*Численный примѣръ.* Данныя для нижеслѣдующаго численнаго примѣра взяты изъ труда инж. Зотикова о жесткихъ рамахъ: $H = 252''$; $l_1 = 134''$; $l_2 = 128''$; $l_4 = 142''$; $B = 204''$; $a_2 = 47''$; $b_1 = 31''$. $J_1 = 84{,}1$ дм.$^4$; $J_2 = 448$ дм.$^4$; $J_4 = 1870$ дм.$^4$; $P_3 = 0$; $P_2 = +522$ пуда.

$$p = -\frac{522\left[\frac{142^3.252}{6.1870.204^2} + \frac{134.228}{2.84{,}1}\right]}{\frac{134.204}{84{,}1} + \frac{142^3}{6.1870.204} + \frac{128^3}{6.448.204}} = -290{,}1 \text{ п. } (292).$$

Числа въ скобкахъ—результаты инж. Зотикова.

$$M_1 = \frac{522.181 - 204.290{,}1}{2} = -17651 \text{ пуд. дм. } (17487)$$

$$M_2 = \frac{522.47 - 204.290{,}1}{2} = -17323 \text{ пуд. дм.}$$

$$M_3 = +\frac{290{,}1.128}{2} = +18566 \text{ пд. дм.}$$

$$M_8 = 71\left(-290{,}1 + \frac{522.252}{204}\right) = +25184 \text{ пд. дм.}$$

$$\xi = \frac{142^2.252.25184}{6.788000.204.1870} +$$

$$+\frac{134}{6.788000.84{,}1}[-17323.275 + 17651.409] = 0{,}9 \text{ дм.}$$

*25. Многоэтажныя опоры. Общія положенія.* — Если въ безраскосной многоэтажной опорѣ поперечныя сѣченія распорокъ (моменты инерціи ихъ) разныя и сѣченія стоекъ тоже измѣняются попанельно, то все же можно предположить, что вертикальные катеты одинаковы по величинѣ у всѣхъ консолей, обозначимъ ихъ черезъ $a$:

точно также горизонтальные катеты тоже у всѣхъ консольныхъ треугольниковъ одинаковы по величинѣ; обозначимъ ихъ черезъ $c$. Въ этомъ предположеніи будутъ проведены дальнѣйшія формулы.

Основное положеніе I параграфа 17 примѣнимо и для консольныхъ опоръ, такъ какъ соображенія, приведенныя въ этомъ параграфѣ примѣнимы и къ разсматриваемаго рода сооруженіямъ. Такимъ образомъ имѣемъ общее положеніе.

I. *Если каждая панель многоэтажной консольной опоры имѣетъ одинаковыя сѣченія стоекъ, то при распоркахъ одинаковыхъ или разныхъ сѣченій точки перегиба распорокъ находятся въ срединѣ ихъ длины; или моменты на концахъ каждой распорки равны между собою.*

Примемъ слѣдующія обозначенія (фиг. 33):

Нумера панелей обозначимъ сверху числами..... $1, 2, \ldots r, \ldots n$

Нумера узловъ (теоретическихъ) по лѣвой стойкѣ ..... $1, 2, \ldots r, \ldots n, n+1$

Узлы по правой стойкѣ носятъ тѣ же нумера со значками.

Высота панелей между теоретическими узлами..... $H_1, H_2, \ldots H_r, \ldots H_n$

Свободная длина стоекъ..... $l_1, l_2, \ldots l_r, \ldots l_n$

Моменты инерціи ихъ сѣченій..... $J_1, J_2, \ldots J_r, \ldots J_n$

Ширина опоры между осями ..... $B$

Свободная длина распорокъ ..... $b$

Моменты инерціи ихъ сѣченій..... $J'_1, J'_2, \ldots J'_r, \ldots J'_{n+1}$

Длина катетовъ консольныхъ треугольниковъ $a$ и $c$, какъ выше принято.

Моменты изгиба на концахъ стоекъ обозначимъ черезъ

$$M''_1 \text{ и } M'_1;\ M''_2 \text{ и } M'_2;\ \ldots M''_n \text{ и } M'_n.$$

Моменты на концахъ распорокъ черезъ $\mu_1, \mu_2, \ldots \mu_r \ldots \mu_{n+1}$

Внѣшнія силы черезъ $P$ съ соотвѣтственными значками.

Перерѣзывающую силу для всей опоры относительно сѣченія, проведеннаго черезъ $r$-ую панель, обозначимъ черезъ $Q_r$.

Моментъ внѣшнихъ силъ отн. $r$-аго узла—$\mathfrak{M}_r$.

Моментъ внѣшнихъ силъ отн. средины $r$-ой панели—$\mathsf{M}_r$.

Срѣжемъ теперь первую панель непосредственно выше теоретическихъ узловъ 2 и 2′. Получимъ неполную раму, на которую дѣйствуютъ силы $P_1$ и $P'_1$ и нижнія консоли которой повернулись на одинаковый уголъ $\theta_2$. Что эти углы одинаковы, это легко ви-

дѣть изъ выраженій для $\theta_2$ и $\theta_3$ въ параграфахъ 9 и 11, принимая во вниманіе равенство $\tau'_2$ и $\tau''_2$ вслѣдствіе равенства моментовъ на концахъ второй распорки.

Сила пружинности для нижняго конца стойки срѣзанной панели (одинаковая для обѣихъ стоекъ), выражается для случая дѣйствія силъ $P_1$ и $P'_1$ такъ:

$$p'_1 = -\frac{M'_1 + M''_1}{l_1};$$

подставляя за $M'_1$ и $M''_1$ величины, приведенныя въ таблицѣ № 2, 2-й случай (изъ § 10), получимъ *)

$$p'_1 = \frac{P_1 + P'_1}{2} = \frac{Q_1}{2}$$

Усиліе въ распоркѣ 1—1′ по даннымъ для $U$ той же таблицы

$$V_1 = \frac{P'_1 - P_1}{2}$$

при чемъ, по знаку это усиліе отнесено къ узлу 1 (минусъ, влѣво—сжатіе).

Дѣйствіе поворота нижнихъ консолей на уголъ $\theta_2$ отражается нулемъ, какъ на величинѣ $p'_1$, такъ и на величинѣ усилія $V_1$; это видно по даннымъ таблицы № 2 для 3-го случая.

Срѣзавъ вторую панель, получимъ ее въ подобныхъ же условіяхъ, въ какихъ была первая панель съ добавленіемъ лишь (фиг. 34) дѣйствія на верхніе узлы моментовъ

$$p'_1 a - M_1' = \frac{Q_1 a}{2} - M_1'.$$

По даннымъ таблицы № 2 для 5-го случая подобные моменты не вызываютъ ни силъ пружинности, ни усилій въ распоркѣ.

Такимъ образомъ, въ разсматриваемомъ случаѣ получаемъ совершенно такія же данныя для разсужденій, какія имѣли въ параграфѣ 17, исходя изъ которыхъ пришли къ положеніямъ II и III

---

*) Исправивъ въ выраженіи момента на нижнемъ концѣ стойки опечатку: вмѣсто $+\frac{Bp}{2}$ надо $-\frac{Bp}{2}$.

и къ формуламъ (61) и (62). На тѣхъ же основаніяхъ и здѣсь имѣемъ:

$$p_r' = \frac{Q_r}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (86)$$

$$V_r = \frac{P'_r - P_r}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (87)$$

Или:

Положеніе II.—*Сила пружинности нижняго конца стойки какой-либо панели равна по величинѣ и по знаку половинѣ перерѣзывающей силы всей опоры для этой панели.*

Положеніе III.—*Усиліе въ какой-либо распоркѣ равно по величинѣ и по знаку алгебраической полуразности внѣшнихъ силъ, приложенныхъ только къ тѣмъ узламъ, которые распоркой соединяются.*

Какъ и въ случаѣ простыхъ безраскосныхъ опоръ (параграфъ 17), перейдемъ теперь къ составленію формулъ для моментовъ $\mu_r$ и $M_r'$.

Величина $p_r$ отъ силъ пружинности и отъ силъ $P_r$ и $P_r'$ выражается по табл. № 2, сл. 2, такъ:

$$-\frac{Q_r t_r}{w_r'},$$

гдѣ

$$t_r = \frac{l_r}{2J_r}(2a + l_r) = \frac{l_r H_r}{2J_r}$$

$$w_r' = \frac{l_r B}{J_r} + u_r' = \frac{l_r B}{J_r} + \frac{b^3}{6BJ_r'} = \frac{l_r B}{J_r}\left(1 + \frac{b^3 J_r}{6B^2 l_r J_r'}\right)$$

или

$$w_r' = \frac{l_r B}{2J_r}(2 + k_r),$$

гдѣ

$$k_r = \frac{b^3 J_r}{3B^2 l_r J_r'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (88)$$

Слѣдовательно, слагаемое для $p_r$ перепишется въ такомъ видѣ:

$$-\frac{Q_r H_r}{B(2+k_r)}.$$

Второе слагаемое отъ моментовъ

$$\frac{Q_r a}{2} - M'_{r-1}$$

будетъ по табл. № 2, сл. 5:

$$+\frac{2l_r}{J_r w'_r}\left(M'_{r-1}-\frac{Q_{r-1}a}{2}\right)=+\frac{4}{B(2+k_r)}\left(M'_{r-1}-\frac{aQ_{r-1}}{2}\right).$$

Третье слагаемое происходитъ отъ дѣйствія поворота нижнихъ консолей на уголъ $\theta_{r+1}$ слѣдующей $(r+1)$-ой панели. По табл. № 2, сл. 3 это слагаемое равно:

$$-\frac{2E\theta_{r+1}}{w'_r}=-\frac{4EJ_2\theta_{r+1}}{Bl_r(2+k_r)},$$

Но по параграфу 11 (обозначенъ черезъ $\theta_2$)

$$\theta_{r+1}(=\theta_2)=\tau'_2 n_2-\tau''_2 m_2,$$

гдѣ

$$n_2=\frac{b_2+l_2}{B} \qquad m_2=\frac{b_2}{B}$$

$$\tau'_2=\tau''_2=\frac{l_2}{3EJ_2}\left(M_3-\frac{M_4}{2}\right)$$

$$M_3=M_4=-\frac{pl}{2},$$

т.-е.

$$\theta_2=-\frac{pl^3{}_2}{12EJ_2B}$$

или въ теперешнихъ нашихъ обозначеніяхъ

$$\theta_{r+1}=-\frac{p_{r+1}b^3}{12EBJ'_{r+1}}.$$

Послѣднее слагаемое для $p_r$ будетъ:

$$+\frac{b^3J_rp_{r+1}}{3B^2l_r(2+k_r)J'_{r+1}}=+\frac{k_r\sigma_r}{2+k_r}p_{r+1},$$

гдѣ по старому

$$\sigma_r=\frac{J'_r}{J'_{r+1}}.$$

Полное выраженіе для $p_r$ будетъ, такимъ образомъ:

$$p_r=-\frac{Q_rH_r}{B(2+k_r)}+\frac{4\left(M'_{r-1}-\frac{aQ_{r-1}}{2}\right)}{B(2+k_r)}+\frac{k_r\sigma_r}{2+k_r}p_{r+1}.$$

Отъ $p_r$ легко перейти къ $\mu_r$ по формулѣ:

$$p_r = -\frac{2}{b}\mu_r.$$

Изъ предыдущаго получимъ:

$$\frac{B}{b}\mu_r = \frac{Q_r H_r}{2(2+k_r)} - \frac{2}{2+k_r}\left(M'_{r-1} - \frac{aQ_{r-1}}{2}\right) + \frac{k_r\sigma_r}{2+k_r}\frac{B}{b}\mu_{r+1}.$$

Введемъ теперь *фиктивные моменты* въ качествѣ искомыхъ, а именно

$$\bar{\mu}_r = \frac{B}{b}\mu_r,$$

откуда

$$\left.\begin{aligned} \mu_r &= \frac{b}{B}\bar{\mu}_r \\ p_r = -\frac{2}{b}\mu_r &= -\frac{2}{B}\bar{\mu}_r \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (89)$$

Точно также положимъ:

$$\overline{M}'_r = M'_r - \frac{Q_r a}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (90)$$

Предыдущее уравненіе принимаетъ тогда такой видъ:

$$\bar{\mu}_r = \frac{Q_r H_r}{2(2+k_r)} - \frac{2}{2+k_r}\overline{M}'_{r-1} + \frac{k_r\sigma_r}{2+k_r}\bar{\mu}_{r+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (91)$$

Это уравненіе совершенно одинаково съ уравненіемъ (63).

Слагаемыя выраженія для $M'_r$ — момента на нижнемъ концѣ стойки $r$-ой панели, будутъ выражать дѣйствіе горизонтальныхъ силъ по формулѣ табл. № 2, сл. 2; дѣйствіе моментовъ по формулѣ сл. 5, и дѣйствіе поворота на уголъ $\theta_{r+1}$. Замѣчая, что $a+l_r=H-a$, и переходя отъ $p_{r+1}$ къ $\bar{\mu}_{r+1}$, получимъ въ результатѣ:

$$M'_r = \frac{Q_r a}{2} - \frac{Q_r H_r(1+k_r)}{2(2+k_r)} + \frac{k_r}{2+k_r}\left(M'_{r-1} - \frac{Q_{r-1}a}{2}\right) + \frac{k_r\sigma_r}{2+k_r}\bar{\mu}'_{r+1}$$

или

$$\overline{M}'_r = -\frac{Q_r H_r(1+k_r)}{2(2+k_r)} + \frac{k_r}{2+k_r}\overline{M}'_{r-1} + \frac{k_r\sigma_r}{2+k_r}\bar{\mu}_{r+1} \quad \ldots\ldots \quad (92)$$

Эта формула одинакова съ формулой (64).

Наконецъ для послѣдней панели, какъ полной рамы, найдемъ выраженіе $\mu_n$ соотвѣтственно уравненію (65) въ теоріи безконсольныхъ опоръ.

По даннымъ табл. № 2, случаи 1 и 4, величина $p_n$ отъ силъ $P$ и моментовъ $\left(\frac{Q_n a}{2} - M'_{n-1}\right)$ выразится такъ:

$$p_n = -\frac{Q_n(u''_n H_n + Bt_n)}{B(w''_n + u'_n)} + \frac{2w''_n\left(M'_{n-1} - \frac{Q_n a}{2}\right)}{B(w''_n + u'_n)}.$$

Вводя значенія $k_n$ и $\sigma_n$ по предыдущему, найдемъ:

$$u''_n H + Bt_n = \frac{H_n l_n B}{2J_n}(1 + k_n\sigma_n)$$

$$w''_n + u'_n = \frac{l_n B}{2J_n}[2 + (1 + \sigma_n)k_n]$$

$$w''_n = \frac{l_n B}{2J_n}(2 + k_n\sigma_n),$$

послѣ чего получаемъ:

$$p_n = -\frac{Q_n H_n}{B} \cdot \frac{1 + k_n\sigma_n}{2 + k_n(1 + \sigma_n)} + \frac{2}{B} \cdot \frac{(2 + k_n\sigma_n)\left(M'_{n-1} - \frac{Q_n a}{2}\right)}{2 + k_n(1 + \sigma_n)}$$

Переходя къ фиктивнымъ моментамъ по формуламъ (89), (90) находимъ, наконецъ

$$\bar{\mu}_n = \frac{Q_n H_n}{2} \cdot \frac{1 + k_n\sigma_n}{2 + k_n(1 + \sigma_n)} - \frac{2 + k_n\sigma_n}{2 + k_n(1 + \sigma_n)}\overline{M}'_{n-1} \ldots\ldots\ (93)$$

Это уравненіе одинаково съ уравненіемъ (65).

Для случая $J_c - J_v - H - l$, т.-е. когда стойки всѣхъ панелей имѣютъ одинаковые моменты инерціи сѣченій $J_c$ и одинаковую свободную длину $l$, всѣ распорки имѣютъ моментъ инерціи поперечныхъ сѣченій $J_r$, и длины панелей одинаковыя — $H$, основныя формулы (91), (92) и (93) перепишутся въ такомъ видѣ, принимая во вниманіе, что $\sigma_r = \sigma_n = 1$:

$$\bar{\mu}_r = \frac{Q_r H}{2(2 + k)} - \frac{2}{2 + k}\overline{M}'_{r-1} + \frac{k}{2 + k}\bar{\mu}_{r+1} \ldots\ldots\ldots\ (91')$$

$$\overline{M}'_r = -\frac{Q_r H(1 + k)}{2(2 + k)} + \frac{2}{2 + k}\overline{M}'_{r-1} + \frac{k}{2 + k}\bar{\mu}_{r+1} \ldots\ (92')$$

$$\bar{\mu}_n = -\frac{Q_n H}{4} - \frac{2+k}{2(1+k)}\overline{M'}_{n-1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (93')$$

гдѣ

$$k = \frac{b^3 J_c}{3B^2 l J_v}.$$

*Примѣчаніе.*—Полученныя здѣсь основныя уравненія (91)—(93) справедливы, конечно, и для случая, когда вертикальные катеты консольныхъ треугольниковъ равны горизонтальнымъ.

*26. Примѣненіе способа Andruzzi.*—Получивъ уравненія (91)—(93) одинаковыми съ уравненіями (63)—(65) теоріи безконсольныхъ опоръ, мы, очевидно, привели консольныя опоры къ безконсольнымъ. Приведеніе производится при помощи введенія фиктивныхъ моментовъ по уравненіямъ (89) и (90). Слѣдовательно, въ дальнѣйшемъ вопросъ рѣшается изложеннымъ въ параграфѣ 18 о примѣненіи способа Andruzzi и 20, 21—о способѣ расчлененія.

Ограничимся здѣсь приведеніемъ формулъ и указаніями относительно примѣненія ихъ.

Опора въ $n$ панелей имѣетъ $(n+1)$ распорокъ, поэтому неизвѣстныхъ величинъ $\mu$ также $(n+1)$. Для выраженія всѣхъ $\bar{\mu}$ (фиктивныхъ) черезъ $\bar{\mu}_1$ служитъ формула:

$$\bar{\mu}_{r+1} = \frac{\bar{\mu}_r}{\sigma_r} + \frac{2}{k_r \sigma_r}\sum_1^r \bar{\mu} - \frac{\mathsf{M}_r}{\sigma_r k_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (94)$$

гдѣ

$$\sigma_r = \frac{J_r}{J_{r+1}} \qquad k_r = \frac{b^3 J_r}{3B^2 l_r J_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (95)$$

Подставляя значенія величинъ $\bar{\mu}$, выраженныхъ въ $\bar{\mu}_1$, въ уравненіе

$$\sum_1^{n+1} \bar{\mu} = \frac{\mathfrak{M}_{n+1}}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (96)$$

опредѣлимъ $\bar{\mu}_1$, а затѣмъ и прочія $\bar{\mu}$.

Для полученія *истинныхъ* моментовъ $\mu$, надо примѣнить формулу (89).

$$\mu_r = \frac{b}{B}\bar{\mu}_r.$$

Усилія въ стойкахъ опредѣляются формулой (73) черезъ фиктивные $\overline{\mu}$.

$$U_r = \frac{2}{B}\sum_1^r \overline{\mu},$$

а переходя къ истиннымъ $\mu$, формулой

$$U_r = \frac{2}{b}\sum_1^r \mu \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (97)$$

Усилія въ распоркахъ даются формулой (87).

Фиктивные моменты $\overline{M}'_r$ опредѣляются формулой (68):

$$\overline{M}'_r = \sum_1^r \overline{\mu} - \frac{\mathfrak{M}_{r+1}}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (98)$$

Чтобы получить затѣмъ *истинныя* значенія $M'_r$ надо примѣнить формулу (90)

$$M'_r = \overline{M}'_r + \frac{Q_r a}{2}.$$

По формулѣ (72) найдемъ фиктивные моменты $\overline{M}''_r$.

$$\overline{M}''_r = -\sum_1^r \overline{\mu} + \frac{\mathfrak{M}_r}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (99)$$

а *истинныя* значенія $M''_r$ находимъ по формулѣ, аналогичной формулѣ для $M'_r$:

$$M''_r = \overline{M}''_r + \frac{Q_r a}{2}.$$

*27. Способъ расчлененія.*—По теоріи, изложенной въ параграфѣ 20 этотъ способъ примѣняется по слѣдующимъ формуламъ для общаго случая.

Вычисляемъ $k_1, k_2, \ldots k_r, \ldots k_n$; $\sigma_1, \sigma_2, \ldots \sigma_r, \ldots \sigma_n$ по формуламъ (95). Затѣмъ:

$$A_n = \frac{2+\sigma_r k_n}{2+k_n(1+\sigma_n)}$$

$$Б_n = \frac{2+k_{n-1}}{A_n k_{n-1}}$$

$$A_{n-1}=\frac{1}{2+k_{n-1}}\left(2+\frac{k_{n-1}\sigma_{n-1}}{Б_n+\sigma_{n-1}}\right)$$

$$Б_{n-1}=\frac{2+k_{n-2}}{A_{n-1}k_{n-2}}$$

.....

$$A_3=\frac{1}{2+k_3}\left(2+\frac{k_3\sigma_3}{Б_4+\sigma_3}\right)$$

$$Б_3=\frac{2+k_2}{A_3k_2}$$

$$A_2=\frac{1}{2+k_2}\left(2+\frac{k_2\sigma_2}{Б_3+\sigma_2}\right).$$

Затѣмъ вычисляемъ величины $D_1, D_2, \ldots D_r \ldots D_{n-1}$ по формулѣ (84)

$$D_r=\frac{Q_rH_r(1+k_r)}{2(2+k_r)} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (100)$$

Послѣ этого опредѣляемъ величины $C_n, \ldots C_1$ по формуламъ

$$C_n=\frac{Q_nH_n(1+k_n)}{2[2+k_n(1+\sigma_n)]}$$

$$C_{n-1}=\frac{Q_{n-1}H_{n-1}}{2(2+k_{n-1})}+\frac{k_{n-1}\sigma_{n-1}(C_n+A_nD_{n-1})}{2+k_{n-1}+A_n\sigma_{n-1}k_{n-1}}$$

.....

$$C_r=\frac{Q_rH_r}{2(2+k_r)}+\frac{k_r\sigma_r(C_{r+1}+A_{r+1}D_r)}{2+k_r+A_{r+1}k_r\sigma_r}$$

.....

$$C_1=\bar{\mu}_1=\frac{Q_1l_1}{2(2+k_1)}+\frac{k_1r_1(C_2+A_2D_1)}{2+k_1+A_2\sigma_1k_1}.$$

Опредѣливъ $\bar{\mu}_1$, находимъ остальныя $\bar{\mu}$ по формулѣ (94), которая обращается въ

$$\bar{\mu}_{r+1}=\bar{\mu}_r+\frac{2}{k}\sum_1^r\bar{\mu}-\frac{M_r}{k} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (101)$$

а затѣмъ во всемъ остальномъ поступаемъ, какъ указано въ предыдущемъ параграфѣ.

Для случая $J_c - J_v - H - l$ предыдущія формулы упрощаются вслѣдствіе того, что $\sigma_r = 1$, всѣ $k$ равны между собою и берутся тогда по формулѣ

$$k = \frac{b^3 J_c}{3B^2 l J_v}.$$

Формулы, сюда относящіяся, можно взять изъ параграфа 21, замѣнивъ въ выраженіяхъ для $C$ букву $l$ буквою $H$ и отличая букву $B$ какъ ширину опоры и какъ вспомогательныя величины ($B_3, B_4 \ldots$).

*28. Численный примѣръ. Опора въ три панели.*—Возьмемъ трехпанельную опору, разсчитанную въ параграфѣ 21, вставивъ во всѣ ея углы консольные треугольники, вертикальные катеты которыхъ $a = 200$ см., а горизонтальные $c = 150$ см. Имѣемъ, слѣдовательно:

| | | |
|---|---|---|
| $B = 500$ см. | $P'_1 = P'_2 = P'_3 = 0$ | $M_1 = 2400$ т. см. |
| $b = 200$ » | $P_1 = P_2 = P_3 = 6$ т. | $M_2 = 9600$ » |
| $H = 800$ » | $Q_1 = 6$ т. | $M_3 = 21600$ » |
| $l = 400$ » | $Q_2 = 12$ т. | $\mathfrak{M}_2 = 4800$ » |
| $J_c = 92000$ см.$^4$ | $Q_3 = 18$ » | $\mathfrak{M}_3 = 14400$ » |
| $J_v = 60000$ » | | $\mathfrak{M}_4 = 28800$ » |

$$k = \frac{b^3 J_c}{3B^2 l J_v} = \frac{200^3 . 92000}{3 . 500^3 . 400 . 60000} = 0{,}040889.$$

$$A_3 = \frac{2+k}{2(1+k)} = \frac{2{,}040889}{2{,}081778} = 0{,}980358$$

$$Б_3 = \frac{2+k}{k} \cdot \frac{1}{A_3} = \frac{49{,}91291}{0{,}980358} = 50{,}9129$$

$$A_2 = \frac{2}{2+k} + \frac{k}{2+k} \cdot \frac{1}{Б_3+1} = 0{,}97996 + \frac{0{,}02004}{51{,}9129} = 0{,}98035.$$

*Примѣчаніе I.*—Замѣчаемъ ничтожную разницу между величинами $A_3$ и $A_2$. Посмотримъ, какъ выражается отношеніе $A_{n-1}$ къ $A_n$.

$$A_n = \frac{2+k}{2(1+k)}$$

$$A_{n-1} = \frac{1}{2+k}\left(2 + \frac{k}{Б_n+1}\right).$$

Но

$$Б_n = \frac{2+k}{A_n k} = \frac{2(1+k)}{k}$$

$$A_{n-1} = \frac{4+6k+k^2}{4+8k+3k^2}$$

$$\frac{A_{n-1}}{A_n} = 1 - \frac{k^3}{8+20k+14k^2+3k^3}.$$

Если $k$ выражается числомъ *меньшимъ 0,05*, то отношеніе это разнится отъ 1 на число меньшее 0,000015. Въ такихъ случаяхъ можно допустить, что $A_{n-1} = A_n$; но тогда и всѣ прочіе $A$ будутъ равны $A_n$. Слѣдовательно:

$$A_{r+1} D_r = \frac{2+k}{2(1+k)} \cdot \frac{Q_r H(1+k)}{2(2+k)} = \frac{Q_r H}{4}$$

и

$$C_r = \frac{Q_r H}{2(2+k)} + \frac{C_{r+1} + \frac{Q_r H}{4}}{\frac{2+k}{k} + A}$$

---

$$D_1 = \frac{Q_1 H(1+k)}{2(2+k)} = \frac{6.800}{2} \cdot \frac{1,040889}{2,040889} = 1224,04$$

$$D_2 = \frac{Q_2 H(1+k)}{2(2+k)} = 2448,08$$

$$C_3 = \frac{Q_3 H}{4} = \frac{18.800}{4} = 3600$$

$$C_2 = \frac{Q_2 H}{2(2+k)} + \frac{C_3 + A_3 D_2}{\frac{2+k}{k} + A_3} = \frac{12.800}{2.2,040889} +$$

$$+ \frac{3600 + 2448,08.0,980358}{49,91291 + 0,980358} = 2469,81.$$

$$\bar{\mu}_1 = C_1 = \frac{6.800}{2.2,040889} + \frac{2469 + 0,98035.1224,04}{50,89327} = 1248,0658.$$

По формулѣ (101):

$$\bar{\mu}_2 = 3599,1040$$

$$\bar{\mu}_3 = 5906,316$$

$$\bar{\mu}_4 = 3631,18.$$

Повѣрка: $\Sigma\bar{\mu}=14384$ т. см. Должно же быть $\frac{\mathfrak{M}_4}{2}=14400$.

*Примѣчаніе II.*—Чѣмъ меньше $k$, тѣмъ быстрѣе растетъ ошибка вычисленій $\bar{\mu}$, тѣмъ съ большимъ числомъ знаковъ надо брать $\bar{\mu}_1$.

Истинныя величины $\mu$ (по форм. 89):

$$\mu_r=\frac{200}{500}\bar{\mu}_r=0{,}4\bar{\mu}_r.$$

| | | | Неточность прибл. способа. |
|---|---|---|---|
| $\mu_1=489{,}2$ | т. см. | (611) ..... | + 22% |
| $\mu_2=1440$ | » | (1429) ..... | — 1 » |
| $\mu_3=2362$ | » | (2177) ..... | — 8 » |
| $\mu_4=1452$ | » | (1530) ..... | + 5 » |

Числа въ скобкахъ суть соотвѣтственные результаты для безконсольной опоры, полученные по примѣняемому нынѣ способу, т. е. когда, разсчитавъ моменты для безконсольной опоры *на концахъ* стержней, опредѣляютъ ихъ для точекъ примыканія къ консолямъ, находящимся въ разстояніи $a$ или $c$ отъ концовъ.

Неточность разсчета по такому способу достигаетъ 22%.

Фиктивные $\overline{M}'_r$ по формулѣ (97):

$$\overline{M}'_1=\bar{\mu}_1-\frac{\mathfrak{M}_2}{2}=-1152 \text{ т. см.}$$

$$\overline{M}'_2=\bar{\mu}_1+\bar{\mu}_2-\frac{\mathfrak{M}_3}{2}=-2353 \text{ т. см.}$$

$$\overline{M}'_3=\bar{\mu}_1+\bar{\mu}_2+\bar{\mu}_3-\frac{\mathfrak{M}_4}{2}=-3647 \text{ т. см.}$$

Истинныя $M'_r$ по формулѣ (90):

$$M'_1=\overline{M}'_1+\frac{Q_1a}{2}=-1152+\frac{6.200}{2}=-552 \text{ т. см. } (-273);$$

неточность — 50%

$M'_2=-1153$ т. см. (—901); неточность — 22%

$M'_3=-1847$ т. см. (—2059); неточность + 10%.

Здѣсь неточность достигаетъ уже 50% и не въ запасъ прочности.

Моменты $\overline{M}''_r$ по формулѣ (99):

$$\overline{M}''_1 = -\bar{\mu}_1 + \frac{\mathfrak{M}_1}{2} = -\bar{\mu}_1 = -1248 \text{ т. см.}$$

$$\overline{M}''_2 = -(\bar{\mu}_1 + \bar{\mu}_2) + \frac{\mathfrak{M}_2}{2} = -2447 \text{ т. см.}$$

$$\overline{M}''_3 = -\sum_1^3 \bar{\mu} + \frac{\mathfrak{M}_3}{2} = -3553 \text{ т. см.}$$

Истинныя $M''_r$ будутъ:

$$M''_1 = -1248 + \frac{Q_1 a}{2} = -648 \text{ т. см. } (-927); \text{ неточность } +43\%$$

$$M''_2 = -1247 \text{ т. см. } (-1499); \text{ неточность } +20\%$$

$$M''_3 = -1753 \text{ т. см. } (-1542); \text{ неточность } -12\%$$

Усилія въ панеляхъ стоекъ:

$$U_1 = \frac{2}{200}\mu_1 = 4{,}99 \text{ т. } (6{,}108)$$

$$U_2 = 19{,}30 \text{ т. } (20{,}396)$$

$$U_3 = 43{,}01 \text{ т. } (42{,}17).$$

Изъ приведеннаго примѣра слѣдуетъ, что по существующему способу разсчета результаты получаются довольно далекими отъ истины. Консоли необходимо вводить въ разсчетъ, тѣмъ болѣе, что, по изложенному выше, это не представляетъ никакихъ затрудненій.

*29. Опредѣленіе прогиба опоры въ различныхъ узлахъ.*—Если найдемъ перемѣщеніе узла ($n$—1)-го относительно $n$-аго, затѣмъ ($n$—2)-го узла относительно ($n$—1)-го и т. д., наконецъ узла 1-го относительно 2-го, то будемъ имѣть элементы, простымъ сложеніемъ которыхъ въ соотвѣтственномъ числѣ ихъ, получимъ прогибъ любого узла.

Выразимъ перемѣщеніе $r$-аго узла относительно ($r$+1)-го въ моментахъ на концахъ стержней.

Для этого достаточно переписать въ нашихъ теперешнихъ обозначеніяхъ формулу для $\xi$ изъ параграфа 24:

$$\xi_r = \frac{b^2 H_r \mu_{r+1}}{6EBJ'_{r+1}} + \frac{l_r}{6EJ_r}[M''_r(H_r+a) - M'_r(2H_r-a)] \ldots . \quad (102)$$

Для случая $J_c - J_v - H - l$:

$$\xi_r = \frac{b^2 H \mu_{r+1}}{6EBJ_v} + \frac{l}{6EJ_c}[M''_r(H+a) - M'_r(2H-a)] \ \ldots\ldots \quad (102')$$

Примѣнимъ эту формулу для подсчета работы внѣшнихъ силъ въ предыдущемъ численномъ примѣрѣ, полагая $6E=1$.

$$\xi_1 = \frac{200^2.800}{500.60000} \cdot 1440 + \frac{400}{92000}(-648.1000 + 552.1400) = 2078{,}6$$

$$\xi_2 = 4115{,}9$$

$$\xi_3 = 5169{,}6$$

Работа внѣшнихъ силъ равна

$$W_0 = \frac{6}{2}(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) + \frac{6}{2}(\xi_2 + \xi_3) + \frac{6}{2}\xi_3 = 3(\xi_1 + 2\xi_2 + 3\xi_3) = 77457 \text{ т. см.}$$

Работа внутреннихъ силъ, пренебрегая работою нормальныхъ (осевыхъ) силъ, по формулѣ (3) при $6E=1$:

въ распоркахъ:

$$\frac{b}{J_v}(\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2 + \mu_4^2) =$$

$$= \frac{200}{60000}(499^2 + 1440^2 + 2362^2 + 1452^2) = 33366{,}5 \text{ т. см.}$$

въ стойкахъ:

$$2 \cdot \frac{400}{92000}(552^2 + 648^2 - 552.648 + 1153^2 + 1247^2 -$$

$$-1153.1247 + 1847^2 + 1753^2 - 1847.1753) = 44000.$$

Работа внутре[illegible]ихъ силъ:

$$W[illegible]33366{,}5 + 44000 = 77366 \text{ т. см.}$$

Несходимость р[illegible]

*30. Предварительный разсчетъ.*—При раціональномъ проектированіи не слѣдуетъ дѣлать сѣченія распорокъ и стоекъ одинаковыми. Для точнаго же разсчета необходимо задаться сѣченіями. Предварительный подборъ сѣченій можно достаточно близко произвести на основаніи приблизительнаго подсчета въ предположеніи, что $J_c = J_v$, т. е. беремъ $k$ по формулѣ

$$k = \frac{b^3}{3B^2 l},$$

а остальное остается по изложенному въ параграфѣ 28 (на примѣрѣ). Подобравъ сѣченія по результатамъ подсчета, дѣлаемъ точный разсчетъ по пар. 27 или 26.

## ГЛАВА III.

## Теорія и разсчетъ безраскосныхъ фермъ съ параллельными поясами.

*31. Предварительныя соображенія.* — Разсмотрѣнію подлежатъ здѣсь только фермы съ консольными вставками въ углахъ, образованными какъ закругленіями угловъ, такъ и размѣрами стоекъ и поясовъ.

Возьмемъ ферму въ двѣ панели (фиг. 35) съ нагрузкою въ верхнихъ и нижнихъ узлахъ. Пусть реакціи опоръ будутъ $R$ и $R_1$; приложивъ ихъ, отбросимъ опорныя устройства; получимъ ферму, находящуюся въ равновѣсіи подъ дѣйствіемъ опредѣленныхъ силъ; равновѣсіе не нарушится, если повернемъ ее на $90^0$ по часовой стрѣлкѣ въ плоскости чертежа (фиг. 36). Къ фермѣ можемъ приставить теперь опорныя приспособленія, какъ показано на фиг. 36, и разсматривать ее какъ безраскосную *опору*, теорія которой выяснена во II главѣ. Отличительная черта настоящаго случая заключается въ томъ, что внѣшнія силы (считая и реакціи) задаются такъ, что нѣтъ вертикальныхъ реакцій (по фиг. 36), но это отличіе никакой существенной разницы въ теорію не вноситъ.

Итакъ, *теорія безраскосныхъ опоръ и способы разсчета ихъ цѣликомъ примѣнимы къ балочнымъ фермамъ.*

Переходя отъ фигуры 36 (верхній поясъ справа) обратно къ фигурѣ 35 и отъ теоріи безраскосныхъ опоръ къ теоріи фермъ, *необходимо принять*, чтобы удержать знаки изъ теоріи опоръ, что *внѣшнія силы*, дѣйствующія *внизъ* (въ теоріи опоръ влѣво)—*отрицательны*, а дѣйствующія *вверхъ* (реакціи)—*положительны*. При этомъ условіи моментъ внѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ на лѣвую часть,

при положительныхъ силахъ будетъ положительнымъ, при отрицательныхъ—отрицательнымъ.

Правила знаковъ относительно силъ пружинности и моментовъ остаются безъ измѣненія (пар. 1).

Примемъ слѣдующія обозначенія:

Разсчетный пролетъ фермы ..... $L$
Длина панели (если всѣ одинаковы) ..... $d$
Свободная длина панелей (внѣ консолей)..... $l$
Высота фермы (теоретическая) ..... $h$
Свободная длина стоекъ ..... $h_0$
Вертикальный и горизонтальный катеты консолей ... $c$ и $a$
Моменты инерціи поясовъ (вверху и внизу въ каждой панели одинаковаго сѣченія). $J_1, J_2, J_3 \ldots J_n$
Моменты инерціи стоекъ ..... $J'_1, J'_2, \ldots J'_{n+1}$
Номера теоретическихъ узловъ..... $1, 2, \ldots n+1$
Моменты на концахъ стоекъ ..... $\mu_1, \mu_2, \ldots \mu_{n+1}$
Моменты на концахъ стержней поясовъ:
слѣва..... $M''_1, M''_2, \ldots M''_n$
справа ..... $M'_1, M'_2, \ldots M'_n$
Фиктивные моменты—$\bar{\mu}$ и $\bar{M}$:
Нагрузка нижнихъ узловъ ..... $P_1, P_2, \ldots P_{n+1}$
Нагрузка верхнихъ узловъ..... $P'_1, P'_2, \ldots P'_{n+1}$
Перерѣзывающая сила для $r$-ой панели ..... $Q_r$
Моментъ относительно $r$-аго теоретическаго узла внѣшнихъ силъ, лежащихъ слѣва..... $\mathfrak{M}_r$
Такой же моментъ относительно средины $r$-ой панели—$\mathsf{M}_r$

Фермы устраиваются обыкновенно симметричными относительно средины. Нагрузка фермъ можетъ быть симметричной или несимметричной, равномѣрной или неравномѣрной. Но всегда нагрузку предполагаемъ узловою. Если случится въ дѣйствительности, что нагрузка будетъ приложена между узлами на поясахъ, то вводится повѣрка на «мѣстный изгибъ».

*32. Примѣненіе способа Andruzzi.*—При несимметричной нагрузкѣ способъ Andruzzi примѣняется совершенно въ такомъ же порядкѣ, какъ въ консольныхъ опорахъ (параграфъ 26). По формуламъ (95), получающимъ теперь видъ

$$k_r = \frac{h_0^3 J_r}{3h^2 l J'_r}; \qquad \sigma_r = \frac{J'_r}{J'_{r+1}}$$

вычисляемъ величины $k_1, k_2, \ldots k_n$; $\sigma_1, \sigma_2, \ldots \sigma_n$.

Затѣмъ находимъ фиктивные $\bar{\mu}$, рѣшая уравненія, составленныя изъ общаго уравненія

$$\bar{\mu}_{r+1}=\frac{\bar{\mu}_r}{\sigma_r}+\frac{2}{\sigma_r k_r}\sum_1^r \bar{\mu}-\frac{M_r}{k_r\sigma_r} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (103)$$

и

$$\sum_1^{n+1}\bar{\mu}=\frac{\mathfrak{M}_{n+1}}{2}=0, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (104)$$

ибо моментъ внѣшнихъ силъ относительно правой опоры равенъ нулю.

Истинные

$$\mu_r=\frac{h_0}{h}\bar{\mu}_r \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (105)$$

Усилія въ верхнемъ и нижнемъ поясахъ одной и той же панели равны между собою, но обратны по знаку; они находятся по формулѣ (изъ 97):

$$U_r=\frac{2}{h_0}\sum_1^r \mu \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (106)$$

Усилія въ стойкахъ опредѣляются формулой (87):

$$V_r=\frac{P'_r-P_r}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (87)$$

не исключая и опорныхъ стоекъ, для которыхъ нагрузка нижняго узла будетъ $-R+P_1$; слѣдовательно

$$V_1=\frac{P'_1+R-P_1}{2}.$$

Такъ какъ $P_1$ и $P'_1$ всегда положительны, а $R$ всегда отрицательно и по величинѣ больше $(P_1-P'_1)$, то $V_1$ всегда положительное, т. е. дѣйствуетъ внизъ; будучи при этомъ отнесено къ нижнему концу стойки, оно является *сжатіемъ*.

Что же касается промежуточныхъ стоекъ, то при нагрузкѣ только верхнихъ узловъ ($P_r=0$), онѣ также *сжаты*; при нагрузкѣ же только нижнихъ узловъ ($P'_r=0$) онѣ *растянуты*. При загруженіи $P_r=P'_r$—усилія въ этихъ стойкахъ равны нулю.

Моменты $M'_r$, исходя изъ формулы (98) и слѣдующей, даются формулой:

$$M'_r = \sum_1^r \bar{\mu} - \frac{\mathfrak{M}_{r+1}}{2} + \frac{Q_r a}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (107)$$

Точно также по формулѣ (99) и слѣдующей:

$$M''_r = -\sum_1^r \bar{\mu} + \frac{\mathfrak{M}_r}{2} + \frac{Q_r a}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (108)$$

При *симметричной* нагрузкѣ неизвѣстныя величины $\bar{\mu}$ располагаются на стойкахъ также симметрично относительно средины, т. е. на симметрично расположенныхъ стойкахъ $\bar{\mu}$ будутъ *равны по величинѣ* и *обратны по знаку*. Въ суммѣ уравненія (104) онѣ будутъ взаимно уничтожаться.

При *четномъ* числѣ панелей $2s$, число стоекъ будетъ нечетное; послѣ попарнаго сокращенія симметричныхъ $\bar{\mu}$ останется одно $\bar{\mu}_{s+1}$ для средней стойки, при чемъ:

$$\bar{\mu}_{s+1} = \frac{\bar{\mu}_s}{\sigma_s} + \frac{2}{k_s \sigma_s} \sum_1^s \bar{\mu} - \frac{\mathsf{M}_s}{\sigma_s k_s} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (109)$$

Это уравненіе и надо употребить въ такомъ случаѣ вмѣсто уравненія (104).

При *нечетномъ* числѣ панелей $2s+1$, число стоекъ четное; слагаемыя суммы $\bar{\mu}$ уравненія (104) всѣ попарно уничтожаются, а уравненіе обращается въ тождество. Но его можетъ замѣнить условіе равенства $\bar{\mu}$ (съ противоположными знаками) для симметрично расположенныхъ стоекъ. Короче всего это равенство на основаніи формулы (103) получается для двухъ среднихъ стоекъ, т. е.

$$\bar{\mu}_{s+1} + \bar{\mu}_{s+2} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (110)$$

*33. Способъ расчлененія.*—При *несимметричной* нагрузкѣ этотъ способъ примѣняется полностью въ такомъ порядкѣ, какъ изложено въ параграфѣ 27, измѣнивъ обозначенія на принятыя въ этой главѣ.

При *симметричной* нагрузкѣ приходится и здѣсь различать два случая.

Число панелей *нечетное*. Возьмемъ $r$-ую среднюю панель (фиг. 37). Имѣемъ:

$$\bar{\mu}_r = -\bar{\mu}_{r+1}$$

$$\overline{M}'_{r-1} = -\overline{M}''_{r+1}.$$

Но

$$\overline{M}'_r + \overline{M}''_{r+1} + \bar{\mu}_{r+1} = 0.$$

Слѣдовательно:

$$\overline{M}'_{r-1} = \overline{M}'_r + \bar{\mu}_{r+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (111)$$

По уравненію (91):

$$\bar{\mu}_r = -\bar{\mu}_{r+1} = \frac{Q_r d}{2(2+k_r)} - \frac{2}{2+k_r}\overline{M}'_{r-1} + \frac{k_r\sigma_r}{2+k_r}\bar{\mu}_{r+1}.$$

Отсюда, принимая во вниманіе (111),

$$\bar{\mu}_{r+1} = -\frac{Q_r d}{2k_r(1+\sigma_r)} + \frac{2\overline{M}'_r}{k_r(1+\sigma_r)}.$$

Но съ другой стороны, по параграфу 20

$$\bar{\mu}_{r+1} = C_{r+1} - A_{r+1}M'_r.$$

Изъ этихъ двухъ уравненій находимъ, замѣчая что $Q_r = 0$

$$\bar{\mu}_{r+1} = \frac{2C_{r+1}}{2+k_r(1+\sigma_r)A_{r+1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (112)$$

и

$$\overline{M}'_r = \frac{C_{r+1} - \bar{\mu}_{r+1}}{A_{r+1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (113)$$

Если число панелей *четное*, то разсматривая среднія панели, имѣемъ (фиг. 38) $\bar{\mu}_r = 0$; слѣдовательно изъ (91)

$$\frac{Q_r d}{2} - 2\overline{M}'_{r-1} + k_r\sigma_r\bar{\mu}_{r+1} = 0.$$

откуда

$$\overline{M}'_{r-1} = \frac{Q_r d}{4} + \frac{k_r\sigma_r}{2}\bar{\mu}_{r+1}.$$

По формулѣ (92), имѣя въ виду только что написанное равенство, получимъ:

$$\overline{M}'_r = -\frac{Q_r d}{4} + \frac{k_r\sigma_r}{2}\bar{\mu}_{r+1}.$$

Выраженіе (113) справедливо и въ данномъ случаѣ, а потому изъ предыдущаго получаемъ:

$$\bar{\mu}_{r+1}=\frac{4C_{r+1}+Q_r dA_{r+1}}{2(2+k_r\sigma_r A_{r+1})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (114)$$

Дальше въ обоихъ случаяхъ поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Имѣя $\bar{\mu}_{r+1}$ по формулѣ (112) или (114) и $\overline{M'}_r$ по формулѣ (113) и вспоминая формулу (68) изъ параграфа 18:

$$\overline{M'}_r=\sum_1^r\bar{\mu}-\frac{\mathfrak{M}_{r+1}}{2}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (115)$$

можно вычислить величину $\sum_1^r\bar{\mu}$, не вычисляя отдѣльныхъ $\bar{\mu}$.

Прибавивъ сюда $\bar{\mu}_{r+1}$, будемъ имѣть $\sum_1^{r+1}\bar{\mu}$, послѣ чего примѣняемъ формулу (103) для вычисленія $\bar{\mu}_{r+2}$, $\bar{\mu}_{r+3}$ и т. д.

Опредѣливъ $\bar{\mu}$, поступаемъ, затѣмъ, какъ указано въ предыдущемъ параграфѣ относительно формулъ (105)—(108). Такимъ образомъ будутъ опредѣлены моменты для правой половины фермы.

Повѣркой вычисленій можетъ служить подсчетъ равенства (115) по суммѣ найденныхъ $\bar{\mu}$.

*34. Численный примѣръ.* — Возьмемъ (фиг. 39) безраскосную ферму, разсчетный пролетъ которой 22,5 м. Теоретическая высота $h$=2,5 м. Ферма состоитъ изъ 9 панелей; длина каждой $l$=2,5 м. Катеты консольныхъ треугольниковъ $a=c$=0,75 м. Такимъ образомъ $h_0=l$=1 м. Нагрузка приложена къ верхнимъ угламъ равномѣрно: по 0,5 т. на крайніе узлы и по 1 т. на каждый изъ промежуточныхъ.

$$k=\frac{h_0{}^3}{3h^2l}=\frac{4}{75}=0{,}053333; \quad \sigma=1$$

$$\frac{2+k}{k}=38{,}500001.$$

$R = +4{,}5$

| | | |
|---|---|---|
| $Q_1 = +4 = -Q_9$ | $\mathfrak{M}_2 = +1000$ | $M_6 = +2375$ |
| $Q_2 = +3 = -Q_8$ | $\mathfrak{M}_3 = +1750$ | $M_7 = +2000$ |
| $Q_3 = +2 = -Q_7$ | $\mathfrak{M}_4 = +2250$ | $M_8 = +1375$ |
| $Q_4 = +1 = -Q_6$ | $\mathfrak{M}_5 = +2500$ | $M_9 = +\ 500$ |
| $Q_5 = \ \ 0$ | $\mathfrak{M}_6 = +2500$ | |

На основаніи примѣчанія I къ параграфу 28 имѣемъ:

$$A_9 = A_8 = A_7 = A_6 = \frac{2+k}{2(1+k)} = 0{,}97464$$

$$C_9 = \frac{Q_9 d}{4} = -\frac{4.250}{4} = -250$$

$$C_8 = \frac{Q_8 d}{2(2+k)} + \frac{C_9 + \frac{1}{4} Q_8 d}{\frac{2+k}{k} + A_9} = -139{,}71$$

$$C_7 = -129{,}83; \qquad C_6 = -65{,}7488.$$

По формуламъ (112) и (113) получаемъ:

$$\bar{\mu}_6 = (-\bar{\mu}_5) = \frac{C_6}{1 + kA_6} = \frac{-65{,}7488}{1 + 0{,}05333 . 0{,}97464} = -63{,}4999$$

$$\overline{M'}_5 = \frac{C_6 - \bar{\mu}_6}{A_6} = -3{,}3333.$$

По формулѣ (115) имѣемъ затѣмъ:

$$\sum_1^5 \bar{\mu} = \overline{M'}_5 + \frac{\mathfrak{M}_6}{2} = 1246{,}6667$$

$$\sum_1^6 \bar{\mu} = 1246{,}6667 - 62{,}4999 = 1184{,}1668$$

а по формулѣ (103)

$$\bar{\mu}_7 = \bar{\mu}_6 + \frac{2}{k} \sum_1^6 \bar{\mu} - \frac{M_6}{k} = -187{,}4950$$

$$\bar{\mu}_8 = -187{,}495 + \frac{1993{,}3436 - 200}{0{,}053333} = -312{,}3025$$

$$\bar{\mu}_9 = -429{,}705$$

$$\bar{\mu}_{10} = -254{,}80.$$

Повѣрка: $\sum_{6}^{10}\bar{\mu}=-\sum_{1}^{5}\bar{\mu}=-1246{,}80$ должно быть 1246,67.

Затѣмъ имѣемъ:

$$\mu_{10}=\frac{h_0}{h}\bar{\mu}_{10}=0{,}4\bar{\mu}_{10}=-101{,}92 \qquad \mu_1=+101{,}92$$

$$\mu_9=-171{,}88 \qquad \mu_2=+171{,}88$$

$$\mu_8=-124{,}92 \qquad \mu_3=+124{,}92$$

$$\mu_7=-75 \qquad \mu_4=+75$$

$$\mu_6=-25 \qquad \mu_5=+25$$

Для опредѣленія $M'_r$ вмѣсто формулы (107) можемъ воспользоваться формулой (67), зная $\overline{M}'_5$:

$$\overline{M}'_{r-1}=\overline{M}'_r+\frac{Q_r d}{2}-\bar{\mu}_r$$

$$\overline{M}'_4=\overline{M}'_5+\frac{Q_5 d}{2}-\bar{\mu}_5=-65{,}83$$

$$\overline{M}'_3=-128{,}33$$

$$\overline{M}'_2=-190{,}63$$

$$\overline{M}'_1=-245{,}33$$

Послѣ этого по формулѣ (90):

$$M'_r=\overline{M}'_r+\frac{Q_r a}{2}$$

и по формуламъ

$$\overline{M}''_r=-\overline{M}'_{r-1}-\bar{\mu}_r$$

$$M''_r=\overline{M}''_r+\frac{Q_r a}{2},$$

находимъ:

$$M'_1=-95{,}33 \qquad M''_1=-104{,}80$$

$$M'_2=-78{,}10 \qquad M''_2=-71{,}17$$

$$M'_3=-53{,}33 \qquad M''_3=-46{,}67$$

$$M'_4=-28{,}33 \qquad M''_4=-21{,}67$$

$$M'_5=-3{,}33 \qquad M''_5=+3{,}33$$

Усилія въ панеляхъ поясовъ по (106):

$$U_1 = \frac{2}{h_0}\mu_1 = 0{,}02\mu_1 = 2{,}0384$$

$$U_2 = 0{,}02(\mu_1 + \mu_2) = 5{,}476$$

$$U_3 = 7{,}974;\ U_4 = 9{,}474;\ U_5 = 9{,}974$$

Усилія въ стойкахъ по (87) будутъ:

$$V_1 = \frac{-0{,}5 - 4{,}5}{2} = -2{,}5 \text{ т.}$$

$$V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = -0{,}5 \text{ т.}$$

*35. Вліяніе длины панелей.*—Ту же ферму разобьемъ теперь на 6 панелей, длиною 3,75 м. Нагрузка узловъ такая же, т.-е. по 0,5 т. на крайніе узлы и по 1 т. на промежуточные. Размѣры консолей тѣ же.

$$k = \frac{100^3}{3.250^3.225} = 0{,}023704$$

$$R = +3$$

| | |
|---|---|
| $Q_1 = +2{,}5 = -Q_6$ | $\mathfrak{M}_5 = +1500$ |
| $Q_2 = +1{,}5 = -Q_5$ | $M_5 = 1218{,}75$ |
| $Q_3 = +0{,}5 = -Q_4$ | $M_6 = 468{,}75$ |

Для опредѣленія $\bar{\mu}_5$ по формулѣ (114) надо имѣть $A_5$ и $C_5$. На основаніи примѣчанія I, пар. 28 имѣемъ:

$$A_6 = A_5 = \frac{2+k}{2(1+k)} = 0{,}988424$$

$$C_5 = -143{,}3196$$

$$\bar{\mu}_5 = \frac{Q_4 d A_5 + 4C_5}{2(2+kA_5)} = -187{,}4564.$$

$$\overline{M'}_4 = 44{,}6537$$

$$\sum_1^4 \bar{\mu} = +794{,}6537$$

$$\sum_1^5 \bar{\mu} = +607{,}1973$$

$$\bar{\mu}_6 = -371{,}1975$$

$\bar{\mu}_7 = -234{,}09$

$\sum_1^4 \bar{\mu} = -\sum_5^7 \bar{\mu} = 792{,}75$ должно быть 794,65

$\mu_7 = 0{,}4\bar{\mu}_7 = -93{,}6$ $\qquad$ $\mu_1 = +93{,}6$

$\mu_6 = -148{,}5$ $\qquad$ $\mu_2 = +148{,}5$

$\mu_5 = -75$ $\qquad$ $\mu_3 = +75$

$\mu_4 = 0.$

Затѣмъ найдемъ:

$M'_4 = +25{,}99$ $\qquad$ $M''_3 = -25{,}9$ $\qquad$ $U_1 = 1{,}87$

$M'_3 = -30{,}35$ $\qquad$ $M''_2 = -83{,}25$ $\qquad$ $U_2 = 4{,}84$

$M'_2 = -86{,}55$ $\qquad$ $M''_1 = -140{,}3$ $\qquad$ $U_3 = 6{,}34$

$M'_1 = -138{,}0$ $\qquad$ $V_1 = -1{,}75;$ $\quad V_2 = V_3 = V_4 = -0{,}5.$

Для сравненія результатовъ этого случая и предыдущаго и для выясненія вліянія увеличенія панелей, необходимо привести усилія и моменты къ одинаковой нагрузкѣ. Возьмемъ въ обоихъ случаяхъ нагрузку въ 1 т. на пог. метръ фермы. Тогда результаты разсчетовъ при 9 панеляхъ надо помножить на 2,50, а при 6 панеляхъ— на 3,75. Получимъ:

| 9 панелей. | | 6 панелей. |
|---|---|---|
| $\mu_1 = +254{,}8$ | ..... | $+351{,}0$ |
| $\mu_2 = +429{,}7$ | ..... | $+556{,}8$ |
| $\mu_3 = +312{,}3$ | ..... | $+281{,}3$ |
| $\mu_4 = +187{,}5$ | ..... | 0 |
| $\mu_5 = +62{,}5$ | | |
| $M'_1 = -238{,}3$ | ..... | $-517{,}50$ |
| $M'_2 = -195{,}3$ | ..... | $-324{,}6$ |
| $M'_3 = -133{,}3$ | ..... | $-113{,}8$ |
| $M'_4 = -70{,}8$ | | |
| $M'_5 = -8{,}3$ | | |
| $U_1 = 5{,}07$ | ..... | 7,01 |
| $U_2 = 13{,}70$ | ..... | 18,15 |
| $U_3 = 19{,}92$ | ..... | 23,8 |
| $U_4 = 23{,}67$ | | |
| $U_5 = 24{,}92$ | | |

Изъ сравненія цифръ можемъ заключить, что *пояса* на нормальныя усилія работаютъ почти одинаково. На изгибъ же работа поясовъ замѣтно возрастаетъ.

Что касается стоекъ, то работа ихъ на нормальныя усилія, кромѣ крайнихъ, незначительна. На изгибъ же работа ихъ возрастаетъ съ увеличеніемъ панели.

Принимая во вниманіе, что работа поясовъ на нормальныя усилія сильно падаетъ къ концу фермъ, гдѣ, напротивъ, моменты проявляются въ наибольшей степени, можно полагать, что увеличеніе длины панели, сокращающее количество солидныхъ по конструкціи стоекъ и распредѣляющее матеріалъ пояса равномѣрнѣе, до извѣстныхъ предѣловъ должно быть выгодно.

Съ другой стороны, съ увеличеніемъ панели возрастаетъ прогибъ фермъ, а потому можно думать, что существуетъ наивыгоднѣйшая длина панели для каждаго пролета, но величина ея можетъ быть, повидимому, опредѣлена только практикой проектированія по сравненію вѣсовъ фермъ при различныхъ данныхъ.

*36. Вліяніе величины консолей.* — Въ фермѣ предыдущаго параграфа оставимъ горизонтальныя стороны консольныхъ треугольниковъ безъ измѣненія ($a$=75 см.), а катетъ $c$ увеличимъ до 1,25 м., т.-е. доведемъ свободную длину стоекъ до нуля.

Неизмѣняемые треугольники $abc$ (фиг. 40) не могутъ имѣть относительно другъ друга такого перемѣщенія, чтобы стороны $bc$ при этомъ не теряли параллельности, что требуется теоріей жесткихъ прямоугольниковъ. Когда свободная длина стоекъ не равна нулю, такое перемѣщеніе возможно, благодаря изгибу стойки. Здѣсь же точки $a$ не могутъ разойтись, ибо онѣ непосредственно примыкаютъ другъ къ другу неизмѣняемымъ образомъ. Это приводитъ каждую панель къ виду прямоугольника, у котораго стойки задѣланы неизмѣняемо. По параграфу 4 (фиг. 8) всѣ моменты на концахъ такихъ двухъ стоекъ равны между собою и равны $-\frac{Ql}{4}$. Стойки, кромѣ того, передаютъ силы пружинности на свои опорныя точки по общимъ правиламъ. Слѣдовательно, въ примѣненіи къ нашей фермѣ:

$$M'_r = M''_r = -\frac{Q_r l}{4},$$

гдѣ $Q_r$—поперечная сила для $r$-ой панели. Такимъ образомъ, въ настоящемъ случаѣ разсчетъ крайне упрощается. Такъ какъ $h_0=0$,

то всѣ $\mu$ равны нулю и въ срединахъ стоекъ можно поставить шарниры.

Имѣемъ:

$$M''_1 = M'_1 = -\frac{Q_1 l}{4} = -140{,}625 \ (-138)$$

$$M''_2 = M'_2 = -84{,}375 \ (-86)$$

$$M''_3 = M'_3 = -28{,}1 \ (-30).$$

Въ скобкахъ стоятъ величины, опредѣленныя въ параграфѣ 35. Отъ уменьшенія свободной высоты стоекъ до нуля, моменты изгиба поясовъ почти не измѣняютъ своей величины.

Для опредѣленія усилій въ поясахъ выдѣлимъ опорную консоль первой панели (фиг. 41). Къ ней будутъ приложены: реакція опоры $R$, усиліе въ стойкѣ $V_1$, усиліе въ поясѣ $U_1$, нѣкоторая поперечная сила $p_1$ стойки, сила пружинности пояса $q''_1$ и моментъ $(-M''_1)$. Беря моментъ дѣйствующихъ силъ относительно опорной точки, имѣемъ:

$$-M''_1 + \frac{ph}{2} - q''_1 a = 0, \text{ гдѣ } q''_1 = \frac{2M''_1}{l},$$

откуда

$$p_1 = \frac{2M''_1}{h} + \frac{4M''_1 a}{lh} = \frac{2M'_1}{h}\left(1 + \frac{2a}{l}\right) = \frac{2M'_1 d}{hl}.$$

Затѣмъ

$$U_1 = -p_1.$$

По фигурѣ 41*b*:

$$-M'_1 - M''_2 + \frac{p_2 h}{2} - q''_1 a - q''_2 a = 0$$

Но

$$q''_2 = \frac{2M''_2}{l},$$

послѣ чего

$$p_2 = \frac{2d(M'_1 + M'_2)}{hl}.$$

Кромѣ того:

$$U_2 = +U_1 - p_2 = -p_1 - p_2 = -(p_1 + p_2).$$

Точно также

$$U_3 = +U_2 - p_3 = -(p_1 + p_2 + p_3),$$

а сила

$$p_3 = \frac{2d}{hl}(M'_2 + M'_3).$$

Вообще:

$$\left.\begin{aligned} p_r &= \frac{2d}{hl}(M'_{r-1} + M'_r) \\ U_r &= -\sum_1^r p \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (116)$$

По этимъ формуламъ имѣемъ:

$$p_1 = -\frac{140{,}63 . 2 . 375}{250 . 225} = -2{,}08 \qquad U_1 = +2{,}08 \ (1{,}87)$$

$$p_2 = -3{,}01 \qquad U_2 = +5{,}09 \ (4{,}84)$$

$$p_3 = -1{,}50 \qquad U_3 = +6{,}59 \ (6{,}34).$$

Знакъ плюсъ при $U$ означаетъ дѣйствіе *вправо* отъ передняго узла, т.-е. растяженіе (для нижняго пояса).

Такимъ образомъ, увеличеніе размѣровъ консолей по стойкѣ до половины высоты фермы увеличиваетъ нѣсколько усилія въ поясахъ, уменьшаетъ моменты $\mu$ до нуля, допускаетъ устройство шарнировъ въ срединѣ стойки.

Вообще же изъ теоріи консольныхъ опоръ видно, что чѣмъ больше консоли, тѣмъ моменты изгиба частей меньше. Такъ какъ при этомъ, облегчая пояса и стойки тратимъ больше матеріала на консоли, то примѣненіе консолей также, повидимому, имѣетъ предѣлы и выясненіе наивыгоднѣйшей комбинаціи возможно только сравненіемъ проектовъ при различныхъ конструктивныхъ предположеніяхъ.

Но по конструктивнымъ условіямъ всякая безраскосная ферма имѣетъ консоли, а потому, во всякомъ случаѣ, ихъ надо учесть.

Крайнимъ случаемъ развитія величины консолей является ферма, представленная на фиг. 42.

Для выясненія разсчета ея возьмемъ раму (фиг. 43), у которой свободная длина распорокъ, т.-е. $l_2$ и $l_4$ равны нулю. Тогда изъ формулы (43) *) получимъ:

$$p = -\frac{(P_2 + P_3)(2a_2 + l_1)}{2B} = -\frac{Q(2a_2 + l_1)}{2B}.$$

---

*) Просимъ исправить опечатку: въ числителѣ стоитъ $2a_2 + b_1$; надо $2a_2 + l_1$.

Когда высота консольныхъ листовъ одинаковая, $2a_2+l_1=H$, высотѣ рамы; тогда

$$p=-\frac{QH}{2B}.$$

Эта формула остается безъ измѣненія и для случая, изображеннаго на фигурѣ 44, когда $a_2=\frac{H}{2}$.

По формуламъ (44) имѣемъ:

$$M_3=M_4=-\frac{pl_2}{2}=0,$$

$$M_2=M_5=-M_1=-M_6=\frac{Qa_2+Bp}{2}=0,$$

т.-е. моменты въ точкахъ примыканія консольныхъ треугольниковъ фигуры 44 равны нулю.

Въ случаѣ приложенія силъ $P$ къ рамѣ по фигурѣ 43 силы пружинности стоекъ равны, какъ видѣли, для каждой стойки половинѣ поперечной силы $Q$, дѣйствующей на всю раму. Сила пружинности равна, съ другой стороны по абсолютной величинѣ поперечной силѣ стойки, слѣдовательно, поперечная сила рамы распредѣляется поравну на поперечныя силы стоекъ рамы. При уменьшеніи постепенно $l_1$ до нуля законъ распредѣленія будетъ оставаться безъ измѣненія. А потому, въ случаѣ рамы по фиг. 44 будемъ имѣть въ каждой изъ точекъ $x$ и $y$ поперечныя силы

$$q=\pm\frac{Q}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (117)$$

гдѣ + для нижней части, минусъ — для верхней.

Возвращаясь къ нашей фермѣ, замѣтимъ, что изъ предыдущей теоріи прямоугольныхъ рамъ и консольныхъ фермъ мы только и можемъ воспользоваться здѣсь этими двумя положеніями: 1) моменты въ точкахъ примыканія консолей равны нулю; 2) поперечная сила фермы въ каждой панели дѣлится поровну на поперечныя силы поясовъ въ каждой панели.

Вслѣдствіе равенства нулю указанныхъ моментовъ треугольники фермы фиг. 42 можно соединить шарнирами.

Дальнѣйшій разсчетъ такой фермы производится на основаніи уравненій статики, пользуясь вторымъ изъ указанныхъ здѣсь положеній.

Возьмемъ два жесткіе треугольника, относящіеся къ теоретическимъ узламъ 1 и 1′ (фиг. 45); изъ равновѣсія нижняго имѣемъ:

$$U_1+p_1=0,$$

откуда усиліе, давящее на шарниръ въ нижнемъ поясѣ,

$$U_1=-p_1=\frac{Qd}{2h}=\frac{M_1}{h}.$$

Въ верхнемъ поясѣ

$$U'_1=-U_1.$$

Возьмемъ слѣдующіе два треугольника (фиг. 46). Уравненіе моментовъ для нижняго треугольника относительно узла 2 даетъ:

$$\frac{p_2h}{2}+\frac{Q_1}{2}\cdot\frac{d}{2}+\frac{Q_2}{2}\cdot\frac{d}{2}=0.$$

$$p_2=-(Q_1+Q_2)\frac{d}{2h}.$$

Затѣмъ

$$U_2=+U_1-p_2=\frac{M_1}{h}+(Q_1+Q_2)\frac{d}{2}\cdot\frac{1}{h}=\frac{M_2}{h}.$$

Вообще же

$$p_r=\frac{d}{2h}\sum_1^r Q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (118)$$

$$U_r=\pm\frac{M_r}{h} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (119)$$

гдѣ $M_r$—моментъ внѣшнихъ силъ относительно сѣченія фермы, проходящаго черезъ поясные шарниры $r$-ой панели (между теоретическими узлами $r$ и $r+1$).

Для верхняго пояса давленіе въ шарнирахъ

$$U'_r=\mp\frac{M_r}{h} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (120)$$

Верхніе знаки относятся къ давленію шарнира на правые треугольники; нижніе—на лѣвые треугольники, соединяемые шарнирами $r$-ой панели.

*37. Новый типъ шарнирной фермы съ параллельными поясами.* — Въ предыдущемъ мы пренебрегали деформаціей стержней на сжатіе и растяженіе. Въ теоріи обыкновенныхъ шарнирныхъ статически опредѣлимыхъ фермъ стержни также представляются неизмѣняемыми. Имѣя въ виду это же допущеніе, жесткіе треугольники фермы фиг. 42 можно замѣнить соединеніемъ трехъ стержней. Получимъ шарнирную ферму, изображенную на фигурѣ 47.

Эта ферма при нагруженіи шарнирныхъ узловъ $a$ является *измѣняемой*, такъ какъ въ ней недостаетъ одного элемента. Въ самомъ дѣлѣ, число стержней въ этомъ случаѣ будетъ $n=24$; число $k=14$. Условіе, по которому опредѣляется отношеніе фермы къ статической опредѣлимости имѣетъ видъ

$$2k-3=25>n=24.$$

*Но если нагрузку приложить только къ среднимъ узламъ* $b$ (на пересѣченіи раскосовъ), *или въ узлахъ* $c$, *то ферма становится неизмѣняемой* при какомъ угодно значеніи внѣшнихъ силъ. Она можетъ быть примѣнена въ практикѣ, такъ какъ неизмѣняемость ея устойчивая.

Въ самомъ дѣлѣ, возьмемъ панель фермы между шарнирными узлами $a$, содержащую внутренній шарниръ $r''$ (фиг. 48). По предыдущему къ треугольникамъ фермы будутъ приложены силы, показанныя на фигурѣ. Каждый изъ треугольниковъ при какихъ угодно $Q_{r-1}$ и $Q_r$ будетъ находиться въ равновѣсіи, принимая во вниманіе и реакціи этихъ треугольниковъ другъ на друга въ шарнирѣ $r''$. Въ этомъ не приходится и убѣждаться, такъ какъ силы $U$ опредѣлены изъ условій равновѣсія. На чертежѣ силы показаны въ направленіи, требуемомъ знаками формулъ (117) — (120) при вертикальной нагрузкѣ, дѣйствующей внизъ.

Обозначимъ *усилія* въ частяхъ верхняго и нижняго поясовъ, находящихся противъ средняго шарнира $r''$ черезъ $S'_r$ и $S_r$; усилія въ раскосахъ черезъ $D_r$ и $D'_r$. Изъ равновѣсія праваго нижняго узла (вырѣзавъ его) имѣемъ:

$$-\frac{Q_r}{2}+D_r \operatorname{Sin}\alpha=0$$

$$D_r=\frac{Q_r}{2\operatorname{Sin}\alpha} \text{ (растяженіе)}$$

$$S_r-\frac{Q_r}{2\operatorname{tg}\alpha}+U_r=0,$$

откуда

$$S_r = \frac{Q_r}{2\,\mathrm{tg}\,\alpha} - \frac{\mathsf{M}_r}{h} = \frac{1}{h}\left(\mathsf{M}_r - \frac{Q_r d}{2}\right) = -\frac{\mathfrak{M}_r}{h},$$

гдѣ $\mathfrak{M}_r$—моментъ внѣшнихъ силъ относительно средняго шарнира $r''$. Знакъ *минусъ* показываетъ, что отъ разсматриваемаго узла сила $S_r$ направлена влѣво, т.-е. нижній поясъ растянутъ.

Очевидно, изъ равновѣсія праваго верхняго узла получимъ:

$$D'_r = \frac{Q_r}{2\,\mathrm{Sin}\,\alpha} \text{ (сжатіе)}$$

$$S''_r = \frac{\mathfrak{M}_r}{h} \text{ (сжатіе).}$$

Изъ разсмотрѣнія лѣвыхъ узловъ получимъ для поясовъ тѣ же величины. Для раскосовъ же

$$N_{r-1} = \frac{Q_{r-1}}{2\,\mathrm{Sin}\,\alpha} \text{ (сжатіе).}$$

$$N'_{r-1} = \frac{Q_{r-1}}{2\,\mathrm{Sin}\,\alpha} \text{ (растяженіе).}$$

Распредѣленіе усилій въ частяхъ панели этой фермы напоминаетъ таковое въ фермѣ полураскосной системы.

Нагрузку на средній шарниръ можно передать либо непосредственно, либо вспомогательными стойками (фиг. 47), либо вспомогательными подвѣсками.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ въ среднемъ шарнирѣ нагрузка $P$ дѣлится поровну на нижній и верхній треугольники, дѣйствуя на первый изъ нихъ сжимающимъ образомъ, на второй—растягивающимъ образомъ. Шарниръ будетъ находиться въ равновѣсіи подъ дѣйствіемъ силъ, показанныхъ на фигурѣ 49.

*38. Инфлюентныя линіи моментовъ и усилій.* — Большой интересъ представляетъ выясненіе характера инфлюентныхъ линій для различныхъ величинъ, опредѣляемыхъ разсчетомъ безраскосныхъ фермъ. Возьмемъ для изслѣдованія 5-панельную ферму, размѣры панелей которой такіе же, какъ и въ фермѣ параграфа 34, откуда и позаимствуемъ нѣкоторыя числа разсчета. Результаты вычисленій отъ нагрузки 1 т., расположенной послѣдовательно въ каждомъ изъ узловъ фермы, приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

## Таблица № 5.

### Ординаты инфлюентныхъ линій.

| Обозначеніе величины. | Нагрузка въ 1 т. находится въ узлѣ: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $\mu_1$ | 0 | +19,86 | +15,36 | +10,25 | + 5,13 | 0 |
| $\mu_2$ | 0 | +14,51 | +29,00 | +19,74 | + 9,88 | 0 |
| $\mu_3$ | 0 | — 9,36 | + 5,00 | +19,34 | + 9,99 | 0 |
| $\mu_4$ | 0 | — 9,99 | —19,34 | — 5,00 | + 9,36 | 0 |
| $\mu_5$ | 0 | — 9,88 | —19,74 | —29,00 | —14,51 | 0 |
| $\mu_6$ | 0 | — 5,13 | —10,25 | —15,36 | —19,86 | 0 |
| $M_1'$ | 0 | —20,36 | —14,09 | — 9,37 | — 4,68 | 0 |
| $M_2'$ | 0 | + 7,41 | —16,60 | —10,03 | — 4,99 | 0 |
| $M_3'$ | 0 | + 5,00 | + 8,39 | —11,69 | — 5,02 | 0 |
| $U_1$ | 0 | + 0,40 | + 0,31 | + 0,21 | + 0,10 | 0 |
| $U_2$ | 0 | + 0,69 | + 0,88 | + 0,60 | + 0,30 | 0 |
| $U_3$ | 0 | + 0,50 | + 0,99 | + 0,99 | + 0,50 | 0 |

По даннымъ этой таблицы инфлюентныя линіи построены для моментовъ $\mu$ и $M'$ на фигурѣ 50.

Изъ разсмотрѣнія этихъ линій замѣчаемъ, что нѣкоторыя стойки и панели поясовъ не претерпѣваютъ перемѣны знака момента, другія же части претерпѣваютъ перемѣну знака,—при движеніи груза отъ одного конца фермы къ другому.

На фигурѣ 51 изображена схематически деформированная ферма при положеніи груза 1 во 2 и въ 3 узлахъ отдѣльно. Не трудно замѣтить здѣсь, что грузъ дѣлитъ ферму на двѣ части: лѣвую и правую съ перекосомъ прямоугольниковъ въ обратныя стороны. Соотвѣтственно смыслу перекоса легко напередъ начертить схему деформаціи фермы; нѣкоторый вопросъ является относительно вида деформаціи той стойки, надъ которой стоитъ грузъ. Но за перегибъ этой стойки въ ту или другую сторону борятся два вліянія: перекосъ лѣвой части и перекосъ правой части. Очевидно верхъ возьметъ та часть, которая сильнѣе деформируется; деформаціи же зависятъ отъ величины деформирующихъ силъ, въ данномъ случаѣ,—реакцій опоръ. На фиг. 51 лѣвая реакція больше и спорная стойка деформируется по виду, какъ элементъ лѣвой части фермы.

Эти соображенія даютъ основанія построить схему деформаціи для любой фермы отъ нагрузокъ 1 въ отдѣльныхъ узлахъ.

Такъ, на фиг. 52 нанесены схемы 10-панельной фермы. По смыслу перекоса, руководствуясь общими соображеніями или нагляднымъ примѣромъ фигуры 51, разставлены знаки моментовъ въ случаѣ нагрузки разныхъ узловъ. Изъ разсмотрѣнія этой фигуры явствуетъ, что:

*Всѣ стойки фермы, за исключеніемъ двухъ крайнихъ съ каждаго конца фермы, и пояса во всѣхъ панеляхъ фермы, за исключеніемъ крайнихъ панелей, — претерпѣваютъ перемѣну знаковъ моментовъ изгиба, появляющихся въ нихъ при передвиженіи груза по фермѣ.* Очевидно двухпанельная и трехпанельная фермы не имѣютъ этого качества.

Разсматривая снова инфлюентныя линіи по фиг. 50 и схемы фиг. 52 легко видѣть, что весьма удачная мысль проф. Л. Ѳ. Николаи о фиктивныхъ раскосахъ, поможетъ вполнѣ оріентироваться въ ихъ характерѣ.

Допустимъ, что наши фермы снабжены раскосами одного какого-нибудь рода, т.-е. растянутыми или сжатыми при равномѣрной сплошной нагрузкѣ. При катаніи груза по такой фермѣ всѣ раскосы, кромѣ раскосовъ крайнихъ панелей будутъ мѣнять знакъ дѣйствующаго въ нихъ усилія.

Такъ какъ изъ теоріи разсчетовъ видно, что стойки не мѣняютъ знака *усилія*, а изъ таблицы № 5 видно, что и усилія въ поясахъ не мѣняютъ знака, то положеніе вещей относительно остальныхъ обстоятельствъ работы безраскосныхъ фермъ, касающихся *изгиба* элементовъ, можно формулировать такъ: элементы безраскосныхъ фермъ работаютъ на изгибъ при перемѣнныхъ моментахъ при тѣхъ же условіяхъ, при которыхъ раскосы такихъ же раскосныхъ фермъ работаютъ при перемѣнныхъ усиліяхъ.

Инфлюентныя линіи моментовъ представляютъ полнѣйшую аналогію съ инфлюентными линіями усилій въ раскосахъ раскосныхъ фермъ, съ тою только разницей, что для моментовъ $\mu$ (въ стойкахъ) переходъ отъ maximum'а ординатъ одного знака къ maximum'у ординатъ другого знака совершается на протяженіи не одной панели, а двухъ.

Эти выводы позволяютъ заключить, что при совмѣстномъ дѣйствіи *постоянной* и *временной* нагрузокъ моменты стоекъ и поясовъ *будутъ мѣнять знакъ* въ тѣхъ панеляхъ, въ которыхъ раскосы, если бы они были, мѣняли бы знакъ усилія.

Изъ всего этого слѣдуетъ, что *на изгибъ* разсчетъ безраскосныхъ фермъ долженъ вестись на частное загруженіе фермы. Но

такъ какъ, съ другой стороны, усилія въ поясахъ достигаютъ наибольшаго значенія при полномъ загруженіи, то при раціональномъ проектированіи безраскосныхъ фермъ, напримѣръ, подъ желѣзную дорогу, безусловно необходимо пользоваться инфлюентными линіями усилій и моментовъ и по нимъ комбинировать для каждаго элемента невыгоднѣйшее расположеніе нагрузки.

Въ зависимости отъ соотношенія постоянной и временной нагрузокъ будетъ получаться большая или меньшая часть фермы (въ срединѣ), для которой пояса, благодаря изгибу, будутъ работать какъ сжато-вытянутыя части, хотя часто нормальныя (осевыя) усилія будутъ брать перевѣсъ надъ моментами въ знакѣ напряженія, ибо моменты къ срединѣ имѣютъ тенденцію падать, а усилія возрастаютъ.

Необходимость введенія для поясовъ коеффиціентовъ допускаемаго напряженія какъ для сжато-вытянутыхъ частей представляетъ значительный недостатокъ безраскосныхъ фермъ. Необходимо, однако, въ различныхъ частныхъ случаяхъ изслѣдовать амплитуду колебанія напряженій. Принимая во вниманіе, что и «шарнирныя» фермы вслѣдствіе жесткости узловъ подвергаются изгибу элементовъ ихъ также часто разнаго знака и что разсчетъ безраскосныхъ фермъ на статическую нагрузку является полнымъ, въ смыслѣ учета всѣхъ напряженій, появляющихся въ нихъ,—можно признать теоретическую полноправность разсматриваемыхъ фермъ съ другими типами фермъ.

Вопросъ объ ихъ работѣ въ общихъ чертахъ, полагаемъ, выяснился въ предыдущемъ.

Примѣненіе ихъ въ практикѣ должно зависѣть только отъ ихъ экономической выгодности или невыгодности и этотъ вопросъ долженъ быть рѣшенъ не на основаніи результатовъ продолжительной эксплоатаціи ихъ въ дѣлѣ, а на основаніи простого ариѳметическаго подсчета стоимости раціонально спроектированыхъ фермъ и сравненія съ таковою въ случаѣ примѣненія другихъ системъ. Объ эстетическихъ условіяхъ мы здѣсь не говоримъ.

*Г. Передерій.*

*(Окончаніе слѣдуетъ).*

# Желѣзнодорожныя работы въ неустойчивыхъ грунтахъ.

*(Окончаніе).*

Наиболѣе непріятная для строителей порода — это глина, ибо она со своими промежуточными формами и соединеніями занимаетъ первое мѣсто при образованіи явленій сплывовъ—не только потому, что она чрезвычайно распространена въ природѣ, но также и вслѣдствіе особаго проявленія своихъ свойствъ подъ вліяніемъ воды и атмосферы. По своему химическому составу глина представляетъ соединеніе кремнекислыхъ глиноземовъ съ водой съ самыми разнообразными примѣсями.

Глина тѣмъ крѣпче и тѣмъ плотнѣе, чѣмъ отложенія ея старѣе. Она обладаетъ всѣмъ извѣстнымъ свойствомъ поглощать большое количество воды и удерживать ее въ себѣ, становясь, благодаря этому, водонепроницаемой.

Когда глина напитается водой, то вода во внутрь слоя не проникаетъ, но зато поверхность глины она разжижаетъ, взмыливаетъ, почти растворяетъ. Путемъ разжиженія въ водѣ образуется жирная, тягучая масса, употребляемая для устройства всякихъ огражденій отъ воды. При высыханіи глина сжимается, и такъ какъ дѣйствіе высыханія проявляется на поверхности раньше, чѣмъ во внутреннихъ слояхъ, то, вслѣдствіе разницы объемовъ, на поверхности проявляются трещины, разрывы и скорлупообразныя отдѣленія тѣмъ чаще, чѣмъ жирнѣе глина. Морозъ также дѣлаетъ поверность глины хрупкой, благодаря тому, что частицы, воды, замерзая, расширяются. Когда глина содержитъ въ большомъ количествѣ известь, то порода называется мергелемъ. Если порода содержитъ меньше 10% извести, то ее относятъ еще къ глинамъ. При содержаніи извести отъ 25% до 50% породу называютъ мергелями и при содержаніи извести свыше 50% назыв. известковыми мергелями. Мергель въ своемъ естественномъ видѣ плотенъ и крѣпокъ. На воздухѣ онъ быстро разрушается, часто почти до

тончайшаго порошка, легко разносимаго вѣтромъ. Если мелкій порошокъ насытится водой, то онъ даетъ тягучій илъ, который чрезвычайно трудно высыхаетъ. Окраска его желтоватая, сѣрая, зеленая и благодаря присутствію желѣза даже красная. Растительныя примѣси окрашиваютъ мергели въ темные цвѣта. Большинство мергелей поглощаютъ жадно влагу и легко растворяются въ водѣ. Ихъ гигроскопическія свойства способствуютъ также быстрому распаденію и подъ вліяніемъ мороза, а потому, обнаженныя во время производства земляныхъ работъ поверхности мергелей, должны быть предохранены отъ дѣйствія воды, воздуха и мороза.

Смѣсь глины съ кварцевымъ пескомъ, которому почти всегда сопутствуетъ нѣкоторое количество окисей желѣза, а также небольшое количество солей, наз. суглинкомъ.

При содержаніи кварца въ видѣ песка или пыли менѣе 30% породу относятъ еще къ глинамъ.

Породы же, содержащія свыше 70% кварца не слѣдуетъ уже относить къ суглинкамъ, а къ песчанымъ почвамъ. Суглинки подобно глинамъ жадно поглощаютъ воду, но не удерживаютъ ее въ такомъ большомъ количествѣ. Чѣмъ больше песку, тѣмъ меньше внутренняя связь съ глиной и возможно болѣе легкое отдѣленіе воды и значитъ высыханіе. Чѣмъ больше песка, тѣмъ рыхлѣе суглинокъ и тѣмъ болѣе подверженъ онъ разрушающимъ дѣйствіямъ воды.

Породы съ большимъ количествомъ мелкаго песка подъ вліяніемъ воды, насыщаясь ею, превращаются почти въ полужидкое состояніе (плывуны)—они представляютъ величайшую опасность, какъ для искусственныхъ сооруженій при заложеніяхъ основаній, такъ и для общей устойчивости даннаго мѣста.

Подъ пескомъ подразумѣвается нагроможденіе мелко подраздѣленныхъ частицъ горныхъ породъ.

Между различными минералами, способными образовать песокъ, кварцъ важнѣйшій, почему обыкновенно и подразумѣваютъ кварцевый песокъ.

По степени распространенія, засимъ, слѣдуетъ известковый песокъ, происшедшій путемъ разрушенія известковыхъ породъ, напримѣръ, доломитовый песокъ и т. д.

Влагу песокъ поглощаетъ въ незначительной степени.

Для проявленія капиллярныхъ свойствъ чистый песокъ представляетъ очень благодарную среду.

Чистый, крупно зернистый песокъ въ мощномъ залеганіи пред-

ставляетъ лучшую среду для проникания воды, а потому, обыкновенно, подъ именемъ «водоноснаго» слоя понимаютъ мощный слой чистаго песка.

Если глина непосредственно не подвергается дѣйствію воды и атмосферы, какъ это обыкновенно бываетъ, т. е. покрыта слоемъ растительной земли и дерномъ, то этимъ она совершенно предохраняется отъ разрушенія внѣшними факторами. Но бываетъ, что въ естественномъ состояніи или искусственномъ она обнажается, тогда глина подъ вліяніемъ тепла и тока воздуха теряетъ часть влаги, сжимается, появляются трещины и складки.

Если послѣ образованія трещинъ атмосферная вода проникнетъ въ нихъ, то благодаря увеличенію объема онѣ снова закроются и такимъ образомъ удержатъ въ себѣ часть воды.

Можетъ снова наступить сухое, жаркое время, могутъ снова образоваться трещины, при чемъ вѣроятнѣе, что онѣ образуются въ другихъ мѣстахъ; такимъ образомъ будутъ создаваться все новые и новые пути для проникания воды въ массу породы.

Заключенная въ складкахъ вода благодаря попеременному суженію и расширенію движется то вверхъ, то внизъ.

Такимъ образомъ происходитъ постепенно разрыхленіе массы. До тѣхъ поръ, пока со стороны существуютъ удерживающія силы, происходитъ поднятіе частичекъ вверхъ и внизъ.

Но если удерживаніе съ одной стороны будетъ уничтожено, напр. образованіемъ выемки, то можетъ легко произойти отдѣленіе части массы породы по образовавшимся складкамъ, которыя вообще начинаются у края откоса и постепенно распространяются во внутрь. Разъ такимъ образомъ верхняя часть разрыхлена, то она не представляетъ уже почти никакого сопротивленія проникновенію воды. Вслѣдъ за этимъ проникновеніемъ ея во внутрь наступаетъ дѣйствіе ея на нижележащіе слои.

Наконецъ наступаетъ моментъ, при которомъ подъ твердой корой внутри скопившіяся массы воды размягчаютъ часть породы, которая больше не въ состояніи выдерживать грузъ покоющейся на ней массы вслѣдствіе уменьшенія величины угла тренія—вотъ одна изъ картинъ образованія сплыва части откоса.

Въ такихъ случаяхъ плоскости раздѣла образуются въ верхнихъ частяхъ массы, распространяясь перпендикулярно къ плоскости раздѣла дѣйствующихъ силъ, разрыхляя сцѣпленіе массъ и, въ общемъ, слѣдуя за направленіемъ складокъ мѣстности. Онѣ (т. е. плоскости раздѣла) не гладки, но шероховаты, и, благодаря

присутствію удержанной воды, кажутся на взглядъ блестящими. Если приходится возводить насыпь въ мѣстности, изобилующей ключами, или вообще въ мѣстности, гдѣ можно ожидать различныхъ движеній, то раньше возведенія насыпи принимаютъ мѣры для осушенія мѣстности.

Примѣняемыя средства состоятъ въ осушеніи поверхности заложеніемъ дренажа, въ собраніи и отводѣ водъ подземнаго водоноснаго пласта и зависятъ отъ особенностей мѣстности.

Если есть основаніе предположить, что движеніе сильно распространится, особенно въ направленіи, перпендикулярномъ къ линіи, и значитъ осушеніе всей поверхности потребовало бы много времени и денегъ, то ограничиваются только небольшою частью, лежащей выше пути, если линія лежитъ вблизи подошвы ожидаемаго сплыва.

Величина этой осушаемой части зависитъ отъ глубины и конфигураціи водоноснаго слоя, при чемъ нужно твердо памятовать, что осушенная нижняя часть мѣстности должна имѣть такія размѣры, чтобы, благодаря своей новой консистенціи и большей величинѣ тренія и сцѣпленія отдѣльныхъ частичекъ, представляла изъ себя достаточную опору для неосушенной части.

Конечно такая работа не приведетъ къ хорошимъ результатамъ, если линія лежитъ въ значительномъ разстояніи, такъ сказать, отъ подошвы сплыва и вся масса расположена на покатости имѣющей на большомъ протяженіи стремленіе къ сплыву.

Такимъ образомъ осушенная мѣстность, лежащая ниже линіи, оказываетъ вліяніе только на незначительную часть мѣстности, лежащую выше ея (въ смыслѣ приданія ей устойчивости),—значитъ можетъ случиться, что нижняя часть все-таки придетъ въ движеніе и можетъ увлечь за собой и полотно.

Чрезвычайно важно, чтобы окружающая поверхность была приведена въ порядокъ; чтобы не было лощинокъ, гдѣ бы могла застаиваться вода и чтобы вообще всѣ поверхностныя воды не проникали бы во внутрь, но отводились бы въ предназначенныя для этого мѣста. Нужно перехватывать воды раньше, нежели онѣ успѣютъ достигнуть насыпи или подошвы ея.

Если глубина водоноснаго слоя подъ поверхностью земли незначительна, то закладываютъ такъ назыв. дренажный ровъ, собирающій подземную воду; при очень значительныхъ глубинахъ водоноснаго слоя прибѣгаютъ къ устройству осушительной штольни.

Если глубина водоносныхъ слоевъ подъ поверхностью земли

незначительна, то всю поверхность покрываютъ различнаго рода и вида дренажами.

Между различными системами слѣдуетъ отмѣтить: 1) систему Ледрю, примѣняемую тамъ, гдѣ водоносные слои не проявляются ясно, но вся порода пропитана водой. Поперечные дренажи закладываются въ разстояніи $1^1/_2$ саж. другъ отъ друга и на глубинѣ не менѣе 0,60 с. подъ поверхностью, діаметромъ 0,05 саж. (по направленію линіи наибольшаго паденія). На дно кладутъ пласты дерна, затѣмъ щебень, затѣмъ снова дернъ и затрамбовываютъ. Поверхность откосовъ обрабатываютъ какъ обыкновенно. Поперечные дренажи собираются общимъ продольнымъ дренажемъ, параллельнымъ оси линіи, діаметромъ около 0,10 с. Изъ этого продольнаго дренажа вода уводится (въ зависимости отъ мѣстныхъ условій) или непосредственно внаружу, или же въ еще большаго діаметра дренажъ, назначеніе котораго отвести собранную воду на поверхность внѣ предѣловъ насыпи или выемки.

Мѣсто выхода обдѣлываютъ камнемъ и заботятся, чтобы вода здѣсь не замерзала.

Преимущества этой системы особенно велики въ случаѣ примѣненія ея въ выемкахъ; тогда главный дренажъ закладываютъ подъ осью пути и онъ служитъ не только для сбора и отвода воды съ откосовъ, но и для осушенія балласта. Затѣмъ, благодаря тому, что дренажъ подъ поверхностью земли не замерзаетъ и такъ какъ конечный отводъ воды, выходящій на поверхность земли одинъ, его легко предохранять отъ замерзанія.

2) Систему каменныхъ фашинъ. При закладкѣ дренажей и дренажныхъ рвовъ часто приходится считаться съ явленіемъ выноса водой мелкаго песка. Иногда эти, повидимому, незначительные выносы, въ результатѣ являются причиною сплыва въ верхнихъ частяхъ осушаемой мѣстности. Чтобы уничтожить это, надъ дренажемъ или въ дренажномъ рву по направленію, въ которомъ можно ожидать притока воды, укладываютъ рядъ «каменныхъ фашинъ», которыя поверхъ покрываются хворостомъ, дерномъ и наконецъ засыпаются землей.

3) Методъ Сацилли. Дренажъ закладывается такъ, что нижнею своею частью врѣзывается въ непроницаемый слой. Подошва устилается кирпичами и заливается гидравлическимъ растворомъ. Затѣмъ тѣло дренажа, имѣющее видъ опрокинутой трапеціи, заполняется щебнемъ или крупнымъ гравіемъ, верхъ покрываютъ дерномъ и все засыпается и затрамбовывается землей. Продольный

уклонъ дренажа 0,01. Высота части дренирующей трапеціи, соприкасающаяся съ водоноснымъ слоемъ, равна около 0,40; при этомъ часто весь водоносный слой находится выше дрены и соприкасается съ нею только нижнею своею частью. Выпуски воды открыты и, значитъ, могутъ замерзать.

4) Методъ Брюера отличается отъ дренажей Сацилли формой: именно дрена (Caniveaux) прямоугольной формы вся заполнена камнемъ, такъ что заднею своею стороною не только соприкасается со всѣмъ водоноснымъ слоемъ, но доходитъ почти до края откоса. Подошва аккуратно выстилается кирпичами и заливается гидравлическимъ растворомъ, затѣмъ все тѣло заполняется щебнемъ, покрывается дерномъ и засыпается растительной землей. Въ наиболѣе пониженныхъ мѣстахъ, а также подъ подземными дренами вода отводится въ колодцы.

Основная мысль, этого способа заключается въ слѣдующемъ положеніи: чтобы сдѣлать подземную воду безопасной, нужно, чтобы морозъ совершенно ее не достигалъ ни при сборѣ, ни при отводѣ.

Въ случаѣ примѣненія этихъ системъ дренажей уже къ сплывшимъ насыпямъ, Сацилли полагаетъ нужнымъ убрать сплывшую часть, добираясь до настоящаго материка и замѣнить все это хорошимъ грунтомъ. Заполненіе, какъ это всегда дѣлается, ведутъ горизонтальными слоями съ утрамбовываніемъ.

Брюеръ же полагаетъ возможнымъ сплывшую часть утилизировать, какъ контрфорсъ—при условіи хорошаго осушенія ея.

5) Методъ Дегремона. Путемъ вертикальнаго дренажнаго разрѣза и поперечныхъ выпусковъ осушаютъ нѣкоторую часть массы земли, которая и служитъ какъ бы подпорной стѣнкой для матеріала, лежащаго за ней. Недостатки системы—дороговизна и не всегда удачные результаты.

У насъ на юго западныхъ дорогахъ для предохраненія откосовъ употреблялся способъ обжиганія грунта. Сущность способа состоитъ въ слѣдующемъ: на верху откоса выемки выравнивается берма шириною въ 5 саж.; по ней прокладываютъ два ряда шпалъ съ промежутками, надъ которыми насыпается слой земли, толщиной 0,10 саж., далѣе слой угля толщиной 0,01 саж., затѣмъ опять слой земли и такъ дальше на высоту $1^1/_2$ саж. Нижнія шпалы зажигаются и продукты горѣнія проходятъ черезъ лежащіе надъ ними слои земли и угля и выводятся въ атмосферу по вертикальнымъ отдушинамъ, образованными стоячими шпалами, которыя

вынимаются послѣ того, какъ окружающій ихъ грунтъ пріобрѣтетъ достаточную твердость. Горѣніе, въ виду недостаточнаго притока воздуха, происходитъ крайне медленно и продолжается нѣсколько мѣсяцевъ. Въ результатѣ, слои грунта обжигаются и на бермѣ откоса образуется искусственно какъ бы каменная подпорная стѣнка, которая задерживаетъ движеніе лежащихъ за нею плывучихъ слоевъ грунта. Нѣтъ никакого сомнѣнія, что часть откоса, находящаяся выше этой подпорной стѣнки, не имѣетъ препятствій къ сползанію внизъ и надвигается на верхнюю площадку обожженной стѣнки. Такую идею укрѣпленія нужно признать не выдерживающею критики.

На какомъ бы типѣ дренажа не остановились, слѣдуетъ отдать себѣ отчетъ, какое количество воды можно имъ отвести, подсчитать хоть самымъ приблизительнымъ образомъ, сколько можетъ дать водоносный слой воды, чтобы сообразно съ этимъ выбрать подходящіе размѣры для дренажа. Именно расходъ $Q=\varphi hv$ (на ширину 1 метра) гдѣ

$h$ мощность водоноснаго слоя,
$\varphi$ отношеніе объема пустотъ къ общему объему грунта,
$v$ скорость.

Что касается до величины коеффиціента $K$, входящаго въ выраженіе скорости, зависящаго отъ величины частицъ водоноснаго слоя, то инженеромъ Креберомъ были произведены весьма тщательные опыты. Результаты и числовыя значенія для цѣлаго ряда значеній $K$ въ зависимости отъ различныхъ величинъ частичекъ помѣщены въ 31 и 32 №№ Zeitung des Yereins Deutscher Ingenieur за 1884 годъ.

Для нашихъ средне и мелко-зернистыхъ песковъ приводимъ выписку

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $d=0.54$ | 0.70 | 0.80 | 0.90 | миллиметра. |
| $K=0.0032$ | 0.00536 | 0.00958 | 0.0156 | метра. |

Подготовка поверхности подъ подошву насыпи въ смыслѣ отвода поверхностныхъ водъ должна быть исполнена особенно тщательно и здѣсь не слѣдуетъ стѣсняться никакими затратами: если въ подошвѣ выклиниваются водоносные слои, то для каждаго изъ нихъ долженъ быть устроенъ продольный каналъ съ паденіемъ къ нижнимъ частямъ участка.

Старые водотоки, кажущіеся даже сухими, должны быть особенно тщательно обработаны.

При этихъ, какъ и вообще при всѣхъ осушительныхъ работахъ, слѣдуетъ придерживаться слѣдующаго правила:

Дренажи, дренажные рвы, штольни всегда должны быть закладываемы по возможности перпендикулярно направленію водоноснаго слоя; исходя изъ этого основного положенія и имѣя кривыя расположенія подземныхъ слоевъ, опредѣляется направленіе работъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ само собою. Дренажныя канавы должны быть такъ заложены, чтобы ихъ подошва углублялась по крайней мѣрѣ на 0,20 въ водонепроницаемый слой и постоянно въ ней находилась; кромѣ того онѣ должны имѣть общій продольный уклонъ, облегчающій стокъ воды въ ту или другую сторону. Только въ рѣдкихъ случаяхъ это можетъ быть достижимо съ помощью одной непрерывной дренажной канавы, особенно, если подземные слои представляютъ изъ себя волнообразную поверхность; въ этихъ случаяхъ изъ наиболѣе пониженныхъ точекъ разрѣза закладываютъ короткія вытяжныя штольни до выхода на поверхность воды, при чемъ въ продольномъ разрѣзѣ придаютъ имъ соотвѣтственный уклонъ.

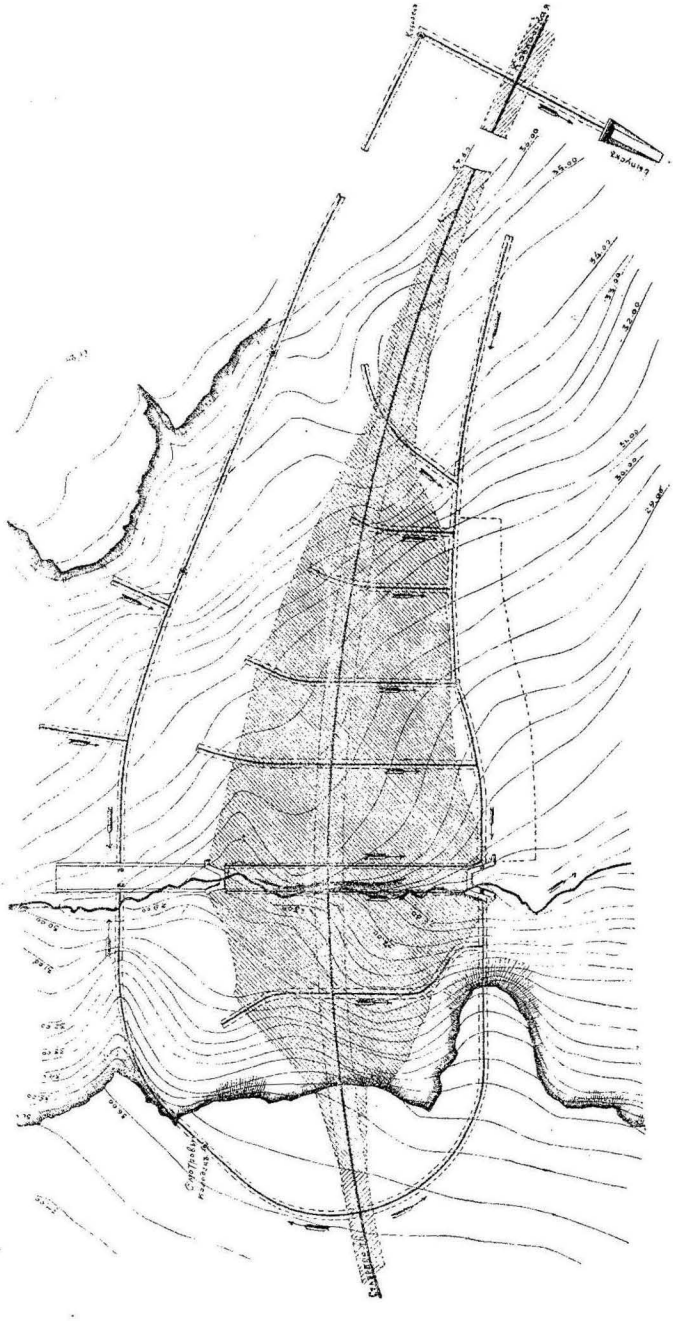
Выборъ того, что нужно примѣнить для осушенія, дренажные рвы или штольни, зависитъ не только отъ глубины залеганія водоноснаго слоя, но и во многихъ случаяхъ отъ геологическихъ свойствъ окружающихъ слоевъ. Если окружающіе слои состоятъ изъ сухихъ водонепроницаемыхъ породъ и вода имѣется только въ водоносномъ слоѣ, то при достаточной глубинѣ умѣстна штольня; если же мѣстность по всей высотѣ прорѣзана водяными жилами, то при достаточной глубинѣ предпочтительнѣе дренажная канава, прорѣзывающая весь участокъ сверху донизу и имѣющая такимъ образомъ возможность собрать въ себя всѣ водяныя жилы. Если глубина водоноснаго слоя велика, то изъ экономическихъ соображеній (такъ какъ съ глубиною стоимость дренажной канавы сильно возрастаетъ) примѣняютъ комбинацію изъ дренажной канавы и штольни, расположенныхъ такимъ образомъ, что закладываютъ дренирующую канаву до опредѣленной глубины—въ нижней же части осушаемаго слоя закладываютъ штольню, но такъ, чтобы верхней своею частью она захватывала бы плоскость, гдѣ помѣщается нижняя часть дренирующей канавы.

При закладкѣ дренажныхъ канавъ, особенно если онѣ имѣютъ большую глубину, имъ придаютъ ширину по дну (изъ экономическихъ соображеній) около 0,40 саж. Онѣ закладываются съ отвѣсными стѣнками и должны быть надлежащимъ образомъ закрѣплены.

Доски, которыми поддерживаются стѣнки, должны закладываться съ промежутками, во 1-хъ, чтобы дать возможность свободно проникать водѣ, а во 2-хъ, чтобы была возможность разрѣзу участвовать въ осадкѣ участка.

Чтобы при работѣ разрѣза не воспринимать на клинья большого давленія, представляется наиболѣе цѣлесообразнымъ, не задаваться большими непрерывными участками, но брать части не свыше 5 саж. и не начинать работы въ соприкасающихся частяхъ, пока не закончена засыпка предыдущаго участка. Благодаря тому что разрѣзъ начинается съ пониженнаго конца, застоя воды не будетъ и вода будетъ стекать. Какъ только дренажный ровъ будетъ доведенъ до надлежащей глубины приступаютъ къ его заполненію. Лучше всего это дѣлать большими неправильной формы камнями, чтобы заиливаніе произошло по возможности не скоро, и чтобы вода имѣла свободный проходъ. Нужно обращать особенное вниманіе, чтобы подошва разрѣза была плоска. Въ породахъ, которыя имѣютъ неблагопріятное наслоеніе и въ которыхъ, благодаря сдвигамъ, нельзя получить плоскую подошву, рекомендуется, смотря по свойствѣ матеріала, проложить основаніе изъ тощаго бетона. Для сѣченія штольни достаточны такіе размѣры: ширина по дну 0,40 с. и высота 0,60 с. При крѣпленіи въ штольнѣ, а также въ дренажныхъ рвахъ, нужно оставлять свободные промежутки подъ поломъ подошвы для свободнаго протока воды во время производства работъ; какъ только штольня готова, можно приступить къ заполненію ея камнемъ. Такое предварительное осушеніе имѣетъ столько преимуществъ, что и говорить нечего о ихъ пользѣ, но вслѣдстіе вынужденной быстроты постройки ж. д., въ дѣйствительности, передъ работами мѣсто подошвы насыпи не успѣваютъ осушить и въ лучшемъ случаѣ производятъ осушительныя работы одновременно съ производствомъ самыхъ работъ слѣдствіемъ чего бываютъ иногда сдвиги во время самыхъ же работъ.

Такъ, напримѣръ, при постройкѣ подхода къ г. Ставрополю обществомъ Владикавказской ж. д. до возведенія насыпи черезъ оврагъ «Чертовъ Яръ» на 143 вер. былъ предпринятъ цѣлый рядъ устройствъ дренажей для осушенія подошвы насыпи (фиг. 1). Кругомъ всей подошвы насыпи была заложена магистраль дренажа шириною 1,10 саж. и глубиной до 4 саж. На днѣ траншеи установленъ коллекторъ заложенный на глубину 0,25 саж. въ материковой глинѣ. Для защиты отъ просачивающейся воды, коллекторъ на высоту этихъ 0,25 саж. выведенъ на гидравлической



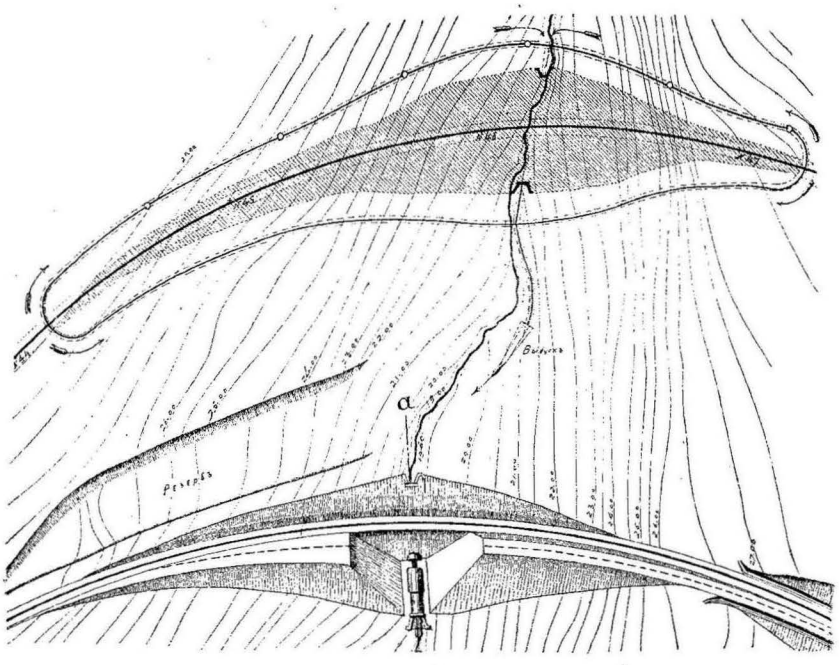
Фиг. 1.

извести; въ остальной части сложенъ насухо. Съ низовой стороны, для прегражденія собраннымъ грунтовымъ водамъ оттока въ осушаемый районъ, стѣны траншеи обложены слоемъ мятой и утрамбованной глины толщиною въ 0,30 саж. Затѣмъ вся траншея заполнена каменной наброской, не доходящей до дневной поверности на 0,55 саж. Въ наброскѣ для лучшаго всасыванія грунтовыхъ водъ и большого обезпечиванія отъ засариванія, оставлены цилиндрической формы пустоты; для выпуска собранной магистральной дренажной воды сдѣланы три выхода: два въ обдѣланное каменной кладкой русло оврага и одинъ уже внѣ оврага. Для наблюденія за исправностью дренажа, устроены на разстояніи около 25 саж. одинъ отъ другого смотровые колодцы. Кромѣ этого кольцевого дренажа были устроены еще нѣсколько второстепенныхъ поперечныхъ дренажей, какъ это видно изъ плана,—служащихъ для отвода изъ подъ насыпи отдѣльныхъ источниковъ и облегчающихъ совершенное осушеніе мѣстности. Два изъ нихъ расположены по обѣимъ сторонамъ фундамента. Выпускомъ для поперечныхъ дренажей служитъ магистральный дренажъ. Для того, чтобы увеличить пассивное сопротивленіе осушенной части мѣстности, у выхода трубы былъ устроенъ земляной контрфорсъ. Только послѣ окончанія дренажа приступили къ землянымъ работамъ по возведенію насыпи. Но уже черезъ мѣсяцъ по окончаніи ихъ произошло нѣсколько обваловъ откосовъ близъ выходного отверстія трубы. Весной благодаря необыкновенно суровой зимѣ 1895—96 г. обвалы низового откоса настолько усилились, что приходилось то и дѣло пріостанавливать движеніе рабочихъ поѣздовъ. Рѣшено было усилить низовой откосъ уборкой ползучаго грунта и замѣной его песчанисто глинистымъ доброкачественнымъ грунтомъ, для чего была насыпана берма шириною въ 2 саж.

Какъ образчикъ того, сколько хлопотъ доставляютъ строителямъ ползучіе грунты, можно привести примѣръ, взятый изъ описанія работъ по укрѣпленію полотна въ ползучихъ грунтахъ Ставропольской вѣтви О-ва Владикавк. ж. д. фиг. 2.

Для пропуска водъ р. Березовки подъ Ставрополемъ была спроектирована каменная труба отв. 1,25 саж.. Къ работамъ было приступлено весной 1894 г.. Уже при рытьѣ котлована произошли обвалы откосовъ, сопровождавшіеся появленіемъ трещинъ въ сосѣднихъ участкахъ грунта. Котлованъ былъ огражденъ шпунтомъ, глубину заложенія фундамента увеличили на 0,25 саж. и труба была закончена вполнѣ благополучно.

Затѣмъ никакихъ деформацій не происходило и осенью 1894 г. приступили къ засыпкѣ трубы и возведенію насыпи до 7 саж. надъ

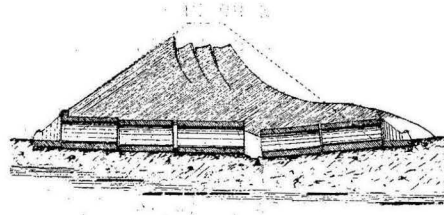


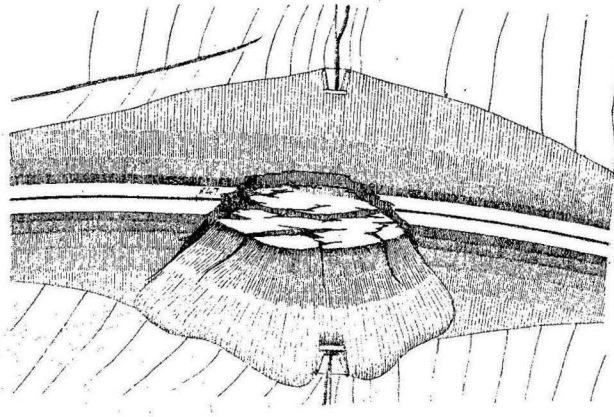

Фиг. 2.

ключомъ трубы. Когда насыпь достигла 4 саж., стали появляться угрожающіе признаки. Появились оползни и осадки насыпи, сопровождаемые расхожденіекъ колецъ трубы. Наконецъ эти явленія приняли такіе размѣры, что работы пришлось прекратить. Труба оказалась, какъ видно изъ фиг. 3, совершенно негодной для пропуска водъ. Приходилось или исправлять ее, что было чрезвычайно трудно, или пожертвовать частью земляныхъ работъ, перепроектировать линію и построить трубу въ новомъ мѣстѣ *съ предварительнымъ осушеніемъ почвы.* Первоначальное направленіе было приспособлено для временнаго движенія, ось же новой линіи была перемѣщена въ сторону выпуклости кривой. (См. фиг. 2).

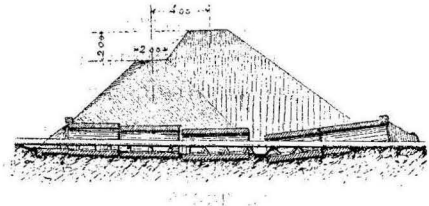
Временный выпускъ черезъ трубу былъ устроенъ съ помощью деревяннаго желоба (см. разрѣзъ фиг. 4).

Болѣе тщательное изученіе условій мѣстности дало возможность ограничить отверстіе трубы 0,75 саж. Конструкція трубы представляетъ нѣкоторую особенность. Кромѣ отверстія для пропуска

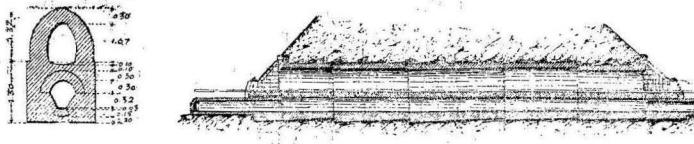




Фиг. 3.



Фиг. 4.



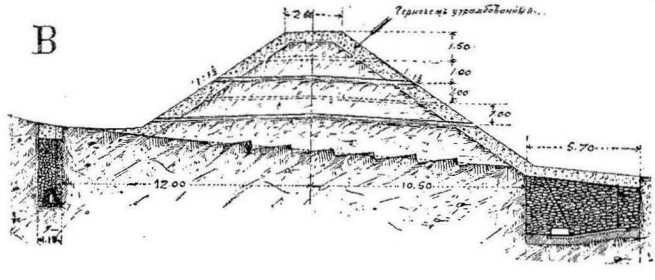
Фиг. 5.

надземныхъ обыкновенныхъ водъ, труба имѣетъ еще второе отверстіе овоидальнаго сѣченія, устроенное въ фундаментѣ (см. разрѣзъ фиг. 5) и предназначенное для принятія и отвода подземныхъ водъ, собираемыхъ кольцевымъ дренажемъ, огибающимъ всю площадь основанія насыпи (см. чертежъ фиг. 2).

Одновременно съ постройкой трубы производились и дренажныя работы. Къ декабрю 1895 г. дренажныя работы и постройка трубы были закончены. Насыпь была выведена лишь на высоту 0,35 саж. надъ ключомъ свода. Остальная часть работы была изъ предосторожности отложена до весны. Къ маю 1896 г. насыпь была почти закончена, оставалось подняться только на сажень.

Внезапно произошелъ обвалъ насыпи. Часть насыпи у выходного конца трубы дала осадку почти въ 0,50 саж., послѣ чего стала отдѣляться и поползла. Досыпка насыпи была прекращена. Изслѣдованія грунта у подошвы насыпи показали, что дренажъ въ своемъ низовомъ концѣ разрушенъ и въ немъ образовался застой воды. Рѣшено было въ районѣ обнаруженнаго сплыва дополнить дѣйствіе дренажа устройствомъ особый подпорной стѣнки (см. разрѣзъ В). Изъ чертежа видно, что эта стѣнка устроена въ естественномъ грунтѣ и имѣетъ своимъ назначеніемъ препятствовать скольженію верхнихъ слоевъ грунта до синей материковой глины, служа вмѣстѣ съ тѣмъ и дренажемъ. Такимъ образомъ достигнуто было увеличеніе той массы, которая сопротивляется сплыву и въ то же время усиленно осушеніе.

Какъ видно изъ того же чертежа поперечнаго профиля насыпи, тѣло ея самостоятельно дренировано и укрѣплено при помощи




фашинъ въ видѣ канатовъ, проходящихъ черезъ всю толщу насыпи. Расположенныя рядами въ шахматномъ порядкѣ съ наклономъ внаружу и въ обѣ стороны эти канаты съ одной стороны, должны были перехватить дождевые осадки, впитываемые тѣломъ насыпи, не допуская дальнѣйшаго ихъ просачиванія до глубины естествен-

наго грунта, поддерживающаго насыпь; съ другой стороны, они должны были связывать нестойкій матеріалъ насыпи, пока онъ не слежится и не получитъ достаточнаго сцѣпленія. Отъ непосредственнаго вліянія осадковъ ядро насыпи было защищено обдѣлкой сухимъ доброкачественнымъ грунтомъ.

Величина силы сопротивленія почвы подъ вліяніемъ нагрузки вѣсомъ насыпи существенно зависитъ отъ способа распространенія давленій, именно, способна ли почва въ силу своихъ внутреннихъ свойствъ передать давленіе только въ вертикальномъ направленіи отъ слоя къ слою, или же способна распространять его по всѣмъ направленіямъ. Первый случай относится къ твердымъ тѣламъ: (скалы, кремни) и песку, такъ же къ замкнутому пласту глины. Послѣдній (т. е. по всѣмъ направленіямъ)—къ каждой пропитанной водой землистой породѣ. Опредѣленіе давленій, которыя могутъ выдерживать различнаго рода грунты съ помощію особыхъ приборовъ начинаютъ входить въ жизнь только въ самое послѣднее время. Лѣтъ восемь тому назадъ инженеромъ Майеромъ былъ предложенъ приборчикъ, который довольно точно указываетъ величины просадокъ грунта подъ вліяніемъ различныхъ нагрузокъ. Цѣлый рядъ опытовъ, произведенныхъ имъ съ глинистыми и песчаными почвами показалъ, что до опредѣленной нагрузки сжатіе грунта пропорціонально нагрузкѣ, за этой же «предѣльной нагрузкой» сжатіе быстро увеличивается и даетъ чрезвычайно большую величину. Прибавимъ, что въ важныхъ случаяхъ нужно дѣйствіе «продолжающихся нагрузокъ» для того, чтобы представить себѣ правильную картину способности грунта сопротивляться сжатію.

Опредѣленіе способа сопротивленія почвы выдерживать опредѣленную нагрузку (для нуждъ земляныхъ работъ) представляетъ большія трудности, ибо соотношеніе расположенія слоевъ, направленіе водяныхъ потоковъ и внутреннее свойство почвы по большей части такъ быстро мѣняются, что результаты, полученные на основаніи пробныхъ нагрузокъ для одной точки, не подходятъ для точекъ, лежащихъ въ небольшихъ разстояніяхъ отъ нея.

Только простое сжатіе поддерживающаго слоя рѣдко ведетъ къ серьезнымъ осложненіямъ. Нужно лишь считаться съ образованіемъ котловины подъ ядромъ насыпи, вслѣдствіе большой нагрузки грунта ядромъ, чѣмъ можетъ быть вызвано измѣненіе направленія теченій струй подземной воды. Именно во время возведенія насыпи нужно наблюдать за количествомъ водъ ручьевъ, лежащихъ ниже возводимой насыпи. Если ручьи текутъ медленно или совсѣмъ изсякаютъ,

то нужно считать, что вода въ своемъ теченіи нагрузкою насыпи задержана и благодаря этому можетъ насытить водою насыпь и способствовать сдвигу. Въ такихъ случаяхъ надо дать свободный выходъ водѣ. Необходимость этого можетъ выясниться только впослѣдствіи, какъ, напримѣръ, на Уральской дорогѣ.

Инженеромъ Багровымъ были описаны способы укрѣпленія насыпи на Луньевской вѣткѣ Уральской ж. д., сплывы которой явились какъ разъ слѣдствіемъ невнимательнаго отношенія строителей къ мѣсту работъ и свойству окружающихъ грунтовъ. Именно, не было до приступа къ работамъ осушена мѣстность, на которой имѣли быть возведены насыпи и не былъ достаточно обезпеченъ отводъ воды—хотя были всѣ указанія на существованіе сплывовъ Въ результатѣ, конечно, получилось, что уже во время эксплоатаціи приходилось исправлять (что всегда хуже) допущенные недостатки и промахи. Приходилось, какъ напримѣръ, на р. Сосновкѣ (161 вер. насыпь высотой 12 саж.) разрывать сплывъ глубиной чуть не въ 5 саж., чтобы добраться до входа въ трубу. Затѣмъ вертикальными колодцами и поперечными галлереями - выпусками осушить тѣло и подошву насыпи.

Твердая глина съ рѣзко выраженными жилами изъ чистаго крупнаго песку представляетъ, при правильномъ уходѣ, мало опасности для возведенія построекъ, между тѣмъ, какъ мелкій песокъ, смѣшанный съ суглинкомъ быстро переходитъ въ полужидкое состояніе и несмотря на то, что онъ крѣпокъ, когда высохнетъ, и кажется тощимъ—относится къ опаснѣйшимъ почвамъ для земляныхъ работъ.

Тѣ движенія почвы, которыя являются слѣдствіемъ измѣненія силы сцѣпленія, вызваннаго дѣйствіемъ воздуха и солнца, вообще распространяются въ относительно тѣсной сферѣ и борьба съ ними проста.

Не всегда, однако, происхожденіе сплыва есть результатъ недостатка предохранительныхъ мѣръ при возведеніи насыпи; часто водоносные слои лежатъ такъ глубоко, что вліяніе ихъ на устойчивость насыпи не принимается во вниманіе, часто же бываютъ такъ скрыты, что при изслѣдованіи грунта ускользаютъ отъ вниманія. Если же вѣсъ насыпи достигаетъ такой величины, что мягкіе слои, на которыхъ возводится насыпь, сжимаются и выдавливаются въ бокъ, то съ этимъ сдвигомъ связано образованіе плоскости сползанія и для удержанія системы въ равновѣсіи остается только сила тренія какъ сопротивляющійся движенію моментъ. Не-

посредственнаго уменьшенія тренія, благодаря увеличенію давленія вслѣдствіе возведенія насыпи, не происходитъ — такъ какъ треніе прямо пропорціонально давленію, то оно измѣняется въ такомъ же отношеніи, какъ движущая сила, возрастающая отъ увеличенія нагрузки. Если до возведенія насыпи оно было достаточно, чтобы удержать небольшія массы естественнаго грунта въ покоѣ, то и послѣ возведенія насыпи все должно быть въ покоѣ, если большое давленіе посредственно не вызоветъ измѣненій въ свойствахъ самаго грунта и этимъ не уменьшитъ тренія. Такое именно измѣненіе очень часто происходитъ вслѣдствіе сжатія основныхъ слоевъ, благодаря чему нарушаются старыя направленія теченій водоносныхъ слоевъ. Тогда вода, проникая по другимъ направленіямъ, можетъ измѣнить силу тренія слоевъ. Не только матеріалъ, но и самые способы образованія насыпи также оказываютъ вліяніе на ея устойчивость. Возведеніе горизонтальными слоями небольшой высоты, къ сожалѣнію существуетъ только въ академическихъ курсахъ. Обыкновенно насыпи возводятся или подвозкой земли съ боковъ изъ резервовъ, или при большихъ насыпяхъ, при вывозкѣ матеріала изъ тоннеля приходится образовывать насыпь путемъ отсыпки матеріала съ вершины насыпи (Kopfschutung).

При возведеніи такихъ высокихъ насыпей, между отдѣльными частицами матеріала образуются промежутки, куда вода можетъ безпрепятственно проникать, собираясь въ нижнихъ частяхъ насыпи, такъ какъ тамъ эти промежутки благодаря давленію вышележащихъ слоевъ—почти замкнуты. Вслѣдствіе соприкосновенія съ водой частицы размягчаются и наполняютъ подъ давленіемъ верхнихъ слоевъ промежутки, насколько заключенная вода имъ это позволяетъ. Отъ способности сопротивленія не измѣнять свою величину подъ вліяніемъ воды и давленія, а также въ зависимости отъ количества поглощенной воды зависитъ: сохранитъ ли насыпь свою форму, или вслѣдствіе небольшого сцѣпленія массы и подъ вліяніемъ тяжести верхнихъ слоевъ насыпи образуется нѣкоторая плоскость скольженія, по которой и можетъ произойти сплывъ. Если при этомъ естественная поверхность подошвы насыпи горизонтальна, то все ограничивается просадкой; если же слои наклонны, то можетъ произойти общій сплывъ насыпи.

Значитъ наилучшія свойства матеріала для образованія насыпей, нерастворимость въ водѣ, плотное слеганіе и хорошая водопроницаемость—принадлежатъ песку. Крупный песокъ дѣйствительно лучшій матеріалъ для образованія насыпей, но откосы

должны быть защищены отъ размыванія дождемъ и разнесенія вѣтромъ.

Глинистыя породы, особенно чистая глина, разрабатывается только въ рѣзко очерченныхъ кускахъ, которые благодаря ихъ твердости и тягучести даже подъ вліяніемъ большой нагрузки только медленно и мало сжимаются, то въ насыпяхъ изъ такого матеріала образуется масса пустотъ и они приходятъ въ покой только послѣ долгаго промежутка времени.

Осадки насыпи уменьшаютъ ихъ высоту и измѣняютъ форму. Такъ какъ уже во время возведенія насыпи нижніе слои сжимаются вслѣдствіе вѣса верхнихъ и въ тѣмъ большей мѣрѣ, чѣмъ выше насыпь, то величина вдавливанія въ почву не прямо пропорціональна высотѣ—при низкихъ насыпяхъ относительно больше, чѣмъ при высокихъ.

Боковое расширеніе уменьшается по мѣрѣ подъема вверхъ и откосъ принимаетъ видъ вогнуто-выпуклой формы.

При возведеніи насыпи на неправильной или наклонной поверхности происходятъ, благодаря различію въ высотахъ насыпи и, благодаря этому, неравномѣрной осадкѣ легкія складки и трещины, черезъ которыя вода можетъ попадать во внутрь почвы.

Эта опасность избѣгается тѣмъ, что насыпь возводятъ не сразу во всю высоту, но сначала насыпаютъ только часть, выравнивая неровности и, когда осадки произойдутъ, сыпятъ дальше. Если вслѣдствіе осадки нужна дополнительная насыпка по высотѣ и ширинѣ насыпи, то вновь насыпанный матеріалъ никогда вполнѣ не соединится со старымъ зерномъ; всегда въ этомъ случаѣ проявляются продольныя трещины.

Чтобы избѣжать этого, обыкновенно насыпи возводятся съ запасомъ по высотѣ и ширинѣ.

Трамбованіе насыпей имѣетъ значеніе и пользу только тогда, когда возведеніе насыпи производится горизонтальными слоями толщиною не свыше 0,30 саж., при толстыхъ же слояхъ трамбованіе только вредно.

При возведеніи насыпей на подвижномъ грунтѣ могутъ быть различныя проявленія движенія, а именно: или вся насыпь вмѣстѣ съ подошвою приходитъ въ боковое движеніе или вдоль насыпи появляется трещина и эта часть сползаетъ и наконецъ вершина насыпи садится вертикально, при чемъ самая подошва и прилегающій къ ней терренъ подымается съ обѣихъ сторонъ. Первый и второй случаи проявляются, когда насыпь возведена на сплываю-

щемъ терренѣ, второй случай, кромѣ того, тогда, когда насыпь возведена на поверхности кажущейся въ покоѣ и наконецъ третій случай, когда насыпь возведена на горизонтальномъ терренѣ, верхній слой котораго сухъ, но незначительной толщины и не можетъ выдержать давленія насыпи; подъ нимъ лежащій же слой представляетъ матеріалъ насыщенный водой, кругомъ замкнутый безъ выхода.

Движеніе всей насыпи одновременно съ терреномъ наиболѣе благопріятный и наименѣе опасный случай сплывовъ насыпей. Болѣе опасный случай—случай проявленія трещины и одностороннее движеніе насыпи. Причина такого рода сплывовъ, если насыпь образована изъ хорошаго матеріала, неравномѣрная нагрузка террена. Благодаря этому неравномѣрному давленію на неустойчивый грунтъ, вызывается такое большое давленіе, что подъ ядромъ насыпи, гдѣ величина давленія наибольшая — терренъ наименьше сопротивляется, проявляются движенія и благодаря этому часть насыпи отдѣляется и самостоятельно сдвигается. Кромѣ вышеупомянутыхъ сплывовъ, проявляются также часто самостоятельные сплывы насыпей, не имѣющіе никакой зависимости отъ подпочвы и общихъ геологическихъ свойствъ террена. Причины такихъ сплывовъ суть употребленіе дурныхъ матеріаловъ для образованія тѣла насыпи—если они даже примѣнялись въ сухомъ видѣ въ смѣси съ хорошимъ матеріаломъ.

Случается, что во всей окружности нѣтъ подходящаго хорошаго матеріала и потому невольно приходится употреблять въ дѣло дурной. Въ такомъ случаѣ передъ возведеніемъ насыпи нужно исполнить нѣкоторыя предупреждающія сплывъ работы. Эти работы состоятъ въ осушеніи всего тѣла насыпи и въ созданіи такихъ откосовъ, которые соотвѣтствуютъ характеру данной мѣстности въ смыслѣ предохраненія откосовъ отъ сползанія. Если разсмотрѣть различные профили оползшихъ насыпей, то выяснится, что приблизительно всѣ имѣютъ одинаковое очертаніе, именно: отъ верха (кроны) насыпи до $^1/_3$ или $^1/_2$ высоты насыпи они имѣютъ первоначальный профиль, далѣе же откосы принимаютъ совершенно пологое очертаніе и наконецъ у подошвы откосъ круто ограниченъ.

Инженеръ Лебединскій считаетъ, что одно осушеніе тѣла насыпи съ помощью колодцевъ и штоленъ недостаточно, что необходимы особыя подушки изъ водонепроницаемаго грунта, защищающія крону и верхнюю часть боковъ насыпи отъ просачиванія

воды, что это только вполнѣ можетъ обезпечить полную устойчивость насыпи.

Когда поверхность земли, на которой возводится насыпь наклонена въ плоскости перпендикулярной къ оси линіи, то для того, чтобы обезпечить насыпь противъ сползанія, подошву разрабатываютъ въ видѣ уступовъ.

Иногда этого бываетъ недостаточно и приходится возводить особые контрфорсы. При возведеніи такого контрфорса необходимо чтобы масса его соотвѣтствовала массѣ насыпи, т. е. онъ былъ бы такой именно величины, какъ нужно, но не былъ бы излишне великъ, въ чемъ очень часто у насъ грѣшатъ, и чтобы отводъ воды какъ поверхностной, такъ и грунтовой былъ бы урегулированъ самымъ тщательнымъ образомъ. На послѣднее обстоятельство обращаемъ особое вниманіе; во многихъ случаяхъ кажущаяся недостаточность величины контрфорса зависитъ отъ плохого отвода воды.

Если же въ насыпи имѣется притокъ воды и часть ея сползла въ размокшемъ видѣ, то самое правильное вывезти весь сплывъ, дорыться до материка и возводить контрфорсъ изъ хорошаго матеріала непремѣнно не толстыми слоями съ утрамбованіемъ. Нѣкоторые инженеры оставляютъ сплывшую массу, утилизируя ее для контрфорса; въ такомъ случаѣ требуется не только самое тщательное и полное осушеніе всей этой массы, но и особый дренажъ между собственнымъ тѣломъ насыпи и самымъ контрфорсомъ. Такимъ образомъ подошва банкета непремѣнно должна врѣзываться на глубину не менѣе 0,50 саж. въ материкъ. Подошва его должна быть горизонтально разработана и прорѣзана по всѣмъ направленіямъ сѣтью дренажей съ безпрепятственнымъ отводомъ воды. Безъ этого контрфорсъ будетъ представлять изъ себя ту часть насыпанной земли, которая прежде всего размокнетъ и расплывется. Внѣшняя поверхность контрфорса и его откоса также должна быть такъ обработана, чтобы вся атмосферная вода, не застаиваясь быстро стекала съ него; въ нѣкоторыхъ случаяхъ нужно даже укрѣпить дерномъ. Возведеніе контрфорса должно быть сдѣлано изъ самаго тяжелаго матеріала, тонкими слоями съ уплотненіемъ.

Что касается самыхъ размѣровъ, то конечно въ каждомъ данномъ случаѣ нужно приблизительно подсчитать, сообразуясь съ мѣстными условіями и прибавивъ въ запасъ прочности.

Брюеръ (Consolidation des Talus) даетъ, какъ общее правило, такіе размѣры контрфорса: основаніе $^2/_3 h$, а высота $^1/_3 h$; такимъ

образомъ площадь контрфорса $\infty \frac{1}{7}$ площади насыпи. Henz же въ своемъ курсѣ Erdbau считаетъ, что величина контрфорса должна быть въ предѣлахъ отъ $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{3}$ укрѣпляемой насыпи.

Изъ приведенныхъ примѣровъ видно какъ сильно разнятся эти величины. Наиболѣе простой и распространенный способъ наблюденія за распространеніемъ, скоростью и направленіемъ движенія сплыва—это сѣть взаимно пересѣкающихся перпендикулярныхъ линій; точки пересѣченія обозначаютъ забитыми свайками; нивеллировкой опредѣливъ высоту каждой изъ нихъ.

Конечно для того, чтобы всегда возможно было установить первоначальное направленіе сѣти, послѣдняя должна быть связана съ точками, забитыми на неподвижной части мѣстности. Сползаніе по наклоннымъ пластамъ происходитъ обыкновенно очень медленно; такъ напр. по наблюденіямъ инженера Стецевича при осушительныхъ работахъ въ насыпи 141 вер. Тамб. Сар. линіи сползаніе подошвы насыпи, наблюдавшееся во время рытья канавы для дренажа, равнялось величинѣ 2 мм. въ сутки. Инженеръ Поповъ, въ котлованахъ дренажныхъ рвовъ Симбирской пристанской вѣтки, также наблюдалъ сдвиги, при чемъ въ сухомъ зеркалѣ эта величина доходила до 0,01 саж. въ сутки, при влажномъ же, при вытеканіи воды по зеркалу сползанія, она доходила до 0,02 саж. въ часъ, при чемъ давленіе было такъ сильно, что дубовыя 4 вершк. распорки, поставленныя черезъ 0,50 саж. лопались.

Итакъ, одно изъ главнѣйшихъ условій образованій сплывовъ это наличіе наклонныхъ пластовъ. Но это не значитъ, чтобы было необходимо, чтобы наклонъ пластовъ имѣлъ мѣсто на всемъ протяженіи движенія; очень часто случается, что плоскости сползанія въ нѣкоторыхъ мѣстахъ подымаются, образуя какъ бы котловину.

Способъ сопротивленія опорныхъ массъ у подошвы падающихъ слоевъ и отношеніе послѣднихъ зависитъ исключительно отъ глубины залеганія плоскости скольженія.

Если толщина подвижного слоя у подошвы незначительна, то здѣсь часто происходитъ поднятіе или запруживаніе, между тѣмъ, какъ сдерживающія массы остаются въ своемъ прежнемъ положеніи.

Если плоскость скольженія имѣетъ въ нижней части котловинообразную форму, такъ что она, наконецъ, принимаетъ относительно главнаго направленія движенія противоположный наклонъ, то въ котловинѣ сложившіяся опорныя массы нерѣдко продвигаются и

поднимаются по поднимающейся сторонѣ котловины. Если въ такой мѣстности будетъ заложена выемка, то какое вліяніе окажетъ это на условіе равновѣсія массы зависитъ отъ положенія и направленія ея оси относительно наклона пластовъ.

Если выемка распространяется только приблизительно въ направленіи падающихъ слоевъ, то эти послѣдніе теряютъ частью или въ цѣломъ свою опору послѣ разрѣзки грунта. Если, однако, подошва выемки остается такъ высоко надъ плоскостью скольженія, что слои имѣютъ еще достаточную опору въ массахъ подъ подошвой выемки, то, конечно, всякая опасность сплыва, вызываемая разработкой выемки, исключается. При небольшой мощности массъ между подошвой выемки и плоскостью скольженія проявленіе сползанія и сложнѣе, и опаснѣе. Могутъ проявиться не только частичные сплывы на горномъ откосѣ, но и вся выемка съ выше и ниже лежащимъ терреномъ можетъ придти въ движеніе, и часто происходитъ явленіе подъема подошвы выемки. Причина подъема подошвы зависитъ или отъ того, что верховая (нагорная) часть выемки сползаетъ скорѣе, нежели низовая, или же отъ того, что низовая часть уперлась своей подошвой во что-нибудь неподвижное, или отъ того, что подъ подошвой, вслѣдствіе существованія котловины образовалось скопленіе воды, которое и приподняло подошву насыпи, какъ представляющую наименьшее сопротивленіе.

Такой подъемъ подошвы выемки можетъ быть тамъ ожидаемъ, гдѣ выемка проходитъ черезъ сѣдло, отъ котораго водоносные слои подымаются въ обѣ стороны и при томъ слои залегаютъ не глубоко подъ подошвою выемки.

Если наконецъ плоскость сползанія при разработкѣ выемки прорѣзывается, то сдерживающія ее массы удаляются и вѣроятность сплыва наибольшая. Въ этомъ случаѣ выемка дѣйствуетъ, какъ дренажъ для водоносныхъ слоевъ, выступающихъ на поверхность въ откосахъ.

Въ этихъ случаяхъ, когда выемка прорѣзываетъ водоносный слой, необходимо заложить штольню или дренажъ съ верховой стороны выемки и придать откосу пологое заложеніе.

Какъ штольня, такъ и канава должны быть достаточно удалены отъ верхняго края откоса. Это удаленіе зависитъ отъ общаго уклона холмистой мѣстности, отъ уклона и глубины залеганія водоноснаго слоя, наконецъ, отъ глубины выемки.

Въ выемкахъ, гдѣ водоносный слой лежитъ ниже подошвы, кромѣ прочихъ работъ, нужно заложить дренажную канаву по

кювету, доходящую до водоноснаго слоя. На этомъ заполненномъ камнемъ дренажѣ устраиваютъ кюветъ изъ каменной кладки на цементномъ растворѣ, чтобы дождевыя и вообще поверхностныя воды не попадали въ водоносный слой.

Если частный сплывъ является слѣдствіемъ источниковъ или подземныхъ водъ, то единственнымъ средствомъ является собраніе (улавливанье) воды. Собраніе заключается въ созданіи дренажнаго разрѣза или штольни, слѣдующихъ за источникомъ по направленію и по глубинѣ. Для полнаго успѣха они должны быть доведены до достаточной глубины въ терренѣ и край (конецъ) ихъ долженъ быть въ разстояніи 5 саженей (считая по горизонтальному направленію) отъ верхняго края откоса.—Такъ какъ границы никакими заданіями не могутъ быть точно ограничены, то всегда слѣдуетъ, не заботясь о сбереженіи, лучше задаться большей длиною. Очень часто приходится въ концѣ дренажа закладывать небольшія отвѣтвленія въ зависимости отъ притеканія новыхъ водяныхъ жилъ присутствіе которыхъ выяснилось только во время работъ.

У насъ особенно сильно сплывы проявляются по берегамъ большихъ рѣкъ.

Вліяніе рѣки сказывается не только въ непосредственномъ размываніи и уносѣ частей берега, а значитъ, и обвалѣ частей его вышележащихъ, но и въ насыщеніи и въ подпорѣ грунтовыхъ водъ водоносныхъ слоевъ высокими водами рѣки. Какой изъ этихъ двухъ факторовъ является рѣшающимъ при сплывѣ, зависитъ отъ мѣстныхъ условій. Какъ примѣръ такихъ береговыхъ сплывовъ можетъ служить косогоръ у Батраковъ, гдѣ на протяженіи нѣсколькихъ верстъ идутъ рядомъ двѣ линіи Моск.-Казан. и Сызрано-Вяземская.

Еще въ 1881 году на первомъ съѣздѣ инженеровъ службы пути было сдѣлано слѣдующее сообщеніе Инженеромъ Рейнботомъ, начальникомъ пути Моршано-Сызранской ж. д.

На М.-С. ж. д. поврежденія полотна были отъ 490 вр. по направленію къ Батракамъ на 490, 491, 492 верстахъ, гдѣ путь проложенъ косогоромъ р. Волги. По производствѣ во время эксплоатаціи буренія до глубины 19 саж., выяснилось, что напластованіе грунта было слѣдующее: верхній слой чрезвычайно неправильно бугристый, отъ 3 до 19 саж. толщины, состоялъ изъ сухой пористой бурой глины, съ примѣсью мергеля, аспиднаго камня и известняка; слѣдующій слой изъ синей, чрезвычайно плотной непропускающей воду глины, отъ вліянія воды очень взмыливающей-

ся и дающей чрезвычайно скользкую поверхность. Слой этотъ неравномѣрной толщины залегаетъ на горизонтальномъ слоѣ очень мелкаго песка. По нанесеніи результатовъ буренія на планѣ мѣстности горизонталями, оказалось, что плотная скользкая глина образуетъ какъ бы лощину. Можно было предположить, что по этой лощинѣ въ давнемъ времени происходило береговое теченіе Волги—затѣмъ въ лощину эту вѣроятно обрушилась громадная толща бурой глины, заполнила ее и оттѣснила теченіе Волги къ лѣвому берегу. Основываясь на этомъ предположеніи былъ сдѣланъ глубокій дренажъ въ Волгу, для вывода изъ лощины просачивающихся въ нее дождевыхъ, снѣговыхъ водъ и весенней волжской, смачивающихъ синюю глину и тѣмъ производившихъ скольженія по бурой. Продолжая тѣмъ временемъ буровыя скважины оказались, что провалы и сдвиги полотна происходили въ тѣхъ мѣстахъ полотна, гдѣ таковое залегало на обращенномъ къ Волгѣ откосѣ синей глины, поэтому полотно, независимо отъ дренажа, отнесли на обратный склонъ синей глины. Съ того времени, заканчиваетъ свой докладъ инженеръ Рейнботъ, прошло четыре года и никакихъ движеній полотна не оказывается. Однако появившаяся въ печати въ 1893 году въ ж. М. П. С. замѣтка объ исправленіи пучинистой выемки одной изъ тѣхъ же верстъ I. Ліона начатая въ 1891 г. указываетъ, что не все обстояло благополучно.

Инженеромъ Шельтингомъ былъ составленъ проектъ укрѣпленій на бывшихъ 491, 492, 493 и 494 вр. Моршано-Сызран. ж. д. (1077, 1078, 1079 и 1080 вр. Сызрано-Вяземской ж. д.)

Въ пояснительной запискѣ къ этому проекту прежде всего отмѣчается, что уже по своему внѣшнему виду характеръ мѣста этихъ верстъ совершенно отличенъ отъ характера мѣстности, какъ передъ ними такъ и за ними лежащей. Именно: имѣются трещины, заходящія даже въ самое полотно, крутые обрывистые косогоры съ признаками недавнихъ сплывовъ, выпученные эллипсоидальной формы холмы и т. д. Засимъ, вскользь замѣтивъ о существованіи воронокъ и возможности образованія овраговъ путемъ сліянія ихъ,—инж. Шельтингъ переходитъ къ такому объясненію: «подобная разница въ характерѣ мѣста на протяженіи этихъ верстъ объясняется характеромъ наслоеній и системами формацій: каменоугольной, юрской и мѣловой, которыя можно встрѣтить на протяженіи восьми верстъ. «Разсматривая далѣе, на основаніи данностей буренія формацій, какъ будто устанавливается фактъ, что сплывы происходятъ по пласту черной глины съ вкраплеными желваками

желѣзнаго колчедана. Кромѣ этой черной глины существенную роль играютъ пласты песковъ съ незначительными уклонами къ Волгѣ и иногда отъ Волги».—Засимъ Шельтингъ говоритъ, что поверхность черной глины состоитъ изъ нѣсколькихъ лощинъ и хребтовъ, что хребты и лощины лежатъ подъ тупымъ угломъ къ Волгѣ и что лощины и хребты сохраняютъ почти параллельное между собою направленіе, что характеръ очертанія поверхности земли совершенно совпадаетъ съ очертаніями поверности черной глины—не только въ расположеніи склоновъ, но и въ горизонтальныхъ простираніяхъ.

Отсюда логически вытекаетъ, что для уничтоженія сплывовъ нужно:

а) опредѣлить слои подводящіе воду, смачивающую поверхность черной глины

б) опредѣлить, смачивается-ли поверхность черной глины водою просачивающейся изъ Волги.

Установивъ это положенія, по существу изъ объяснительной записки—не вытекаетъ, чтобы это было установлено и детально выяснено, авторъ проектируетъ продольный дренажъ съ выпусками воды въ Волгу изъ пониженныхъ мѣстъ.

По проекту дренажную галлерею (штольню?) пришлось бы рыть на глубинѣ чуть не сорока сажень огромной длины съ поглащающими колодцами глубиной въ 50 саж. и т. д. Такое положеніе вещей испугало самаго автора и потому имъ предлагается другой варіантъ: «казалось бы возможнымъ отнести полотно дороги на приплескъ р. Волги, гдѣ черная глина выклинивается и гдѣ она прикрыта, какъ оказалось по произведеннымъ буровымъ изысканіямъ, слоемъ наноса отъ 0,50 до $1^1/_2$ саж., устроить дамбу выше горизонта самыхъ высокихъ водъ р. Волги, снять наносъ, срѣзать черную глину уступами съ горизонтальными площадками и укрѣпить откосы дамбы мостовою или фашинникомъ».

Конечно и этотъ варіантъ долженъ быть отнесенъ къ числу тѣхъ, которые разрабатываются для того чтобы ихъ никогда не дѣлать, а потому отсюда вытекала, само собой, необходимость уйти съ линіей на новое мѣсто.

Много лѣтъ тому назадъ горный инжен. В. И. Меллеръ также дѣлалъ изслѣдованія этого косогора и пришелъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1) Сызрано-Батракскій участокъ ж. д. проложенъ по награжденіямъ старыхъ оползней возвышеннаго (праваго) берега р. Волги.

2) Оползни эти, состоящіе изъ мягкихъ мергелей юрской системы, отъ времени до времени обнаруживаютъ движеніе по разнымъ направленіямъ, но всегда въ сторону русла р. Волги.

3) Всѣ эти явленія, бороться съ которыми очень трудно, усугубляются еще тѣмъ обстоятельствомъ, что вышеупомянутые мергеля содержатъ мельчайшія вкрапленія гипса, легко растворяемаго атмосферною водой (при содѣйствіи $CO_2$) вслѣдствіе чего развиваются многочисленныя подземныя полости, вызывающія образованіе болѣе или менѣе значительныхъ проваловъ на поверхности батракскаго откоса.

Въ заключеніе инженеръ Меллеръ совѣтуетъ бросить это мѣсто линіи и искать другого выхода къ Волгѣ, именно тамъ, гдѣ изъ подъ юрскихъ мергелей наружу выступаютъ болѣе твердыя породы—известняки каменоугольной и пермской формаціи.

Съ тѣхъ поръ осадка и оползни повторялись почти каждый годъ при чемъ maximal'ные размѣры движенія достигли въ 1903 году.

Именно 13 мая 1903 года сначала медленное движеніе насыпи кончилось внезапнымъ обваломъ, такъ что рельсы остались на вѣсу, стыки лопнули. Движеніе было прекращено; осадка была около 0,40 сж.

Временной досыпкой земли удалось возстановить путь и пустить поѣзда. Послѣ этого насыпь на $107^8/_9$ вер. Сызр. Вяз. ж. д. ($28^8/_9$ вер. Моск. Казан.) въ теченіе лѣта, осени и зимы 1903—1904 продолжала двигаться, при чемъ появились новыя трещины на всемъ протяженіи $28^8/_9$ вер. (Смотр. общій планъ Батр. косогора на отд. листѣ въ концѣ книги). На этой же верстѣ находится каменная труба отверстіе 0,50 саж. Кольца этой трубы, вслѣдствіе движенія насыпи сильно перемѣстились одно относительно другого. Изъ разсмотрѣнія положеній колецъ видно, что движеніе происходило и по горизонтальному и по вертикальному направленіямъ. Среднія кольца настолько сильно просѣли, что труба уже не могла служить для пропуска воды и потому рѣшено было совершенно отверстіе ее забить, а весеннія воды (весны 1904 г.) были пропущены съ помощью штольни подъ деревянный лотокъ, находящійся саженяхъ въ 200 дальше по направленію къ Батракамъ

При рытьѣ штольни (на протяженіи почти 110 пог. саж. при максимальной глубинѣ ∞ 3 саж.) былъ обнаруженъ только одинъ ключъ. Движенія почвы были замѣчаемы, но только движенія такъ сказать поверхностныя. По заявленію инженера Малиновскаго особеннаго напора на крѣпи штольни нѣтъ.

Мѣстный начальникъ дистанціи инженеръ Малиновскій, сопоставляя свои наблюденія и наблюденія сторожилъ, приходитъ къ слѣдующимъ положеніямъ:

1) Наибольшіе оползни наблюдались въ тѣ годы, когда наблюдался наиболѣе быстрый спадъ водъ р. Волги, а не въ тѣ годы, когда выпадало болѣе дождей.

2) Наибольшіе оползни происходятъ въ періодъ времени съ 20 мая по 1 іюля, въ остальное же время и осенью проявляются лишь незначительныя просадки.

3) Періодъ съ 20 мая по 1 іюля какъ разъ соотвѣтствуетъ періоду спада водъ р. Волги.

4) При оползняхъ 1903 года наиболѣе просѣла средняя часть косогора, находящаяся подъ полотномъ дороги, часть же ближайшая къ берегу просѣла менѣе.

5) При оползняхъ 1904 года наиболѣе просѣла низовая часть косогора, представляющая, какъ бы контрфорсъ при верхней части, почему можно ожидать большихъ просадокъ въ 1905 году.

6) Наибольшее горизонтальное перемѣщеніе земляныхъ массъ за два года оползней достигло величины около одной сажени (полагая это перемѣщеніе равнымъ суммѣ ширинъ всѣхъ трещинъ), наибольшая же вертикальная просадка болѣе четырехъ саженъ.

Эти положенія заставляютъ думать, что здѣсь скорѣе имѣется явленіе провала, а не сдвига.

Такимъ образомъ можно сдѣлать предположеніе, нѣтъ ли подъ полотномъ ниже уровня высокихъ водъ водопроницаемаго, легко выщелачиваемаго слоя? Если это такъ, то можно полагать, что высокія воды Волги, насыщая его, при быстромъ паденіи уносятъ его, что и служатъ причиною проваловъ. Суммируя все, приходимъ къ выводу, что далеко нѣтъ всѣхъ данныхъ для полнаго уясненія причинъ просадокъ косогора 289 вер.

Напримѣръ, совершенно нѣтъ ежегодныхъ промѣровъ р. Волги у мѣстъ наибольшихъ просадокъ. Между тѣмъ весьма вѣроятно, что Волга оказываетъ вліяніе на просадки. Это обстоятельство настолько важно, что его игнорировать нельзя. Что касается самаго метода изслѣдованія, и такъ сказать «степени законченности», то вспомнивъ все, что раньше говорилось по поводу изслѣдованія «неблагополучныхъ мѣстностей», нужно согласиться, что далеко не все было исполненно и что произведенныя изслѣдованія могли бы быть отнесены только къ разряду «предварительныхъ». Вообще вопросъ о нужныхъ мѣрахъ для приданія устойчивости косогору

нужно считать открытымъ, ибо нѣтъ полнаго изслѣдованія всѣхъ вліяющихъ факторовъ.

Причина же просадокъ, представляющаяся наиболѣе правдоподобной, какъ это предполагаетъ и инженеръ Меллеръ,—заключается въ томъ, что линія проходитъ въ старыхъ оползняхъ, гдѣ вслѣдствіи обвала нарушена сила сцѣпленія массъ.

Такимъ образомъ сопротивляющимся внѣшнимъ моментомъ противъ сползанія массъ является сила тренія и сопротивленіе массъ почвы съ низовой стороны.

Такъ какъ въ массѣ этихъ оползней, какъ утверждаетъ инженеръ Меллеръ, имѣются вкрапленія гипса, который послѣ дѣйствія воды даетъ пустоты—провалы, и такъ какъ снизу Волга можетъ уносить поддерживающія оползень массы, то весьма естественно, что въ массѣ оползней происходятъ постоянныя деформаціи.

*Е. Соковичъ.*

# Повѣрочный разсчетъ [1]) желѣзныхъ ригельныхъ полотенъ воротъ въ шлюзахъ для р. С. Донца.

## *А.* Общее описаніе.

### *Желѣзныя полотна воротъ.*

Верхнія незатопляемыя ворота шлюза № 1 возвышаются до горизонта самыхъ высокихъ водъ, т.-е. до отмѣтки $7_{,39}$ и имѣютъ высоту $9_{34}$, метра. Высокія воды, имѣя свободный доступъ къ воротамъ съ обѣихъ сторонъ, не производятъ на нихъ никакого давленія, почему для разсчета этихъ полотенъ принятъ рабочій подпоръ [2])$=1_{,35}$ сажени. Полотна воротъ въ планѣ имѣютъ очертаніе со стороны короля прямолинейное, а со стороны напора—въ видѣ ломаной линіи, вписанной въ кругъ; такимъ очертаніемъ сообщается полотну форма болѣе или менѣе близко подходящая къ формѣ бруса равнаго сопротивленія. Остовъ состоитъ изъ горизонтальныхъ ригелей со сплошными стѣнками, уголками и листами, при чемъ ригеля размѣщены по высотѣ такъ, чтобы всѣ испытывали одинаковое давленіе отъ воды, вслѣдствіе чего

---

[1]) Произведенъ мною въ ноябрѣ 1901 г. при разсмотрѣніи въ Правленіи Московскаго Округа Путей Сообщенія проекта шлюзованія р. С. Донца.

[2]) О распредѣленіи подпоровъ и шлюзовъ см. *Н. Д. Тяпкинъ.* Опредѣленіе отверстій плотинъ на р. С. Донцѣ. Тифлисъ. 1903 г.; „Инженерное Дѣло“ 1903 г. № 1

всѣ ригеля имѣютъ одинаковое сѣченіе. Ригеля по концамъ связаны при помощи накладокъ съ вереяльнымъ и створнымъ столбами, сѣченія которыхъ отвѣчаютъ передаваемымъ ими усиліямъ. Обшивка изъ волнистаго желѣза, вмѣсто плоскаго, примѣнена для уменьшенія вѣса. Давленіе отъ полотенъ воротъ передается на стѣнку помощью упорныхъ подушекъ изъ литой стали, прикрѣпленныхъ къ вереяльному столбу болтами; подушки размѣщены черезъ одинъ ригель по высотѣ. Стѣнка принимаетъ давленіе отъ воротъ черезъ чугунныя доски съ ребордами, заложенныя на слоѣ цемента въ углубленіяхъ, вытесанныхъ въ штучныхъ вереяльныхъ камняхъ. Для плотнаго соприкасанія со стѣнами и королемъ, а также въ створѣ, полотна обдѣланы деревянными брусьями, соотвѣтственно прикрѣпленными помощью болтовъ къ вереяльному и створному столбамъ и къ нижнему рамному ригелю.

Полотна воротъ вращаются на пятѣ (фиг. 3) изъ литой стали, имѣющей подпятникъ, посаженный въ высѣченномъ въ штучномъ камнѣ гнѣздѣ на слоѣ цемента. Пята сбоку имѣетъ форму подушки, помощью которой передается боковое давленіе на стѣну отъ ригеля. При вращеніи, полотна удерживаются въ вертикальномъ положеніи помощью гальсбанта, спроектированнаго по типу, примѣненному для воротъ Дортмундъ-Эмденскаго канала. Этотъ гальсбантъ состоитъ изъ: подушки, собственно гальсбанта съ осью и двухъ анкерныхъ тягъ. Подушка, передающая давленіе отъ верхняго ригеля, обхватываетъ въ верхней своей части кольцо гальсбанта; стальная шейка проходитъ чрезъ кольцо гальсбанта и опирается по своимъ концамъ въ отверстіяхъ лапъ подушки, слѣдовательно она подвергается двойному перерѣзыванію. Гальсбантъ имѣетъ два развѣтвленія съ утолщеніями по концамъ. Эти утолщенія обхватываются хомутами, соединенными шарнирно съ анкерными болтами. Черезъ заднюю часть хомутовъ проходятъ стальные болты, которые сферическими своими концами упираются въ соотвѣтственныя углубленія подушки гальсбанта. Вращеніемъ болтовъ вправо или влѣво производится натяженіе или ослабленіе гальсбанта. Анкерные болты имѣютъ на концахъ чугунныя доски, передающія давленіе на стѣну. Весь механизмъ гальсбанта помѣщенъ въ углубленіи каменной кладки устоя на чугунной доскѣ, имѣющей въ планѣ размѣры углубленія. Само углубленіе прикрыто сверху вровень съ устоемъ рифленымъ желѣзомъ.

Для противодѣйствія провисанію воротъ, кромѣ плоской діагональной и жесткой уголковой связей, внизу подъ ригелемъ расположенъ

чугунный катокъ. Въ виду значительнаго вѣса незатопляемыхъ воротъ, чугунный катокъ предположенъ съ приспособленіемъ для нажиманія его на кольцеобразную полосу, вдѣланную въ кладку. Катокъ помѣщается въ коробкѣ, образуемой вставкою двухъ вертикальныхъ листовъ между нижними ригелями. Подшипники оси катка движутся въ салазкахъ вверхъ и внизъ, и удерживаются вмѣстѣ съ каткомъ на надлежащемъ мѣстѣ нажатіемъ конца цилиндрическаго вала, идущаго во всю высоту воротъ и проходящаго надъ верхнимъ ригелемъ черезъ барабанъ съ винтовою нарѣзкою. Опусканіе или поднятіе катка производится вращеніемъ вала въ барабанѣ посредствомъ рукоятки, насаживаемой въ случаѣ надобности на четыреугольный конецъ вала.

Для впуска воды въ камеру въ полотнахъ воротъ устроены клинкеты по 6 штукъ въ каждомъ. Три клинкета по вертикали соединены между собою параллелограммомъ и открываются одновременно на подобіе жалюзи помощью тяги. Тяга, удерживаемая въ вертикальномъ положеніи помощью нѣсколькихъ направляющихъ подшипниковъ, прикрѣпленныхъ къ обшивкѣ полотна, оканчивается вверху винтовою нарѣзкою, которая входитъ въ цилиндръ съ такою же самою нарѣзкою. Цилиндръ вращается въ двухъ подшипникахъ помощью маховика, не имѣя поступательнаго движенія. Такимъ образомъ, вращая цилиндръ вправо или влѣво, поднимаютъ или опускаютъ тягу, а слѣдовательно закрываютъ или открываютъ клинкеты; круговое же движеніе рычаговъ у клинкетовъ передается на нижнее колѣно тяги, соединенное со штангой и параллелограммомъ шарнирно. Чугунная рама клинкетнаго окна имѣетъ закраины, въ которыя упираются края клинкетовъ (щитовъ); къ уголкамъ полотна воротъ она прикрѣпляется болтами. Самъ клинкетъ состоитъ изъ массивной, квадратнаго сѣченія, горизонтально вращающейся въ подшипникахъ оси и обшивки изъ желѣзныхъ листовъ, склепанныхъ между собою по периметру.

Къ верхнему ригелю приклепаны желѣзныя скрѣпленія, на которыя положенъ досчатый настилъ шириною въ 3 доски. Сбоку сдѣланы легкія перила изъ стоекъ, черезъ которыя проходятъ желѣзные прутья въ два ряда по высотѣ.

Къ верхнему ригелю прикрѣплена на шарнирѣ желѣзная штанга, состоящая изъ двухъ легкихъ швеллеровъ, между стѣнками которыхъ вставлены стержни-заклепки (такъ наз. цѣвки), съ надѣтыми на нихъ втулками; получается такимъ образомъ зубчатая (цѣвоч-

ная) полоса. Цѣвки полосы зацѣпляются шестернею—стоящей на устояхъ лебедки и прижимаются къ шестернѣ двумя роликами. При вращеніи рукоятокъ лебедки зубчатая штанга подается впередъ и открываетъ полотно воротъ; сама же входитъ въ углубленіе въ кладкѣ, катясь по чугунной плитѣ на роликѣ, прикрѣпленномъ на концѣ штанги. Роликъ описываетъ кривую линію, опредѣляющую размѣры углубленія въ кладкѣ стѣны. Углубленіе для шестерни и для нижняго механизма лебедки прикрыто рифленымъ желѣзомъ.

Нижнія ворота шлюза № 1-й подвержены тому же самому подпору=1,35 саж., что и верхнія, поэтому размѣры ригелей, вереяльныхъ и створныхъ столбовъ—тѣ же. Ворота—затопляемы и потому высота ихъ, 5,46 метра, соотвѣтствуетъ только дѣйствующему подпору. Въ общемъ, конструкція полотенъ воротъ одинакова съ предыдущими. Клинкетовъ въ каждомъ полотнѣ 4 вмѣсто 6, сообразно съ удобствомъ ихъ расположенія; щиты вращаются около горизонтальныхъ осей и соединены шарнирными параллелограммами попарно. Катокъ предположенъ простого устройства съ подшипникомъ, прикрѣпленнымъ болтами съ нижней стороны рамнаго ригеля. Для регулировки его съ цѣлью соотвѣтственнаго нажатія на дугообразную желѣзную полосу, задѣланную въ кладку флютбета, можно между листомъ ригеля и подшипникомъ проложить свинцовые листы. Гальсбантъ предположенъ для этихъ воротъ очень прочной, устарѣвшей конструкціи. Вмѣсто него можно бы примѣнить гальсбантъ такой же, какъ у предыдущихъ воротъ, или же, проще и лучше всего,—принятый для воротъ остальныхъ шести шлюзовъ, описаніе котораго помѣщено ниже. Переходный мостикъ, а также механизмъ для открыванія воротъ устройства, подобнаго вышеописанному.

Ворота для шлюзовъ №№ 2—7 (Фиг. 1) имѣютъ рабочій подпоръ одинаковый=1,24 сажени, т. е. только на 0,11 саж. меньше подпора у шлюза № 1. Поэтому конструкція и размѣры частей полотенъ воротъ взяты одинаковые съ предыдущими, что даетъ незначительный излишекъ прочности; высота же воротъ=5,20 метра. Клинкетовъ имѣется по 4 въ каждомъ полотнѣ, соединенныхъ попарно въ видѣ жалюзи, съ горизонтальными осями вращенія. Катокъ противъ провисанія простого устройства; ось его помѣщается въ подшипникахъ подъ концомъ нижняго рамнаго ригеля. Гальсбантъ (Фиг. 2) нѣсколько иного устройства, чѣмъ вышеописанные. Онъ состоитъ изъ трехъ частей: собственно гальсбанта, подушки

и анкерныхъ болтовъ. Гальсбантъ имѣетъ два стальные болта, проходящіе свободно чрезъ кольцеобразныя отверстія въ приливахъ подушки. Приливы съ наружной стороны имѣютъ сферическія углубленія, соотвѣтствующія такой же формѣ подгаешниковъ. Для подтягиванія полотенъ воротъ нужно контргайки со стороны воротъ отпустить, а гайки и контргайки съ противоположной стороны завинтить. Тогда винты входятъ глубже въ неподвижно лежащую въ углубленіи устоя подушку и подтягиваютъ полотна. Оба болта при этомъ свободно измѣняютъ величину угла между ихъ направленіями, наклоняясь немного въ кольцеобразныхъ отверстіяхъ приливовъ, чему не препятствуютъ и подгаешники, скользя по фасоннымъ сферическимъ углубленіямъ приливовъ. Этотъ гальсбантъ дѣйствуетъ аналогично съ гальсбантомъ, примѣненнымъ для незатопляемыхъ воротъ шлюза № 1. Настилъ служебнаго мостика укрѣпляется къ полотнамъ воротъ помощью уголковаго желѣза. Во всемъ остальномъ ворота по конструкціи одинаковы съ предыдущими.

## *Шандоры.*

Для защиты воротъ весною отъ ледохода а также для осушенія на случай ремонта пространства въ головныхъ частяхъ шлюза и самой камеры предположены для каждаго шлюза шандоры. Они состоятъ изъ квадратныхъ деревянныхъ брусьевъ, закладываемыхъ въ пазы головъ. Для того, чтобы уменьшить нужное сѣченіе шандорныхъ брусьевъ, а слѣдовательно и ихъ цѣнность, отверстіе шлюза раздѣляется двумя стойками на три пролета. Стойки высотою вровень со стѣнами дѣлаются составными, съ пазами для шандоровъ и вставляются въ гнѣзда, выбранныя въ кладкѣ флютбета. Каждая стойка подпирается двумя по высотѣ подкосами, которыхъ одинъ конецъ входитъ въ углубленіе въ кладкѣ, а другой соотвѣтственною притескою шипомъ въ гнѣзда стойки. На случай установки шандоровъ въ два ряда, для устройства перемычки, между стойками помѣщаются схватки, а наружныя стойки поддерживаются подкосами. Для каждаго шлюза предположенъ одинъ комплектъ шандоровъ, для устройства перемычки въ верхней головѣ. Слѣдовательно для № 1 взято $3.2,_{35}.10.2 = \infty 150$ штукъ и для остальныхъ по $2,_{24}.3.10.2 \overline{\overline{\infty}} 140$ штукъ, а также по 4 стойки и по 4 подкоса.

*Желѣзныя двери (щиты)) для галлерей.*

На половинѣ длины галлереи (кругового канала) [1]) устроенъ въ кладкѣ устоя вертикальный колодецъ, обдѣланный облицовкою; посрединѣ колодца вдѣлана въ кладку галлереи чугунная рама, къ ребордамъ которой плотно прилегаетъ затворъ. Послѣдній состоитъ изъ вертикальной желѣзной квадратнаго сѣченія съемной оси и листовой съ двухъ сторонъ обшивки. По периметру этого щита, для приданія большей жесткости, приклепаны парныя желѣзныя планки; съ этою же цѣлью приклепаны поперечныя планки въ три ряда по высотѣ. Ось оканчивается внизу пятой и вверху шейкою, помѣщающимися соотвѣтственно въ подпятникѣ и верхнемъ подшипникѣ. Пята вставляется въ подпятникъ спереди; затѣмъ для установки двери на надлежащей высотѣ подъ вкладышъ подпятника вколачиваются два желѣзные клина, удерживаемые заклинками въ прорѣзахъ клиньевъ и нижней части тѣла подпятника. Ось щита, когда онъ прислоненъ къ своей рамѣ, вставляется сверху въ пустое квадратное пространство между обшивками и удерживается на мѣстѣ клиномъ, проходящимъ черезъ ось и черезъ обшивку. При снятіи щита, сначала выколачиваютъ верхній клинъ изъ оси, затѣмъ вынимаютъ заклинку нижнихъ клиньевъ, послѣ чего вытаскиваютъ и самые клинья; вслѣдствіе этого вкладышъ подпятника опускается внизъ и освобождаетъ пяту; вытянувъ освобожденную отъ клина ось вращенія наружу, вынимаютъ полотно двери движеніемъ вбокъ и наконецъ поднимаютъ ее на верхъ. У верха вертикальнаго колодца на $0,_{26}$ саж. ниже поверхности устоя находится каменная площадка, на которой основанъ механизмъ для маневрированія. Онъ состоитъ изъ чугуннаго зубчатаго квадранта, насаженнаго на верхній конецъ оси дверей. Квадрантъ приводится въ движеніе шестернею, сидящею на оси лебедки, помѣщенной на верху устоя, и вращаетъ двери галлереи около вертикальной оси. Шестерня и квадрантъ вращаются въ подшипникахъ, укрѣпленныхъ на общей чугунной доскѣ. Колодецъ прикрытъ соотвѣтственной формы листовымъ рифленымъ желѣзомъ.

---

[1]) Объ устройствѣ и размѣрахъ канала см. *Н. Д. Тяпкинъ.* Опредѣленіе времени наполненія и опорожненія камеръ шлюзовъ на р. С. Донцѣ. Тифлисъ. 1903 г. „Инженерное Дѣло“ 1903 г. № 1. Кромѣ того, *Н. Д. Тяпкинъ.* Повѣрочный разсчетъ устойчивости стѣнъ шлюзовъ и устоевъ плотинъ для р. С. Донца. Москва. 1905 г.; «Инженерное Дѣло» 1905 г., №№ 1 и 2.

### *Деревянные щиты для галлереи.*

Для осмотра дверей, а также для сниманія ихъ на зиму служатъ деревянные щиты, задвигаемые съ двухъ сторонъ колодца въ сдѣланные для сего въ кладкѣ пазы. Щиты состоятъ изъ горизонтальныхъ досокъ, соединенныхъ между собою по длинѣ въ полдерева и проконопаченныхъ. Доски связаны въ щиты желѣзными уголками на болтахъ. Подъ уголки вставлены квадратные чугунные бруски, придающіе большій вѣсъ щитамъ, не позволяя имъ всплывать. Со стороны напора вставляются по высотѣ три щита, а съ противоположной стороны два щита. Послѣ установки щитовъ въ пазахъ, откачиваютъ воду изъ колодца и затѣмъ производятъ нужный осмотръ дверей. Впустивъ обратно воду въ колодецъ, щиты вытаскиваютъ за парные крюки, придѣланные къ каждому щиту.

### *Рымы.*

Для удержанія судна въ неподвижномъ положеніи во время наполненія и опорожненія камеры, а также для маневровъ при вводкѣ и выводкѣ судна изъ шлюза служатъ желѣзные рымы. Они состоятъ изъ желѣзныхъ колецъ, углубленныхъ въ нишахъ стѣны въ перпендикулярномъ къ камерѣ направленіи и закрѣпленныхъ болтами, проходящими черезъ стѣну. Поперекъ кольца наваренъ крестообразно отростокъ для болѣе удобнаго обматыванія каната. Рымы задѣланы въ головахъ шлюза со стороны камеры, а также въ стѣнкахъ камеры въ разстояніи 4 саж. другъ отъ друга.

### *Причальныя тумбы.*

Для такой же цѣли, какъ и рымы, размѣщены по длинѣ камеры черезъ 4 саж. причальныя тумбы. Онѣ отлиты изъ чугуна полыми съ широкимъ фланцемъ внизу, за который закрѣпляются четырьмя болтами въ кладку.

### *Стремянки.*

Для возможности спускаться рабочимъ въ камеру на стоящее вровень съ нижнимъ бьефомъ судно или выходить изъ таковаго на верхъ — устроены по концамъ шлюза желѣзныя стремянки. Стремянка состоитъ изъ двухъ желѣзныхъ полосъ, между которыми заклепаны ступеньки изъ болтового желѣза. Къ полосамъ

по высотѣ припаяны по 3 крюка, которыми стремянка навѣшивается на вдѣланные въ кладку болты. У верхнихъ концовъ полосъ каждой стремянки устроены два крюка, которые послѣ навѣшиванія стремянки на болты захлестываются за верхніе болты и не позволяютъ приподняться стремянкамъ.

---

Ниже слѣдуетъ повѣрочный разсчетъ желѣзныхъ ригельныхъ полотенъ для нижнихъ затопляемыхъ воротъ Усть-Донецкаго шлюза. При этомъ, какъ видно изъ дальнѣйшихъ подсчетовъ, при составленіи новаго и послѣдняго проекта послѣ окончательныхъ изысканій, необходимо было бы перепроектировать нѣкоторыя части болѣе раціонально. Сдѣлать это при разсмотрѣніи проекта въ Правленіи Округа не было возможности за недостаткомъ средствъ и времени, почему рѣшено было указать лишь необходимыя исправленія, придерживаясь общей схемы представленнаго проекта. Окончательно полученные результаты вычисленій нанесены карминомъ на чертежахъ, отправленныхъ на утвержденіе въ Управленіе Вод. Сообщ. и Шос. Дор. *). Чертежи для данной статьи вычерчены согласно повѣрочныхъ разсчетовъ.

## *В.* Разсчетъ полотна воротъ и ихъ принадлежностей.

**Данныя** (Фиг. 4). Верхній подпорный горизонтъ воды надъ осью нижняго ригеля..... $2,_{41}{}^{c}$

Нижній подпорный (въ данномъ случаѣ меженній) горизонтъ воды надъ осью нижняго ригеля..... $1,_{06}{}^{c}$

Разсчетная высота воротъ..... $2,_{56}{}^{c}$

Уголъ $\alpha$ наклоненія воротъ (въ закрытомъ состояніи) къ перпендикуляру къ оси шлюза$=18^{0}20'$; $\operatorname{tg} 18^{0}20'=0,_{33136}$.

**Расположеніе ригелей.** Ригеля расположены такъ, что всѣ, за исключеніемъ верхняго и нижняго рамныхъ ригелей, испытываютъ одинаковое давленіе воды. Для этого необходимо полную площадь давленія разбить на отдѣльныя площадки, сообразно числу ригелей, такъ чтобы (Фиг. 5) верхній треугольникъ $\omega_0$ и нижній прямоугольникъ $\frac{\omega}{2}$ приходились на верхній и нижній рамные ригеля, а

---

*) Этотъ проектъ шлюзованія разсматривался въ Техническомъ Комитетѣ Управленія Вод. Сообщ. и Шос. Дор. въ іюлѣ 1902 г. и 5 сентября 1903 года и утвержденъ Инженернымъ Совѣтомъ М—ва П. С. 30 іюля 1903 г.

остальныя площади были бы равны между собою; затѣмъ всѣ промежуточные ригеля размѣстить на уровнѣ центровъ тяжестей соотвѣтственныхъ площадей. Для простоты и для запаса прочности, какъ всегда, горизонтъ верхняго бьефа принимается въ одномъ уровнѣ съ осью верхняго ригеля.

Пусть отъ треугольника $01a$ передается на ригель № 0 площадь $\omega_0$; тогда уравненіе моментовъ при вращеніи около № 1 будетъ:

$$\frac{x_1^2 . x_1}{2.3} - \omega_0 . x_1 = 0, \text{ откуда } \omega_0 = \frac{x_1^2}{6}.$$

Но $\omega_0 = \frac{y_0^2}{2}$, слѣдовательно: $\omega_0 = \frac{x_1^2}{6} = \frac{y_0^2}{2}$, т. е. $x_1 = y_0 . \sqrt{3}$.

Такъ какъ $x_1$—ордината центра тяжести трапеціи, приходящейся на ригель № 1, между ординатами $y_0$ и $y_1$, то:

$$x_1 = y_0 + \left(\frac{2y_1 + y_0}{y_1 + y_0}\right) \cdot \left(\frac{y_1 - y_0}{3}\right),$$

или:

$$y_0 . \sqrt{3} = y_0 + \frac{2y_1^2 + y_0 . y_1 - 2y_1 . y_0 - y_0^2}{3y_1 + 3y_0}.$$

Далѣе послѣдовательно имѣемъ:

$$3y_0 . y_1\sqrt{3} + 3 . \sqrt{3}y_0^2 - 3y_1 . y_0 - 3y_0^2 - 2y_1^2 - y_0 . y_1 + 2y_1 . y_0 + y_0^2 = 0;$$

$$y_0^2 . (3\sqrt{3} - 2) + y_0 . y_1 (2 . \sqrt{3} - 2) - 2y_1^2 = 0;$$

$$y_0^2 + y_0 . y_1 - \frac{2y_1^2}{3 . \sqrt{3} - 2} = 0;$$

$$y_0 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2y_1^2}{3\sqrt{3} - 2}} = \frac{y_1}{2} \cdot \left(-1 + \sqrt{\frac{3\sqrt{3} + 6}{3\sqrt{3} - 2}}\right) = 0{,}436 y_1;$$

$$y_0^2 = 0{,}19 . y_1^2.$$

Площадь для каждаго изъ промежуточныхъ ригелей будетъ:

$$\omega = \frac{y_1^2 - y_0^2}{2} = \frac{y_1^2 - 0{,}19 . y_1^2}{2} = 0{,}405 y_1^2.$$

Слѣдующую ординату $y_2$ можно опредѣлить изъ равенства всѣхъ трапецій:

$$\omega = \frac{y_2^2 - y_1^2}{2} = 0{,}405 . y_1^2;$$

$$y_2^2 - y_1^2 - 0{,}81 y_1^2 = 0; \; y_2^2 = 1{,}81 y_1^2; \; y_2 = y_1 . \sqrt{1{,}81}.$$

Высота прямоугольника давленія на нижніе ригеля:

$$c=\frac{\omega}{h}=\frac{0,_{405}\cdot y_1^2}{1,_{50}}.$$

Для опредѣленія ординаты $y_1$ имѣется условіе, что сумма частныхъ площадей давленія равняется полному давленію на полотно воротъ; тогда послѣдовательно находимъ:

$$\frac{y_0^2}{2}+5,_5\cdot\omega=\frac{\overline{1,_{50}}^2}{2}+1,_{50}\cdot 1,_{06}=2,_{715};$$

$$\frac{0,_{19}\cdot y_1^2}{2}+5,_5\cdot 0,_{405}y_1^2=2,_{715};$$

$$y_1^2\cdot\left(\frac{0,_{19}}{2}+5,_5\cdot 0,_{405}\right)=y_1\cdot(0,_{095}+2,_{228})=2,_{715};$$

$$y_1^2=1,_{17}\text{ сж.};\quad y_1=\sqrt{1,_{17}}=1,_{08}\text{ сж.}$$

Слѣдовательно:

$$\omega=0,_{405}\cdot y_1^2=0,_{47385}\text{ кв. саж.}=2,_{157}\text{ кв. м.}$$

$$c=\frac{\omega}{h}=\frac{0,_{47385}}{1,_{50}}=0,_{3158}{}^c=0,_{674}\text{ м.}$$

Поэтому имѣемъ:

$$y_2=\sqrt{1,_{81}}\cdot y_1=1,_{08}\cdot 1,_{35}=1,_{453}.$$

$$y_0=0,_{436}\cdot y_1=0,_{436}\cdot 1,_{08}=0,_{471}.$$

$$x_1=y_0\cdot\sqrt{3}=0,_{471}\cdot 1,_{732}=0,_{816}\text{ сж.}=1,_{741}\text{ м.}$$

$$x_2=y_1+\left(\frac{2y_2+y_1}{y_1+y_2}\right)\cdot\left(\frac{y_2-y_1}{3}\right)=1,_{08}+\left(\frac{2\cdot 1,_{453}+1,_{08}}{1,_{453}+1,_{08}}\right)\times$$

$$\times\left(\frac{1,_{453}-1,_{08}}{3}\right)=1,_{275}.$$

Сумма всѣхъ разстояній ригелей должна быть равна полной высотѣ воротъ, т. е.

$$x_1+(x_2-x_1)+3c+z=2,_{56}\text{ сж.}$$

По подстановкѣ найденыхъ величинъ, находимъ:

$$0,_{816}+(1,_{275}-0,_{816})+3.0,_{3158}+z=2,_{56};$$

$$0,_{816}+0,_{459}+0,_{9474}+z=2,_{56}.$$

Отсюда: $z=0,_{338}$ сж.$=0,_{721}$ м.

Теперь имѣемъ (Фиг. 6):

$$1,_{741}+0,_{979}+0,_{721}+0,_{674}+0,_{674}+0,_{674}=5,_{463} \text{ метр.}=2,_{56} \text{ саж.}$$

**Силы дѣйствующія на ригель.** Такимъ образомъ расположенные ригеля будутъ испытывать одинаковое давленіе воды, за исключеніемъ крайнихъ ригелей.

Разсчетная длина ригеля будетъ (Фиг. 7).

$$L=\sqrt{f^2+a^2},$$

а такъ какъ

$$f=a.\operatorname{tg}\alpha=\frac{6,_{50}{}^{c}}{2}.0,_{33136}=1,_{077} \text{ сж.},$$

то:

$$L=\sqrt{1,_{077}{}^2+3,_{25}{}^2}=\sqrt{1,_{160}+10,_{563}}=3,_{423} \text{ сж.}=7,_{305} \text{ метр.}$$

Полное давленіе на ригель будетъ:

$$P=730,_5.67,_4.0,_{32}=15755 \text{ килогр.}$$

Вслѣдствіе давленія $P$ на полотно воротъ является противодѣйствіе $D$ второй половины воротъ, которое направлено нормально къ плоскости створа, т. е. параллельно линіи $AC$ (Фиг. 7). Составляющая $S$ этой реакціи сжимаетъ ригель вдоль его оси.

Величины силъ будутъ:

$$T=D.\sin\alpha \text{ и } S=D.\cos\alpha.$$

Моментъ силъ $D$ и $P$ относительно точки $A$:

$$\frac{P.L}{2}-D.f=0.$$

Изъ этихъ трехъ уравненій находимъ:

$$D=\frac{P.L}{2.f}=\frac{P.L}{2L.\sin\alpha}=\frac{P}{2\sin\alpha}$$

$$T=\frac{P.\sin\alpha}{2\sin\alpha}=\frac{P}{2}=\frac{15755}{2}=7877,_5 \text{ килогр.}$$

$$S=\frac{P.\cos\alpha}{2\sin\alpha}=\frac{P}{2\operatorname{tg}\alpha}=\frac{P}{2\,.\,0,_{33136}}=1,_{5089}.P=23773 \text{ кл.}$$

**Подборъ сѣченія ригелей.** Всѣ ригеля имѣютъ въ планѣ форму бруса равнаго сопротивленія (Фиг. 8). Одинъ бокъ ригеля—прямой, а другой имѣетъ очертаніе по ломанной линіи, при чемъ линіи вписаны въ кругъ радіуса $34,_{14}$ метра. Высота стѣнки ригеля у вереяльнаго и створнаго столбовъ принята: $h$=30 см.; вся длина ригеля раздѣлена на 4 части съ соотвѣтственными ординатами въ точкахъ дѣленія: 50 см. въ срединѣ пролета и 45 см. въ сѣченіи, соотвѣтствующемъ одной четверти пролета. Сѣченіе ригеля должно состоять (Фиг. 9) изъ 4-хъ уголковъ (70.70.11), стѣнки, имѣющей перемѣнную высоту, согласно принятой формы ригеля и толщину $\delta$=10 м./м. и по два листа (170.11) съ обѣихъ сторонъ.

Моменты, дѣйствующіе въ сѣченіяхъ, гдѣ мѣняется высота стѣнки, а также въ промежуткахъ между ними, т. е. для $\frac{l}{8}$, $\frac{l}{4}$, $\frac{3l}{8}$, $\frac{l}{2}$ будутъ:

$$M_{\left(\frac{l}{2}\right)}=\frac{P.l}{8}=\frac{P.730,_5}{8}=91,_{31}.15755=1438589 \text{ кил. см.}$$

$$M_{\left(\frac{3l}{8}\right)}=\frac{P.l}{2}\cdot\frac{3l}{8}-\frac{3P.l}{8}\cdot\frac{3l}{16}=\frac{15.Pl^2}{128}=$$

$$=\frac{15.15755.730,_5}{128}=1348714 \text{ кил.—см.}$$

$$M_{\left(\frac{l}{4}\right)}=\frac{P.l}{2}\cdot\frac{l}{4}-\frac{P.l}{4}\cdot\frac{l}{8}=\frac{3P.l^2}{32}=$$

$$=\frac{3.15755.730,_5}{32}=1078971 \text{ кил.—см.}$$

$$M_{\left(\frac{l}{8}\right)}=\frac{P.l}{2}\cdot\frac{l}{8}-\frac{P.l}{8}\cdot\frac{l}{16}=\frac{7P.l^2}{128}=$$

$$=\frac{7.15755.730,_5}{128}=629399 \text{ кил.—см.}$$

Подобранное сѣченіе провѣряемъ въ 4-хъ мѣстахъ на $\frac{l}{2}$, $\frac{3l}{8}$, $\frac{l}{4}$ и $\frac{l}{8}$, гдѣ $l$—пролетъ:

1) При $\frac{l}{2}$ (Фиг. 9)

$$J_{netto}=8333,_3+29896,_8+54964,_4-16061,_{76}=77132,_8 \text{ см}^4.$$

$$\omega_{netto}=74,_8+56,_8+40-23,_8=147,_8 \text{ см}^2.$$

$$\rho^2=\frac{77132,_8}{147,_8}=522 \text{ см.}^2;\ \varphi=0,_{923}.$$

Допускаемое напряженіе:

$$R_1=700.0,_{923}=646 \frac{\text{килогр.}}{(\text{см.})^2}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n_1=\frac{1438589.27,_2}{77132,_8}=507 \frac{\text{килогр.}}{(\text{см.})^2}, \text{ т. е.}$$

$72,_6\%$ отъ допускаемыхъ 700 $\frac{\text{килогр.}}{(\text{см.})^2}$;

$$n_2=\frac{23773}{147,_8}=161 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}, \text{ т. е.}$$

$24,_9\%$ отъ допускаемаго 646 $\frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$.

Такимъ образомъ, использовано въ первомъ случаѣ $72,_6\%$ и во второмъ $24,_9\%$ каждаго кв. см. сѣченія, причемъ:

$$72,_6+24,_9=97,_5\%<100\%.$$

2) При $\frac{3l}{8}$ (Фиг. 10).

$$J_{netto}=7144,_8+26733+50214,_6-14030=70162,_6 \text{ см}^4.$$

$$\omega_{netto}=147,_8-2,_5=145,_3 \text{ см.}^2$$

$$\rho^2=\frac{70162,_6}{145,_3}=482 \text{ см.}^2;\ \varphi=0,_{918}$$

$$R_1=700.0,_{918}=643 \text{ килогр./см.}^2$$

$$n_1 = \frac{25,_9 \cdot 1348714}{70162,_6} = 498 \text{ кл./см.}^2, \text{ т. е. } 71,2\% \text{ отъ } 700 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_2 = \frac{23773}{145,_3} = 163 \text{ кл./см.}^2, \text{ т. е. } 25,_4\% \text{ отъ } 643 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

Использовано: $71,_2 + 25,_4 = 96,_6\%$ всего сѣченія.

3) При $\frac{l}{4}$ (Фиг. 11)

$$J_{netto} = 6075 + 23774,_4 + 45668,_8 - 12569 = 62948,_8 \text{ см.}^4$$

$$\omega_{netto} = 145,_3 - 2,_5 = 142,_8 \text{ см.}^2$$

$$\rho^2 = \frac{62948,_8}{142,_8} = 440 \text{ см.}^2; \ \varphi = 0,_{910}$$

$$R_1 = 700 \cdot 0,_{91} = 637 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_1 = \frac{1078971 \cdot 24,_7}{62948,_8} = 423 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}, \text{ т. е. } 60,_5\% \text{ отъ } 700 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_2 = \frac{23773}{142,_8} = 166 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}, \text{ т. е. } 26,_1\% \text{ отъ } 637 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

Использовано: $60,_5 + 26,_1 = 86,_6\%$ всего сѣченія.

4) При $\frac{l}{8}$ (Фиг. 12)

$$J_{netto} = 3515,_6 + 15904 + 32864,_4 - 8850,_4 = 43434,_7 \text{ см.}^4$$

$$\omega_{netto} = 142,_8 - 7,_5 = 135,_3 \text{ см.}^2$$

$$\rho^2 = \frac{43434,_7}{135,_3} = 320 \text{ см.}^2; \ \varphi = 0,_{881}$$

$$R_1 = 0,_{881} \cdot 700 = 617 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_1 = \frac{629399 \cdot 20,_{95}}{43434,_7} = 304 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}, \text{ т. е. } 43,_5\% \text{ отъ } 700 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_2 = \frac{23773}{135,_3} = 175 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}, \text{ т. е. } 28,_4\% \text{ отъ } 617 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$$

Использовано $43,_5+28,_4=71,_9\%$ всего сѣченія.

Такой запасъ оставленъ въ виду конструктивныхъ соображеній.

Для повѣрки толщины стѣнки пользуемся формулою:

$$\delta=1,_8\cdot\frac{V}{R.h},$$

гдѣ:

$\delta$—толщина стѣнки

$V$—вертикальная сила

$h$—высота стѣнки

$R$—допускаемое напряженіе на скалываніе$=460\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$

По подстановкѣ въ формулу извѣстныхъ величинъ найдемъ:

$$\delta=1,_8\cdot\frac{15755}{2}\cdot\frac{1}{460.30}=\frac{14179,_5}{13800}=1,_{03}\text{ см.; принято }\delta=1\text{ см.}$$

Согласно даннымъ подсчета должны быть введены исправленія на соотвѣтственныхъ чертежахъ.

**Обшивка воротъ.** Размѣры обшивки слѣдуетъ опредѣлить для случая самаго невыгоднаго, а именно—для разстоянія между ригелями 0 и 1 (Фиг. 6), равнаго $1,_{741}$ метр.

Сила $Q$ (Фиг. 13) приложена на $^1/_3$ разстоянія между ригелями въ точкѣ $E$ и равна:

$$Q=\frac{\overline{1,_{741}}^2}{2}\cdot 1000=\frac{3,_{031}}{2}.1000=1515\text{ килогр.}$$

Реакціи опоръ $A$ и $B$ будутъ:

$$B=\frac{Q.x}{l}=\frac{1515.1,_{741}}{1,_{741}.3}=505\text{ килогр.}$$

$$A=1515-505=1010\text{ килогр.}$$

Для того, чтобы опредѣлить изгибающій моментъ (наибольшій) въ точкѣ $E$, необходимо знать величину силы $P$, выражающей вѣсъ заштрихованной призмы на единицу ширины, а также и плечо этой силы. Имѣемъ:

$$M=A.x-P.y$$

$$\omega_{\substack{(\text{заштрих.}\\ \text{трапеція})}}=\frac{(1,_{741}+1,_{160}).0,_{58}}{2}=0,_{841}\text{ кв. м.}$$

$$y=\frac{0,_{58}}{3}\cdot\left(\frac{2\cdot 1,_{741}+1,_{160}}{1,_{741}+1,_{160}}\right)=0,_{193}\cdot 1,_{599}=0,_{309} \text{ метра.}$$

$$P=\omega\cdot 1\cdot 1000=841 \text{ килогр.}$$

$$M=1010\cdot 0,_{58}-841\cdot 0,_{309}=325,_{9} \text{ килогр.-м.}=32590 \text{ кгр.-см.}$$

Требуемый моментъ сопротивленія:

$$W=\frac{M}{R}=\frac{J}{z}=\frac{32590}{700}=46,_{55}\ \overline{\text{см.}}^{3}$$

Изъ таблицы для пологаго волнистаго желѣза возьмемъ (Фиг. 14) размѣръ: (85.35) м.м. Моментъ сопротивленія при толщинѣ листа въ 1 м.м.: $W=12,_{4}\ \overline{\text{см.}}^{3}$, а для даннаго случая, имѣя въ виду изнашиваемость, ржавчину и удары, принимаемъ толщину $\delta=4$ м.м. Тогда дѣйствительный моментъ сопротивленія будетъ:

$$W=4\cdot 12,_{4}=49,_{6}>46,_{55}\ \overline{\text{см.}}^{3}$$

**Вереяльный столбъ.** Вереяльный столбъ подвергается дѣйствію силъ отъ ригелей вдоль оси послѣднихъ. Противъ крайнихъ рамныхъ ригелей и по всей высотѣ столба черезъ одинъ ригель помѣщены стальныя передаточныя (упорныя) подушки, посредствомъ которыхъ столбъ опирается въ пріемныя (опорныя) чугунныя подушки задѣланныя въ каменную кладку. Въ мѣстахъ, гдѣ есть подушки, ригеля, передавая давленіе каменной стѣнкѣ черезъ вереяльный столбъ, сжимаютъ только послѣдній; промежуточные же ригеля кромѣ того изгибаютъ вереяльный столбъ, дѣйствуя, какъ на неразрѣзную балку (Фиг. 15). При указанномъ расположеніи подушекъ число опоръ 4 и на столбъ передаются три силы отъ ригелей, помѣщающихся между опорными подушками.

Найдемъ опорные моменты, разсчитывая столбъ по способу, изложенному *Landsberg*'омъ въ сочиненіи*) Die eisernen Stemmthore der Schiffsschleusen. Leipzig. 1894.

Пусть (Фиг. 16):

$n$, $n+1$, $n+2$...три смежныя опоры;

$M_n$, $M_{n+1}$, $M_{n+2}$ моменты на этихъ опорахъ;

*) Части этого сочиненія въ переводѣ на русскомъ языкѣ можно найти въ книгѣ: *К. А. Акуловъ* и *С. А. Прокофьевъ*. Матеріалы для проектированія камерныхъ шлюзовъ. Кіевъ. 1905 г.

$l_n$ и $l_{n+1}$..... пролеты между опорами;

$P_n$ и $P_{n+1}$..... силы, дѣйствующія въ пролетахъ;

$S_n$ и $S_{n+1}$ ..... разстоянія силъ отъ ближайшихъ верхнихъ опоръ;

$S'_n$ и $S'_{n+1}$ .... тоже отъ нижнихъ опоръ.

Тогда между опорными моментами каждыхъ трехъ смежныхъ опоръ должна существовать, какъ извѣстно, зависимость:

$$M_n.l_n+2M_{n+1}.(l_n+l_{n+1})+M_{n+2}.l_{n+1}=$$

$$=\frac{P_n.S_n.S'_n}{l_n^2}.\left\{2S_n^2+(S'_n)^2+3S_n.S'_n\right\}+$$

$$+\frac{P_{n+1}.S_{n+1}.S'_{n+1}}{l^2_{n+1}}.\left\{2.(S'_{n+1})^2+S^2_{n+1}+3S'_{n+1}.S_{n+1}\right\}.$$

Моменты крайнихъ опоръ: $M_0=0$ и $M_3=0$.

Поэтому составимъ только два равенства:

1) Для $n=0$

$$2M_1.(272+139,_5)+M_2.139,_5=$$

$$=\frac{P_0.174,_1.97,_9}{\overline{272}^2}.\left\{2.\overline{174,_1}^2+\overline{97,_9}^2+3.174,_1.97,_9\right\}+$$

$$+\frac{P_1.72,_1.67,_4}{(139,_5)^2}.\left\{2.\overline{67,_4}^2+\overline{72,_1}^2+3.72,_1.67,_4\right\}.$$

Или:

$$823M_1+139,_5M_2=27956,_{55}.P_0+7206,_{98}.P_1.$$

2) Для $n=1$.

$$139,_5M_1+2M_2.(139,_5+134,_8)=139,_5M_1+548,_6M_2=$$

$$=\frac{P_1.72,_1.67,_4}{(139,_5)^2}.\left\{2.\overline{72,_1}^2+\overline{67,_4}^2+3.72,_1.67,_4\right\}+$$

$$+\frac{P_2.67,_4.67,_4}{(134,_8)^2}.\left\{2.\overline{67,_4}^2+\overline{67,_4}^2+3.67,_4.67,_4\right\}=$$

$$=7372,_{79}.P_1+6814,_{14}.P_2.$$

Но $P_0=P_1=P_2=$усилію, сжимающему ригель, которое было опредѣлено, какъ $S=23773$ килогр., слѣдовательно:

$$823M_1+139,_5M_2=23773.(27956,_{55}+7206,_{98})=835942598,_{69}$$

$$139,_5M_1+548,_6M_2=23773.(7372,_{79}+6814,_{14})=337265886,_{89}.$$

Рѣшая эти два уравненія съ двумя неизвѣстными, послѣдовательно получаемъ:

$$M_2=\frac{835942598,_{69}-823M_1}{139,_5};$$

$$139,_5M_1+548,_6\cdot\left(\frac{835942598,_{69}-823M_1}{139,_5}\right)=337265886,_{89};$$

$$M_1=954208 \text{ кил.-см.};$$

$$M_2=\frac{835942598,_{69}-785313184}{139,_5}=362935 \text{ кил.-см.}$$

Найдемъ опорныя противодѣйствія $D_0$, $D_1$, $D_2$ и $D_3$, для чего составляемъ выраженія опорныхъ моментовъ черезъ опорныя реакціи и приравниваемъ ихъ къ величинамъ опорныхъ моментовъ, взявъ послѣдніе со знакомъ —, ибо они—отрицательные. Имѣемъ:

$$-M_1=D_0.272-97,_9.P_0.$$

$$-M_2=D_0.(272+139,_5)+139,_5.D_1-P_0.(97,_9+139,_5)-P_1.67,_4$$

$$-M_3=D_0.(272+139,_5+134,_8)+D_1.(139,_5+134,_8)+D_2.134,_8-$$
$$-P_0.(97,_9+139,_5+134,_8)-P_1.(67,_4+134,_8)-P_2.67,_4$$

$$-M_0=D_3.(272+139,_5+134,_8)+D_2.\{272+139,_5\}+D_1.272-$$
$$-P_2.(272+139,_5+67,_4)-P_1.(272+72,_1)-P_0.174,_1.$$

Такъ какъ

$$M_0=M_3=0;\quad M_1=954208 \text{ кил.-см.};\quad M_2=362935 \text{ кил.-см.},$$

то имѣемъ:

$$-954208=272.D_0-97,_9.P_0$$

$$-362935=411,_5.D_0+139,_5.D_1-237,_4.P_0-67,_4.P_1$$

$$0=546,_3.D_0+274,_3.D_1+134,_8.D_2-372,_2.P_0-202,_2.P_1-67,_4.P_2$$

$$0=546,_3.D_3+411,_5.D_2+272.D_1-478,_9.P_2-344,_1.P_1-174,_1.P_0.$$

Но $P_0=P_1=P_2=S=23773$ килогр.

Слѣдовательно:

$$-954208=272.D_0-97,_9.23773=272.D_0-2327376,_7$$

$$-362935=411,_5.D_0+139,_5.D_1-237,_4.23773-67,_4.23773=$$
$$=411,_5.D_0+139,_5.D_1-5643710,_2-1602300,_2.$$

$$0=546,_3 . D_0+274,_3 . D_1+134,_8 . D_2-(372,_2+202,_2+67,_4) . 23773=$$
$$=546,_3 . D_0+274,_3 . D_1+134,_8 . D_2-15257511,_4 .$$
$$0=546,_3 . D_3+411,_5 . D_2+272 . D_1-23773 . (478,_9+344,_1+174,_1)=$$
$$=546,_3 . D_3+411,_5 . D_2+272 . D_1-23704058,_3 .$$

Окончательно преобразовывая, получимъ 4 уравненія:

$$272 . D_0=1373168,_7 .$$
$$411,_5 . D_0+139,_5 . D_1=6883075,_4 .$$
$$546,_3 . D_0+274,_3 . D_1+134,_8 . D_2=15257511,_4 .$$
$$546,_3 . D_3+411,_5 . D_2+272 . D_1=23704058,_3 .$$

Теперь легко найти и опорныя реакціи:

$$D_0=5048 \text{ килогр.}$$
$$411,_5 . 5048+139,_5 . D_1=6883075,_4 ;$$
$$D_1=34450 \text{ килогр.}$$
$$546,_3 . 5048+274,_3 . 34450+134,_8 . D_2=15257511,_4 ;$$
$$D_2=22627 \text{ килогр.}$$
$$546,_3 . D_3=23704058,_3-411,_5 . 22627-272 . 34450=5022647,_8;$$
$$D_3=9194 \text{ килогр.}$$

Зная опорныя реакціи, можно опредѣлить изгибающіе моменты отъ ригелей, не имѣющихъ опорныхъ подушекъ, а именно:

$$M'_0=D_0 . 174,_1=878856,_8 \text{ кил.-см.}$$
$$M'_1=D_0 . (174,_1+97,_9+72,_1)+D_1 . 72,_1-P_0 . (97,_9+72,_1)=$$
$$=179451,_8 \text{ кил.-см.}$$
$$M'_2=D_0 . (272+139,_5+67,_4)+D_1 . (139,_5+67,_4)+$$
$$+D_2 . 67,_4-P_0 . (97,_9+72,_1+67,_4+67,_4)-P_1 . (67,_4+67,_4)=$$
$$=619641,_2 \text{ кил.-см.}$$

Такимъ образомъ, наибольшій абсолютный моментъ и наибольшая опорная реакція получаются на третьемъ ригелѣ сверху, а именно:

$$M_1=954208 \text{ кгр.-см.}$$
$$D_1=34450 \text{ кгр.}$$

Кромѣ разсмотрѣнныхъ изгибающихъ силъ, на вереяльный столбъ дѣйствуетъ *собственный вѣсъ полотна воротъ,* который приблизительно можетъ быть опредѣленъ такъ (Фиг. 17).

Площадь стѣнки ригеля:

$$2.\left\{\frac{30+45}{2}.182,_6+\frac{45+50}{2}.182,_6\right\}=170.182,_6\ \text{см.}^2=3,_{1042}\ \text{кв. м.}$$

Длина уголка кругомъ стѣнки:

$$l=2.(30+730,_5)=760,_5.2=1521,_0\ \text{см.}=15,_{21}\ \text{м.}$$

Вѣсъ одного ригеля:

| | | |
|---|---|---|
| Стѣнка ..... | $3,_1.0,_{01}.7800=241,_8$ | к. |
| 2 уголка.... | $2.15,_{21}.11,_1=337,_7$ | » |
| 4 листа..... | $4.0,_{17}.0,_{011}.7,_{305}.7800=426,_2$ | » |
| Итого..... | $1005,_7$ | к. |

Вѣсъ полотна составится изъ вѣса слѣдующихъ частей:

1) 7 ригелей: $1005,_7.7$ ..... $7039,_9$ кгр.
2) Вереяльнаго столба: $0,_{0078}.356,_{98}.546,_3$ ..... $1521,_1$ »
3) Створнаго столба: $0,_{0078}.264,_4.546,_3$ ..... $1126,_6$ »
4) Плоской діагонали: *) $0,_{0078}.22.1.880$ ..... $151,_0$ »
5) Вертик. средней стойки (тавровой): $17,_8.5,_{463}$ ..... $97,_3$ »
6) Обшивки: $11.7,_{305}.5,_{463}$ ..... $439,_0$ »
7) 5% на заклепки: $10374,_9.0,_{05}$ ..... $518,_7$ »
8) Деревянныхъ частей у столбовъ и нижняго ригеля, помоста; механизмовъ для клинкетовъ и самихъ клинкетовъ ..... $1600,_0$ »

Итого...$12493,_6$ кгр.
$\infty 12.500$ кгр.**)

Сѣченіе вереяльнаго столба должно быть такое, чтобы напря-

*) Жесткая обратная уголковая діагональ, какъ излишняя при такой жесткой конструкціи, отбрасывается.

**) Этотъ вѣсъ долженъ быть затѣмъ исправленъ послѣ точнаго исчисленія вѣса, и сѣченіе столба должно быть вновь провѣрено, подобно тому, какъ это дѣлается при разсчетѣ мостовыхъ конструкцій.

женіе на 1 кв. см. отъ наибольшаго изгибающаго момента и отъ собственнаго вѣса не превосходило допускаемаго, т. е.

$$R \leqq \frac{\max.\ M.z}{J} + \frac{P}{\Omega}.$$

Возьмемъ сѣченіе вереяльнаго столба, придерживаясь схемы проекта, по Фиг. 18.

| Сѣченіе вереяльнаго столба. | Площадь $\omega_{(brutto)}$ см.$^2$ | | Статическій моментъ. $\omega z$—см.$^3$ | |
|---|---|---|---|---|
| 2 уголка (70.70.11) ..... | $2.14_{,2}$ | $28_{,4}$ | $28_{,4}.38_{,75}$ | $1100_{,5}$ |
| 2 швеллера (180.70.11) ..... | 2.28 | $56_{,0}$ | 56.33 | $1848_{,0}$ |
| 2 уголка (150.75.12) ..... | $2.25_{,69}$ | $51_{,38}$ | $51_{,38}.17_{,59}$ | $903_{,8}$ |
| 2 листа..... | $2.42.1_{,1}$ | $92_{,4}$ | $92_{,4}.21$ | $1940_{,4}$ |
| „ ..... | $2.34.1_{,1}$ | $74_{,8}$ | $74_{,8}.25$ | $1870_{,0}$ |
| „ ..... | $2.10.1_{,2}$ | $24_{,0}$ | $24.42_{,6}$ | $1022_{,4}$ |
| 1 стѣнка ..... | $30.1_{,0}$ | $30_{,0}$ | $30.23_{,5}$ | $705_{,0}$ |
| Итого..... | $\Omega_{(brutto)}=356_{,98}$ | | $\sum\omega z=9390_{,1}$ | |

Отсюда: $$z=\frac{\sum\omega z}{\Omega}=\frac{9390_{,10}}{356_{,98}}=26_{,30}\ \text{см.}$$

Ослабленіе сѣченія заклепками:

$$(2.1_{,8}.3_{,4})+(2.1_{,8}.3_{,3})+(2.1_{,8}.3_{,4})+(2.1_{,8}.1_{,1})=40_{,32}\ \text{см.}^2$$

Поэтому: $$\Omega_{(netto)}=356_{,98}-40_{,32}=316_{,66}\ \text{см.}^2$$

Моментъ инерціи сѣченія столба относительно нейтральной оси:

$$J_{(brutto)}=2.\left\{63_{,1}+14_{,2}.\overline{12_{,45}}^2\right\}+2.\left\{1364+28.\overline{6_{,70}}^2\right\}+$$
$$2.\left\{589+25_{,69}.\overline{8_{,71}}^2\right\}+2.\left\{\frac{1_{,1}.\overline{42}^3}{12}+46_{,2}.\overline{5_{,3}}^2\right\}+$$
$$+2.\left\{\frac{1_{,1}.\overline{34}^3}{12}+37_{,4}.\overline{1_{,3}}^2\right\}+2.\left\{\frac{10.\overline{1_{,2}}^3}{12}+12.\overline{16_{,30}}^2\right\}+$$
$$+\frac{30.\overline{1}^3}{12}+30.\overline{2_{,80}}^2=44973_{,1}\ \text{см.}^4$$

Ослабленіе заклепками:

$$2.\left\{\frac{1,_8.\overline{3,_4}^3}{12}+1,_8.3,_4.\overline{15,_{15}}^2\right\}+2.\left\{\frac{1,_8.\overline{3,_3}^3}{12}+1,_8.3,_3.\overline{2,_8}^2\right\}+$$

$$+2.\left\{\frac{3,_4.\overline{1,_8}^3}{12}+1,_8.3,_4.\overline{13,_3}^2\right\}+$$

$$+2.\left\{\frac{1,_1.\overline{1,_8}^3}{12}+1,_1.1,_8.\overline{22,_3}^2\right\}=7063,_6\ \overline{\text{см.}}^4$$

Слѣдовательно:

$$J_{(netto)}=44973,_1-7063,_6=37909,_5\ \overline{\text{см.}}^4$$

Изъ вышеприведенныхъ подсчетовъ окончательно имѣемъ:

$$R\geq\frac{954208.26,_3}{37909,_5}+\frac{12500}{316,_{66}}=661,_9+38,_4=700,_3\frac{\text{к.}}{\text{см.}^2}$$

Такимъ образомъ, сѣченіе, составленное изъ частей, указанныхъ на Фиг. 15, вполнѣ удовлетворяетъ условіямъ прочности. Согласно этому подсчету должны быть сдѣланы исправленія на соотвѣтственныхъ чертежахъ представленнаго проекта.

**Створный столбъ.** Предполагается, что распоръ между двумя сосѣдними ригелями дѣйствуетъ на створный столбъ равномѣрно и что каждая часть столба находится въ условіяхъ балки, свободно лежащей на двухъ опорахъ. Распоръ $D$ (Фиг. 7) разлагается на двѣ силы $S$ и $T$, которыя изгибаютъ столбъ по двумъ направленіямъ. Сумма напряженій, вызываемая этими двумя силами вмѣстѣ съ напряженіемъ отъ собственнаго вѣса, не должна превышать прочнаго сопротивленія, т.-е. 700 клгр.

Согласно вышеразсмотрѣннаго имѣемъ давленія:

на ригель № $0=\omega_0.l=\frac{x_1^2}{6}.l=\frac{\overline{174,_1}^2}{6}.730,_5=3690$ кгр.;

на ригеля № 1, № 2, № 3, № 4 и № $5=15755$ кгр.;

$$S=\frac{P}{2\text{tg}\alpha}=1,_{5089}.P=23773\text{ кгр.};$$

$$T=\frac{P}{2},$$

гдѣ $P$—давленіе, приходящееся на одинъ ригель.

Слѣдовательно, разсчетная нагрузка для пролета $l=1,_{74}$ м. будетъ:

$$S_0=1,_{5089}.\left(3690+\frac{15755}{2}\right)=17454,_2 \text{ килогр.}$$

$$T_0=0,_5.\left(3690+\frac{15755}{2}\right)=5783,_7 \text{ килогр.}$$

Для 4-хъ пролетовъ:

$$S=15755.1,5089=23773 \text{ к.}$$

$$T=\frac{15755}{2}=7877,_5 \text{ к.}$$

Моменты для соотвѣтственныхъ пролетовъ будутъ (Фиг. 19).

$$\text{для № } 0-1 \begin{cases} \frac{Sl}{8}=\frac{17454,_2.174,_1}{8}=379847 \text{ к. см.} \\ \frac{Tl}{8}=\frac{5783,_7.174,_1}{8}=127116 \text{ к. см.} \end{cases}$$

$$\text{для № } 1-2 \begin{cases} \frac{Sl}{8}=\frac{23773.97,_9}{8}=290934 \text{ к. см.} \\ \frac{Tl}{8}=\frac{7877,_5.97,_9}{8}=96413 \text{ к. см.} \end{cases}$$

$$\text{для № } 2-3 \begin{cases} \frac{Sl}{8}=\frac{23773.72,_1}{8}=214263 \text{ к. см.} \\ \frac{Tl}{8}=\frac{7877,_5.72,_1}{8}=71121 \text{ к. см.} \end{cases}$$

$$\begin{matrix}\text{для № } 3-4 \\ \text{и № } 4-5.\end{matrix} \begin{cases} \frac{Sl}{8}=\frac{23773.67,_4}{8}=200296 \text{ к. см.} \\ \frac{Tl}{8}=\frac{7877,_5.67,_4}{8}=66368 \text{ к. см.} \end{cases}$$

Самые большіе моменты отъ силъ $S$ и $T$ получаются для перваго отъ верху пролета створнаго столба, а именно:

max. $M_s=379847$ к. см.

max. $M_t=127116$ к. см.

На основаніи предположенія, что усилія дѣйствуютъ равномѣрно по всему пролету между ригелями, опасное сѣченіе находится посрединѣ, а именно въ разстояніи $\frac{174,_1}{2}=87,_5$ см. отъ ригеля:

Пренебрегая, ввиду незначительности, вѣсомъ части столба отъ верха до опаснаго сѣченія и не вводя его въ формулу для напряженія на 1 кв. см., имѣемъ:

$$R \geq \frac{\max. M_x . z_x}{J_x} + \frac{\max. M_y . z_y}{J_y},$$

гдѣ $M_x$ и $M_y$—суть моменты отъ $S$ и $T$ въ разсматриваемомъ пролетѣ столба относительно осей, перпендикулярныхъ къ дѣйствію силъ.

Сѣченіе створнаго столба составлено по Фиг. 20, придерживаясь схемы проекта.

| Сѣченіе створнаго столба. | Площадь $\omega$ (brutto) см.$^2$ | | Статическій моментъ $\omega . z$ см.$^3$ | |
|---|---|---|---|---|
| 2 уг. (130.85.12)..... | 2.24,$_{51}$..... | 49,$_{02}$ | 49,$_{02}$.16,$_{68}$= | 817,$_7$ |
| 2 уг. (130.85.12)..... | 2.24,$_{51}$..... | 49,$_{02}$ | 49,$_{02}$.26,$_{32}$= | 1290,$_2$ |
| 2 листа ..... | 2.35.1,$_1$..= | 77,$_{00}$ | 77.17,$_5$.. = | 1347,$_5$ |
| 2 листа..... | 2.27.1,$_1$. = | 59,$_{40}$ | 59,$_4$.21,$_5$. = | 1277,$_1$ |
| 1 стѣнка..... | 30.1.....= | 30,$_{00}$ | 30.21,$_5$.. = | 645,$_0$ |
| Итого..... | $\Omega$= | 264,$_{44}$ | $\Sigma\omega z$= | 5377,$_5$ |

Поэтому: $z_x=\frac{5377,_{50}}{264,_{44}}=20,_{33}$ см.

Ослабленіе заклепками:

$$2.\{1,_1.1,_8\}+2\{3,_4.1,_8\}+2\{3,_4.1,_8\}+2\{3,_4.1,_8=40,_{68}\ \overline{\text{см.}}^2$$

$$\Omega_{(netto)}=264,_{44}-40,_{68}=223,_{76}\ \overline{\text{см.}}^2$$

$$J_{x(brutto)} = 2.\{412+24,_{51}.\overline{3,_{65}}^2\}+2.\{412+24,_{51}.\overline{5,_{99}}^2\}+$$

$$+2.\left\{\frac{1,_1.\overline{35,}^3}{12}+38,_5.\overline{2,_{83}}^2\right\}+2.\left\{\frac{1,_1.\overline{27}^3}{12}+29,_7.\overline{1,_{17}}^2\right\}+$$

$$+\left\{\frac{30.\overline{1}^3}{12}+30.\overline{1,_{17}}^2\right\}=16270,_6\ \overline{\text{см.}}^4$$

Ослабленіе заклепками:

$$2.\left\{\frac{1,_1.\overline{1,_8}^3}{12}+1,_8.1,_1.\overline{16,_{33}}^2\right\}+2.\left\{\frac{3,_4.\overline{1,_8}^3}{12}+3,_4.1,_8.\overline{8}^2\right\}+$$

$$+2.\left\{\frac{1,_8.\overline{3,_4}^3}{12}+1,_8.3,_4.\overline{1,_{17}}^2\right\}+2.\left\{\frac{3,_4.\overline{1,_8}^3}{12}+3,_4.1,_8.\overline{10,_{34}}^2\right\}=3184,_2\overline{\text{см.}}^4.$$

$$J_{x(netto)}=16270,_6-3184,_2=13086,_4\ \overline{\text{см.}}^4$$

$$J_{y(brutto)}=4.\left\{139+24,_{51}.\overline{12,_9}^2\right\}+2.\left\{\frac{35.\overline{1,_1}^3}{12}+38,_5.\overline{16,_{65}}^2\right\}+$$

$$+2.\left\{\frac{27.\overline{1,_1}^3}{12}+29,_7\overline{15,_{55}}^2\right\}+\frac{1.\overline{30}^3}{12}=54456,_0\ \overline{\text{см.}}^4$$

Ослабленіе заклепками:

$$2.\left\{\frac{\overline{1,_1}^3.1,_8}{12}+1,_1.1,_8.\overline{16,_{65}}^2\right\}+4.\left\{\frac{\overline{3,_4}^3.1,_8}{12}+1,_8.3,_4.\overline{15,_{55}}^2\right\}+$$

$$+2.\left\{\frac{\overline{1,_8}^3.3,_4}{12}+1,_8.3,_4.\overline{10,_{75}}^2\right\}=8459,_9\ \overline{\text{см}}^4.$$

$$J_{y(netto)}=54456-8459=45997\ \overline{\text{см.}}^4$$

Дѣйствительное напряженіе будетъ:

$$R\geq\frac{379847.20,_{33}}{13086,_4}+\frac{127116.17,_2}{45997}+\frac{12500}{223,_{76}}=590+48+56=$$

$$=694\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}<700\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}.$$

Согласно этому подсчету должны быть сдѣланы исправленія на чертежахъ проекта.

**Гальсбантъ и шейка.** (Фиг. 2 и 21). Усиліе, растягивающее гальсбантъ, получается изъ уравненія моментовъ:

$$N.h=G.g;\ N.546,_3=\frac{12500.730,_5}{2},$$

откуда:

$$N=\frac{12500.730,_5}{2.546,_3}=8358\ \text{килогр.}$$

Необходимая площадь сѣченія будетъ:

$$\omega=\frac{N}{R}=\frac{8358}{700}=11,_{94}\ \text{кв. см.}$$

Взятый для него размѣръ ввиду изнашиваемости открываніемъ воротъ:

$$\omega = 2.6.4 = 48 \text{ см.}^2$$

вполнѣ удовлетворяетъ этому требованію.

Анкеръ гальсбанта съ двумя развѣтвленіями въ каменной кладкѣ—изъ круглаго желѣза, нужный діаметръ котораго:

$$d = \sqrt{\frac{2.N}{\pi.R}} = \sqrt{\frac{2.8358}{3,_{14}.700}} = 2,_{75} \text{ см.}$$

Принятый діаметръ въ 5 см. вполнѣ достаточенъ.

Литая стальная шейка разсчитывается въ предположеніи, что сила $N$ изгибаетъ ее, имѣя плечо, равное $^2/_3$ высоты шейки (=ширинѣ гальсбанта), т. е. $^2/_3.6=4$ см. Имѣемъ:

$$N.4 = \frac{R.J}{z} = R.W = \frac{\pi d^3}{32}.R,$$

гдѣ $R$ для литой стали на изломъ взято $= 800 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$.

Поэтому: $8358.4 = \frac{3,_{14}.d^3.800}{32}$, откуда:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8358.4.32}{3,_{14}.800}} = 7,_{52} \text{ см.}$$

Эмпирическая формула для даннаго случая даетъ:

$$d = 0,_{22}.\sqrt[3]{z.\lambda},$$

гдѣ $z=N=8358$ килогр.; $\lambda=6$ см. Слѣдовательно:

$$d = 0,_{22}.\sqrt[3]{8358.6} = 8,_1 \text{ см.}$$

Необходимо принять $d \geqq 8,_5$ см.

Повѣрка на срѣзываніе по плоскости основанія шейки даетъ:

$$\frac{\pi d^2}{4}.R_1 \geqq 8358, \text{ откуда:}$$

$$R_1 = \frac{8358}{56,_{74}} = 148 < 640 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}.$$

**Пята и подпятникъ.** (Фиг. 3). Обозначимъ діаметръ пяты чрезъ $d$ и высоту чрезъ—$c$.

Сила $N$, дѣйствующая на изломъ пяты, какъ выше найдено= =8358 килогр.

Моментъ относительно плоскости закрѣпленія въ подпятникѣ:

$$N.c=N_1.W=\frac{R_n.\pi.d^3}{32}$$

и получаемое сопротивленіе излому на кв. см.

$$R_n=\frac{32N.c}{\pi.d^3}.$$

Кромѣ того, на ось дѣйствуетъ собственный вѣсъ полотна воротъ $P$, и сопротивленіе отъ него на сжатіе будетъ

$$R_m=\frac{4.P}{\pi.d^2}.$$

Слѣдовательно, оба напряженія не должны въ суммѣ превышать прочнаго сопротивленія стали на изломъ, т. е.

$$R_1=R_n+R_m=\frac{32.N.c}{\pi.d^3}+\frac{4.P}{\pi.d^2}\leq 800\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}.$$

Въ виду возможныхъ ударовъ при внезапномъ открываніи воротъ прочное сопротивленіе можно допустить минимальное, т. е. $800\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$.

Принимая затѣмъ, что $c=d$, получимъ:

$$R_1=\frac{32.N}{\pi.d^2}+\frac{4.P}{\pi.d^2}=\frac{32.N+4.P}{\pi.d^2};$$

$$d=\sqrt{\frac{32.N+4.P}{\pi.R_1}}=11,_{24}\ \text{см.}$$

Принято $d=17$ см., т. е. размѣръ, вполнѣ удовлетворяющій требованіямъ прочности.

Эмпирическая формула въ данномъ случаѣ даетъ:

$$k\geq 0,_{691}.\sqrt{\frac{P}{R.(1-\cos^3\alpha)}},$$

гдѣ $k$.... въ тоннахъ; $R$=9 см.; $d=2R\sin\alpha$; $\alpha=90^0$;

$$P=\sqrt{12500^2+8358^2}=15036 \text{ килогр.}=15_{,036} \text{ тоннъ.}$$

По подстановкѣ извѣстныхъ, найдемъ:

$$k\geq 0_{691}.\sqrt{\frac{P}{R}}=0_{,691}.\sqrt{\frac{15_{,036}}{9}}=0_{,8942}\ \frac{\text{тоннъ}}{\text{см.}^2}<1_{,0}.$$

Кольцо подушки (Фиг. 22).

$$r=13;\ r_1=8;\ \omega=\pi.(r^2-r_1{}^2)=3_{,14}.(169-64)=329_{,7}\ \overline{\text{см.}}^2$$

Напряженіе:

$$n=\frac{15036}{329_{,7}}=45_{,8}\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}.$$

Дѣйствительная площадь подпятника (Фиг. 23):

$$\omega=\pi.(\overline{22_{,5}}^2-\overline{7}^2)=3_{,14}.457=1435\ \overline{\text{см.}}^2.$$

Давленіе на подпятный камень:

$$n=\frac{15036}{1435}=10_{,5}\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}<20\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}.$$

**Діагональная стяжка.** (Фиг. 24). Для уменьшенія провисанія воротъ отъ собственнаго вѣса предназначена діагональная стяжка изъ полосового желѣза, работающая на растяженіе. Показанныя на проектномъ чертежѣ вертикальная стойка и обратная діагональ— тавры вполнѣ могутъ быть выпущены, такъ какъ лишь безполезно увеличиваютъ общій вѣсъ полотна и безъ того жесткой конструкціи. По срединѣ полотна воротъ между ригелями для жесткости и лучшей сопротивляемости ригелей сжатію лучше вставить вертикальный листъ $\delta$=1 см. съ уголками 7.7.1,1, соотвѣтственно изогнутыми.

Предполагая, что на нижній конецъ створнаго столба передается половина вѣса полотна $\frac{12500}{2}=\underline{6250}$ кил., получаемъ:

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{5463}{7305}=0_{,74784};\ \angle\varphi=36^0 45';\ \sin\varphi=0_{,59831}.$$

Поэтому усиліе тяжа:

$$Q=\frac{G}{2.\sin\varphi}=\frac{6250}{0_{,5983}}=\underline{10445} \text{ килогр.}$$

Слѣдовательно, сѣченіе діагонали должно быть:

$$\omega_{netto}=\frac{Q}{R}=\frac{10445}{700}=14,_{92} \text{ кв. см.}$$

Принимая толщину діагонали $\delta=10$ м.м. и ослабленіе двумя заклепками, діаметромъ $1,_8$ см., ширина $b$ желѣзной полосы опредѣлится изъ равенства:

$$\omega=b.\delta=1.b=14,_{92}+2.1,_8=18,_{52} \ \overline{\text{см.}}^2,$$

т. е. $b=18,_{52}$ см.

Принятая въ проектѣ ширина$=22$ см. $>18,_{52}$ см.

Заклепка діаметромъ $1,_8$ см. выдерживаетъ при $R_2=560 \ \frac{\text{килогр.}}{\overline{\text{см.}}^2}$ на одиночное срѣзываніе усиліе:

$$k=\frac{3,_{14}.\overline{1,_8}^2}{4}.R_2=\frac{3,_{14}.\overline{1,_8}^2}{4}.560=1424,_3 \text{ килогр.}$$

Необходимое число заклепокъ:

$$n=\frac{10445}{1424}=7,_3.$$

Въ дѣйствительности принято $n=9$ штукъ.

**Промежуточныя опорныя подушки.** Всѣ опорныя подушки (въ кладкѣ) сдѣланы одинаковыхъ размѣровъ, разсчитанныхъ по max. опорной реакціи и непосредственному усилію отъ ригеля № 3 отъ верха, для котораго было опредѣлено раньше:

$$\begin{array}{l} D_1=34450 \text{ килогр.} \\ S \ =23773 \quad » \\ \hline \text{Всего}=\underline{58223} \text{ килогр.}=k. \end{array}$$

Допуская давленіе на кв. см. подферменнаго камня изъ гранита въ 40 клг., необходимая площадь доски получится:

$$\Omega=\frac{58223}{40}=1455,_5 \ \overline{\text{см.}}^2$$

Слѣдуетъ принять (Фиг. 25):

$$\Omega=30.50=1500 \ \overline{\text{см.}}^2$$

Предполагая, что доска въ срединѣ закрѣплена, толщину стѣнки получимъ изъ момента, дѣйствующаго въ сѣченіи $ab$:

$$M=\frac{k'.l}{2}=\frac{R.J}{z},$$

гдѣ $k'$—давленіе, приходящееся для части $cb$, т. е.

$$k'=\frac{58223.21}{50}=24454 \text{ килогр.}$$

$$J=\frac{a.h^3}{12}=\frac{30.h^3}{12}=2,_5h^3;\ z=\frac{h}{2}$$

$$M=\frac{24454.21}{2}=\frac{R.2,_5h^3.2}{h}=2,_5.2.Rh^2.$$

Отсюда:

$$h=\sqrt{\frac{24454.21}{2.2,_5.2.800}}=8,_{02} \text{ см.}$$

Въ виду же того, что доска имѣетъ крестообразное утолщеніе, можно принять $h=8$ см.

Площадь головы упорной (передаточной) подушки, принимая $R$ для стали$=800\ \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}$, будетъ:

$$\omega=\frac{58223}{800}=72,_{78}\ \overline{\text{см.}}^2$$

Необходимо принять (Фиг. 26).

$$\omega=\overline{10}^2-\overline{5}^2=75\ \overline{\text{см.}}^2$$

**Накладки, связывающія ригеля со столбами.** Усиліе, сжимающее ригель, какъ было выше опредѣлено: $S=23773$ килогр. Заклепка діаметромъ $1,_8$ см. на одиночное срѣзываніе выдерживаетъ усиліе 1424 килогр.

Полная площадь ригеля состоитъ изъ:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | Площади | уголковъ..... | $14,_2.4=56,_8\ \overline{\text{см.}}^2$ |
| 2. | » | вертикальныхъ листовъ.. | $18,_7.4=74,_8$ » |
| 3. | » | горизонтальнаго листа... | $30.1=30,_0$ » |
| | | Итого..... | $161,_6\ \overline{\text{см.}}^2$ |

Предполагая, что усиліе распредѣляется по сѣченію равномѣрно, придется на:

1. Уголокъ..... $\frac{14,_2}{161,_6}.S = 0,_{09}.S = 2140$ клгр., или $1,_5$ заклепокъ

2. Вертик. листъ.... $\frac{18,_7}{161,_6}.S = 0,_{115}.S = 2734$ » » $2,_0$ »

3. Гориз. листъ..... $\frac{30}{161,_6}.S = 0,_{19}.S = 4517$ » » $3,_1$ »

Слѣдуетъ сдѣлать (Фиг. 27) накладку длиною 24 см. и ступенчатый стыкъ съ двумя заклепками въ каждой части.

**Деревянный брусъ створнаго столба.** (Фиг. 1 и 28). Площадь, на которую передается сжимающее усиліе (Фиг. 7)

$$D = \frac{P}{2.\sin\alpha} = \frac{15755}{2.0,_{31454}} = 25044 \text{ килогр.},$$

будетъ

$$\omega = 22,_0.67,_4 = 1482,_8 \text{ кв. см.}$$

Эта площадь находится въ самыхъ невыгодныхъ условіяхъ въ отношеніи напряженія на смятіе дерева створнаго столба, поэтому и повѣряемъ напряженіе именно въ этомъ мѣстѣ. Имѣемъ:

$$n_1 = \frac{S}{\omega} = \frac{23773}{1482,_8} = 16,_{03} \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2};$$

$$n_2 = \frac{D}{\omega} = \frac{25044}{1482,_8} = 16,_{80} \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2};$$

на скалываніе

$$t = \frac{T.S}{J.b} = \frac{7877,_5.5880}{999365.28} = 1,_6 \frac{\text{килогр.}}{\text{см.}^2}.$$

Такимъ образомъ, взятые размѣры бруса вполнѣ удовлетворяютъ условіямъ прочности.

*(Окончаніе слѣдуетъ).*

*Н. Д. Тяпкинъ.*

*Отъ редакціи.* Помѣщаемые ниже два доклада объ американскихъ механическихъ фильтрахъ для очистки воды касаются одного изъ основныхъ вопросовъ оздоровленія городовъ и населенныхъ мѣстъ и поддержанія въ нихъ нормальныхъ жизненныхъ условій а именно вопроса о снабженіи населенія чистою водой. Съ ростомъ числа промышленныхъ предпріятій и концентраціей населенія происходитъ сильное загрязненіе, какъ поверхностныхъ источниковъ, такъ почвы и грунтовыхъ водъ, и вопросъ о здоровой питьевой водѣ становится въ настоящее время жгучимъ для многихъ населенныхъ пунктовъ. Но мѣропріятія по водоснабженію, въ частности по очисткѣ воды, для осуществленія ихъ въ полномъ объемѣ требуютъ значительныхъ расходовъ, часто непосильныхъ для населенія. Вполнѣ естественно поэтому, что мѣропріятія, связанныя съ удешевленіемъ очистки воды, вызываютъ живой интересъ, какъ въ городскихъ самоуправленіяхъ, такъ и въ дѣятеляхъ по водопроводамъ. Въ послѣднее десятилѣтіе былъ выдвинутъ въ Россіи вопросъ объ очисткѣ воды помощью быстро-дѣйствующихъ песчаныхъ фильтрахъ (такъ называемыхъ «американскихъ механическихъ») въ связи съ коагюлированіемъ. Московское городское самоуправленіе нашло цѣлесообразнымъ произвести опыты съ этими фильтрами въ цѣляхъ примѣненія ихъ на станціи очистки москворѣцкой воды въ Рублевѣ, если бы они оказались пригодными.

Опыты съ американскими фильтрами въ Москвѣ, продолжавшіеся около 2-хъ лѣтъ, закончены и результаты изслѣдованій опубликованы особымъ изданіемъ: «Американскіе механическіе фильтры. Санитарная оцѣнка ихъ работы по результатамъ, полученнымъ на фильтровальной станціи въ Москвѣ. Москва 1904 года».

Въ докладѣ д-ра Игнатова 7-му русскому водопроводному съѣзду, бывшему въ текущемъ году въ Москвѣ, приводятся выводы изъ результатовъ опытовъ, выводы, неблагопріятные для американскихъ фильтровъ. По вопросу объ опытахъ надъ американскими фильтрами было

сдѣлано сообщеніе тому же водопроводному съѣзду инженеромъ Н. П. Зиминымъ, иниціаторомъ введенія въ русскую водопроводную практику американскихъ фильтровъ и горячему защитнику ихъ. Послѣдній докладъ вызвалъ горячія, но мало-продуктивныя пренія по вопросу о постановкѣ опытовъ въ Москвѣ, такъ какъ немногіе изъ членовъ съѣзда успѣли ознакомиться съ трудомъ коммиссіи, незадолго передъ тѣмъ вышедшимъ изъ печати. Докладчикъ, приводя благопріятные результаты опытовъ съ быстродѣйствующими фильтрами въ Америкѣ, стоялъ на той точкѣ зрѣнія, что неблагопріятные результаты Московскихъ опытовъ объясняются неправильностью постановки ихъ. Какъ видно изъ доклада Петрова, подобный взглядъ не единичный среди защитниковъ американскихъ фильтровъ.

Къ сожалѣнію, вопросъ о неправильной постановкѣ опытовъ не остался только въ кругу спеціалистовъ, а былъ перенесенъ даже въ такую область, гдѣ трудна борьба мнѣній. Въ Московскую Думу въ текущемъ году поступили заявленія гласнаго Н. П. Зимина отъ 15 февраля и заключеніе водопроводной думской комиссіи отъ 31 марта, въ которыхъ проводится то же недовѣрчивое отношеніе къ постановкѣ Московскихъ опытовъ.

---

# Американскій способъ очищенія воды въ связи съ современнымъ положеніемъ вопроса объ очищеніи воды.

Докладъ Кавказскому отдѣленію Императорскаго Русскаго техническаго Общества.

Санитарное благополучіе всякаго заселеннаго центра очень много зависитъ отъ снабженія его водою въ достаточномъ количествѣ и безусловно хорошаго качества. Для удовлетворенія второму изъ указанныхъ условій, нужно или доставлять въ городъ воду изъ источниковъ вполнѣ обезпеченныхъ отъ загрязненія, каковыми является вода крытыхъ источниковъ (ключевая, грунтовая) или же при пользованіи для водоснабженія источниками открытыми, каковыми являются, напримѣръ, озера, рѣки, запруды, гдѣ воды зачастую бываютъ далеко не безупречнаго качества, необходимо подвергать эту воду искусственной очисткѣ. Далеко не всѣ города имѣютъ возможность пользоваться водою крытыхъ источниковъ; кромѣ того, при снабженіи городовъ водою изъ этихъ источниковъ необходимо считаться съ однимъ изъ свойствъ воды, имѣющимъ громадное практическое значеніе,—съ ея жесткостью. Зачастую бываетъ, что въ началѣ пользованія для водоснабженія города водою грунтовою,—вода эта удовлетворяетъ всѣмъ требованіямъ гигіены, но съ увеличеніемъ откачки и съ неизбѣжнымъ вслѣдствіе сего пониженіемъ уровня грунтовой воды, ея жестокость сильно увеличивается, внося большія затрудненія при употребленіи ея для промышленныхъ цѣлей и причиняя потребителямъ незамѣтныя, но значительные убытки.

Въ русской водопроводной практикѣ мы имѣемъ въ этомъ направленіи очень поучительные примѣры. Такъ, напримѣръ, Москва принуждена была отказаться отъ пользованія мытищенскою водою въ количествѣ большемъ 3.500.000 ведеръ ежесуточно, ибо при большемъ потребленіи получалась бы вода слишкомъ жесткая *); При осуществленіи проекта канализаціи, 3.500.000 в. въ сутки для Москвы, конечно, болѣе чѣмъ недостаточно—это обстостельство и вызвало необходимость устройства второго москворѣцкаго водопровода, могущаго совмѣстно съ мытищенскимъ снабжать Москву водою въ количествѣ, удовлетворяющемъ нормамъ санитарной техники. По той-же причинѣ возбужденъ въ настоящее время вопросъ о переустройствѣ самарскаго водопровода.

Въ силу вышеизложеннаго вопросу о раціональной очисткѣ воды, получаемой изъ открытыхъ источниковъ, въ водопроводной техникѣ отведено видное мѣсто, и въ настоящее время имѣется полная возможность очищать даже сильно загрязненную воду настолько, что она можетъ удовлетворять вполнѣ требованіямъ гигіены.

Въ водопроводной техникѣ по дѣлу очищенія большихъ количествъ воды въ настоящее время извѣстно не мало способовъ, изъ которыхъ особенное распространеніе получили лишь два: англійскій и американскій.

Первый, англійскій, воплощаетъ собою идею медленнаго фильтрованія, второй способъ, американскій,—идею фильтрованія быстраго. Идея медленнаго фильтрованія черезъ песокъ принадлежитъ англичанину Симпсону. Въ 1829 г. въ Англіи впервые появляются песчаные фильтры и съ этого времени до 1899 г. англійскій способъ пользуется исключительной монополіей, какъ въ Западной Европѣ, такъ и у насъ въ Россіи.

Англійскіе фильтры, какъ извѣстно, въ общихъ чертахъ имѣютъ слѣдующее устройство: въ большихъ резервуарахъ, чаще всего, въ силу климатическихъ условій перекрытыхъ сводами и обсыпанныхъ землею, на слояхъ камня и гравія располагаются фильтрующіе слои песка, толщиною отъ 2 до 5 футъ. Подлежащая очисткѣ вода, въ большинствѣ случаевъ, подвергается предварительному отстаиванію въ особыхъ отстойныхъ бассейнахъ, гдѣ осаждаются болѣе крупныя примѣси. Не рѣдко также, именно въ тѣхъ случаяхъ,

---

*) Примѣчаніе редакціи. Предѣлъ 3.500000 ведеръ опредѣляется мощностью подземнаго потока (по докладу инж. К. П. Карельскихъ на послѣднемъ водопроводномъ съѣздѣ).

когда въ водѣ растворены нежелательные газы, до введенія на фильтръ воду подвергаютъ дѣйствію кислорода воздуха-аэраціи, для чего устраиваются такъ называемыя сѣтчатыя зданія. Вода изъ отстойниковъ поступаетъ на сѣтки, разбрызгивается въ мелкія струйки, окисляется и по желобу, расположенному подъ сѣткой направляется на фильтры. Здѣсь вода, проникая сквозь песокъ, оставляетъ всѣ свои примѣси, вслѣдствіе чего на поверхности песка образуется пленка, представляющая собою слои ила, бактерій и грязи. Эта пленка и является главнымъ фильтрующимъ элементомъ; здѣсь, по мнѣнію нѣкоторыхъ, наряду съ механическимъ очищеніемъ воды, происходятъ и процессы біологическіе. До образованія такой пленки англійскіе фильтры работаютъ весьма несовершенно, такъ что въ теченіе первыхъ дней (2—3 дня) дѣйствія фильтра фильтрованную воду слѣдуетъ спускать.

Когда фильтръ засорится и перестаетъ пропускать требуемое количество воды, его подвергаютъ очисткѣ. Для этого останавливается притокъ воды, имѣющаяся въ фильтрѣ вода спускается, послѣ чего снимается въ ручную загрязненный слой песка, толщиною до $^3/_4$". Этотъ песокъ или выбрасывается, если имѣется возможность пользоваться новымъ, или же подвергается искусственной промывкѣ въ особыхъ приборахъ. Когда фильтрующій слой песка уменьшится приблизительно сантиметровъ на 30, необходимо загрузить фильтръ вновь или промытымъ старымъ, или новымъ пескомъ.

Періоды между очистками могутъ быть отъ двухъ-трехъ недѣль до нѣсколькихъ мѣсяцевъ.

При правильной постановкѣ дѣла англійскіе фильтры могутъ давать вполнѣ хорошіе результаты, выдѣляя изъ воды до 99% находящихся въ ней бактерій; но именно эта правильная постановка дѣла, при употребленіи англійскихъ фильтровъ весьма и весьма затруднительна: для того, чтобы фильтры работали хорошо, необходимо очень медленное проникновеніе воды черезъ песокъ, скорость фильтрованія не должна быть болѣе 3—4 дюймовъ въ часъ. Для соблюденія этого условія требуется на каждыя 1000 ведеръ воды въ сутки 1,2 кв. саж. фильтрующей поверхности, отсюда можно судить, какія громадныя площади нужно отводить подъ фильтръ. Въ Варшавѣ, напримѣръ, для очищенія 7.000.000 ведеръ воды площадь фильтра равна 3,6 десятины; въ Одессѣ для фильтрованія 6.000.000 ведеръ въ сутки площадь фильтра 2.5 десятинъ; въ Гамбургѣ на 16.000.000, а въ Берлинѣ на 17.000.000 ведеръ въ сутки поверхность фильтра равна 12 десятинамъ.

Такимъ образомъ правильное осуществленіе фильтрованія по англійскому способу влечетъ за собою громадныя первоначальныя затраты. Въ Россіи, напримѣръ, гдѣ приходится примѣнять крытые фильтры съ крытыми отстойными бассейнами, стоимость устройства при скорости фильтрованія 4″ въ часъ выражается отъ 75 до 90 р. на каждыя сто ведеръ воды въ сутки.—Кромѣ сего очистка англійскихъ фильтровъ оставляетъ желать много лучшаго. Она, какъ я упомянулъ, производится ручнымъ способомъ: на фильтръ пускаются рабочіе, которые помощью лопатъ снимаютъ грязный песокъ и вывозятъ его тачками. Очистка такимъ способомъ производится вь теченіи нѣсколькихъ дней. Всѣмъ понятно, насколько гигіениченъ этотъ способъ!?

Англійскій способъ очищенія воды, несмотря на свою почти 80 лѣтнюю давность, получилъ сравнительно очень небольшое распространеніе по Россіи: очень ужъ тяжелы матеріальныя условія его осуществленія.

Въ силу этого же условія нерѣдко въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ очистка воды производится по англійскому способу, получаютъ далеко не всегда блестящіе результаты: такъ, напримѣръ, въ Одессѣ и Варшавѣ англійскіе фильтры работаютъ можно сказать хорошо, задерживая 90—93% бактерій, но на ряду съ этимъ даже въ Петербургѣ работа англійскихъ фильтровъ не выдерживаетъ ни малѣйшей критики: здѣсь едва задерживается 66% бактерій.

Таковое положеніе дѣлъ заставило изыскивать новые способы очищенія воды: водопроводной техникѣ въ настоящее время извѣстно не мало такихъ способовъ, изъ которыхъ наибольшее распространеніе получилъ лишь одинъ, именно способъ фильтрованія съ большой скоростью при помощи приборовъ, извѣстныхъ подъ названіемъ «американскихъ» или «механическихъ» фильтровъ. Кромѣ того въ послѣдніе годы появилась еще одна новая система фильтрованія, представляющая собою повидимому значительное усовершенствованіе англійской системы фильтрованія. Система эта носитъ наименованіе системы «Пеша». Примѣры устройства ея за послѣдніе годы мы видимъ въ Парижѣ и Лондонѣ. У насъ въ Россіи пробная станція этой системы появляется въ настоящее время впервые въ Тифлисѣ. Насколько практично зарекомендуетъ себя у насъ эта система, укажетъ будущее, пока же о техническихъ особенностяхъ сей новой системы извѣстно слѣдующее.

Въ этой системѣ, представляющей изъ себя, подобно всякому англійскому фильтру, соединеніе предварительнаго освѣтлителя воды съ медленнымъ песочнымъ англійскимъ фильтромъ, усовершенство-

ванной частью является именно освѣтлитель. Этотъ предварительный до фильтрованія воды чрезъ англійскій медленный фильтръ процессъ выполняется особыми такъ называемыми форъ-фильтрами. Форъ-фильтры системы Пеша представляютъ изъ себя серію резервуаровъ съ гравіемъ, послѣдовательно уменьшающимся по отдѣленіямъ въ своихъ размѣрахъ, при чемъ подъ слоями гравія находятся жел. сѣтки, пропускающія черезъ себя процѣживаемую чрезъ гравій воду. Скорость пропусканія воды чрезъ послѣдовательныя отдѣленія форъ-фильтровъ прогрессивно уменьшается, и послѣ послѣдняго форъ-фильтра она, для полученія хорошихъ результатовъ на англійскомъ медленномъ фильтрѣ, можетъ быть допущена, какъ рекомендуетъ и самъ изобрѣтатель, не болѣе 4″ въ часъ. Форъ-фильтры Пеша, замѣняя собою обыкновенные отстойники англійской системы фильтраціи, настолько освѣтляютъ воду, что очистка фильтрующей поверхности англійскаго фильтра можетъ быть производима значительно рѣже, чѣмъ устраняется крупный недостатокъ обыкновенной старой англійской системы фильтрованія. Кромѣ того площадь форъ-фильтровъ системы Пеша можетъ быть менѣе (около $^1/_3$) площади обыкновенныхъ отстойниковъ.—Необходимая частая очистка быстро загрязняющихся форъ-фильтровъ производится, повидимому, безъ большихъ затрудненій промѣшиваніемъ гравія граблями и лопатами съ пропусканіемъ чрезъ очищаемый слой значительныхъ потоковъ воды. Стоимость фильтровъ системы Пеша, повидимому, получится нѣсколько менѣе стоимости обыкновенныхъ англійскихъ фильтровъ, т. к. система эта устраняетъ необходимость имѣть большія запасныя площади фильтровъ, устраиваемыя въ обыкновенной англійской системѣ фильтрованія на случай пользованія во время продолжительныхъ тамъ очистокъ фильтра. — Несмотря однако на всѣ указанныя видимыя достоинства системы фильтрованія Пеша, слѣдуетъ замѣтить, что система Пеша едва-ли окажется способной устранить собою обыкновенный недостатокъ англійской системы фильтровъ, заключающійся въ полной неспособности ихъ лишать воду окраски вообще, и опаллесцированія въ частности. Такимъ образомъ, мнѣ кажется, что примѣненіе фильтровъ системы Пеша при водопроводѣ Тифлиса не избавитъ все же тифлисскихъ жителей во время паводковъ отъ значительной опаллесценціи воды, столь присущей водамъ Куры въ силу содержанія въ ней чрезвычайно мелкихъ глинистыхъ взвѣшенныхъ частицъ. — Въ случаѣ подобныхъ водъ, полная и совершенная очистка воды можетъ быть вообще достигнута только коагюлированіемъ воды, т. е. процессомъ присущимъ американскому способу очищенія воды.

Сущность американскаго способа очищенія воды заключается въ слѣдующемъ. Предполагаемая къ очисткѣ вода до поступленія въ фильтръ подвергается дѣйствію химическихъ реактивовъ, слѣдствіемъ чего является хлопьевидный осадокъ, захватывающій въ себя находящіяся въ водѣ примѣси и бактеріи. Хлопья частью осѣдаютъ на днѣ отстойныхъ бассейновъ, частью-же задерживаются фильтромъ, быстро образуя на поверхности ихъ пленку, которая, какъ и въ англійскихъ фильтрахъ, необходима для фильтрованія. При такомъ положеніи дѣла фильтрующіе слои очень быстро загрязняются и требуютъ частой промывки, что достигается помощью различныхъ механическихъ приспособленій; въ силу этого американскіе фильтры и получили названіе «механическихъ».

Освѣтленіе воды помощью химическихъ веществъ (только квасцовъ) было извѣстно еще въ древности, но особенное вниманіе на это обстоятельство было обращено лишь за послѣднія два десятилѣтія въ Америкѣ. Процессъ воздѣйствія на воду химическими реактивами получилъ названіе *«коагюлированія»*, а вводимые рактивы—*«коагюлянтовъ»*.

Въ качествѣ коагюлянтовъ могутъ быть употребляемы квасцы, сѣрнокислый глиноземъ (сюльфатъ аллюминія), сѣрнокислая закись желѣза, также водныя окиси аллюминія и желѣза, получаемыя путемъ электролиза этихъ металловъ, располагаемыхъ въ самой очищаемой водѣ. Въ самое послѣднее время для коагюлированія стали употреблять полутора—хлористое желѣзо и соду.

Наибольшее распространеніе изъ всѣхъ этихъ коагюлянтовъ получили квасцы и сюльфатъ аллюминія. Что касается квасцовъ, то примѣненіе ихъ въ качествѣ коагюлянта, въ томъ случаѣ, если можно имѣть сюльфатъ аллюминія, не можетъ быть признано цѣлесообразнымъ, такъ какъ сѣрно-кислый калій, находящійся въ квасцахъ, въ дѣлѣ очищенія воды роли не играетъ, увеличиваетъ лишь ея жесткость, очищеніе же происходитъ на счетъ сѣрнокислаго глинозема, который и является собственно каогюлянтомъ.

Результатомъ введенія въ воду сѣрнокислаго глинозема являются 3 процесса. 1) Переводъ сѣрнокислыхъ солей въ углекислыя или, что аналогично, временной жесткости въ жесткость постоянную, 2) раствореніе въ водѣ свободной углекислоты и 3) образованіе водной окиси аллюминія *).

---

*) Реакція при примѣненіи въ качествѣ коагюлянта сюльфата аллюминія идетъ по слѣдующей формулѣ: $3CO_3Ca + Al_2(SO_4)_3 = 3SO_4Ca + Al_2(CO_3)_3$; $Al_2(CO_3)_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2CO_3$; $3H_2CO_3 = 3CO_2 + 3H_2O$.

Водная окись аллюминія, представляя студенистое вещество, захватываетъ въ себя находящіяся въ водѣ примѣси и бактеріи и въ видѣ болѣе или менѣе крупныхъ хлопьевъ, частью осѣдаетъ на дно отстойныхъ бассейновъ, частью же задерживается фильтрами.

Возможность употребленія въ качествѣ коагюлянтовъ, какъ квасцовъ, такъ и сюльфата аллюминія, обусловлена, слѣдовательно, количествомъ находящихся въ водѣ солей щелочно-земельныхъ металловъ—солей извести и магнезіи: такимъ образомъ, чѣмъ выше жесткость, тѣмъ больше можно употреблять коагюлянта безъ опасенія, что онъ пройдетъ нерастворенным въ фильтратъ. На практикѣ зачастую приходится очищать воду весьма малой жесткости и сильно загрязненную. Въ этомъ случаѣ при употребленіи въ качествѣ коагюлянтовъ, какъ квасцовъ, такъ и сульфата аллюминія, приходится искусственно увеличивать жесткость воды, прибавленіемъ извести, что можетъ представить нѣкоторыя практическія неудобства.

Это обстоятельство побудило спеціалистовъ изыскивать новые химическіе реактивы для примѣненія ихъ въ качествѣ коагюлянтовъ. Вполнѣ удачное разрѣшеніе вопроса достигнуто, при примѣненіи въ качествѣ коагюлянтовъ полутора-хлористаго желѣза и соды, которыя могутъ реагировать независимо отъ химическаго состава воды *).

Способность полутора-хлористаго желѣза съ угленатровой содой очищать воду была установлена уже давно.

Въ концѣ 80 годовъ прошлаго столѣтія подъ руководствомъ доктора медицины Зѣмбицкаго былъ произведенъ рядъ опытовъ надъ различными химическими веществами, примѣнительно къ ихъ способности очищать воду. Здѣсь то и было установлено (кажется впервые) свойство полутора-хлористаго желѣза совмѣстно съ содой хорошо очищать воду отъ находящихся въ ней примѣсей. На основаніи своихъ многочисленныхъ опытовъ д-ръ Зѣмбицкій приходитъ окончательно къ слѣдующему заключенію: очистка воды хлористымъ желѣзомъ съ угленатровой солью есть хорошій, удобный и скорый способъ очищать грязную, мутную воду съ весьма значительнымъ количествомъ взвѣшенныхъ веществъ.

Здѣсь вполнѣ устраняется опасность вреда отъ прохожденія коагюлянта нерастворенным въ фильтръ. Если бы это и случи-

---

*) Реакція идетъ по слѣдующей формулы: $Fe_2Cl_6 + 3Na_2CO_3 = 6NaCl + 3CO_2 + Fe_2O_3$, послѣднее въ присутствіи воды переходитъ $2Fe_2O_3 3H_2O$.

лось, то все желѣзо должно непремѣнно осѣсть на днѣ въ видѣ водной окиси желѣза и самое большее, что можетъ быть—это увеличеніе въ водѣ хлористаго натра—обыкновенной поваренной соли.

Почти одновременно съ работой д-ра Зѣмбицкаго, производились испытанія надъ очистительною способностью полутора-хлористаго желѣза и соды въ лабораторіи Кронштадскаго морского госпиталя д-мъ А. С. Чемолосовымъ при участіи д-въ П. Ф. Либаріуса и Ф. И. Шидловскаго. Испытанія эти показали полную способность $Fe_2Cl_6$ и $Na_2CO_3$ хорошо очищать воду въ бактеріологическомъ отношеніи. Казалось бы весьма естественнымъ послѣ этихъ опытовъ примѣненіе $Fe_2Cl_6$ и $Na_2CO_3$ въ качествѣ коагюлянтовъ для очищенія большихъ количествъ воды, но тѣмъ не менѣе лишь за послѣднее время обращено должное вниманіе на эти реактивы.

Въ октябрѣ мѣсяцѣ закончились испытанія Харбинской водоочистительной станціи, проектированной и исполненной въ Москвѣ инженеромъ Зиминымъ. Очистка воды на этой станціи производится по американскому способу; въ качествѣ коагюлянтовъ примѣнены полутора-хлористое желѣзо и сода. Вотъ что пишетъ одинъ изъ членовъ испытательной коммиссіи ассистентъ при каѳедрѣ общей химіи Императорской военно-медицинской Академіи—докторъ Н. А. Ивановъ:

1) Реакція образованія хлопьевъ гидрата окиси заканчивается въ нѣсколько минутъ, и никоимъ образомъ не зависитъ отъ химическаго состава очищаемой воды, т. к. они образуются насчетъ одновременно вводимаго эквивалентнаго количества соды, почему проходъ неизмѣненнаго коагюлянта въ фильтрованную воду невозможенъ.

2) Поэтому примѣненіе означенныхъ коагюлянтовъ не требуетъ какого-либо наблюденія за измѣненіемъ состава очищаемой воды и дозволяетъ, въ случаѣ надобности, произвольно увеличивать ихъ количества, безъ всякаго вреда для здоровья, ибо отъ этого въ фильтрованной водѣ лишь будетъ увеличиваться содержаніе поваренной соли.

3) Благодаря возможности такого произвольнаго, внѣ зависимости отъ состава очищаемой воды, увеличенія коагюлянтовъ, имѣется возможность очищать самую грязную воду.

На основаніи всѣхъ вышеизложенныхъ свойствъ и преимуществъ употребленія въ качествѣ коагюлянтовъ полутора-хлористаго желѣза и соды, весьма желательно и дальнѣйшее возможно широкое распространеніе ихъ.

Какой бы коагюлянтъ не употреблялся, количество его находится, какъ сказано, въ функціональной зависимости отъ содержащихся въ водѣ примѣсей и бактерій. Чѣмъ вода болѣе загрязнена, чѣмъ болѣе въ ней бактерій, тѣмъ большія дозы коагюлянта необходимы для успѣшнаго очищенія воды,—и наоборотъ. Исходя изъ этого, при очисткѣ воды по американскому способу до введенія коагюлянта весьма полезно подвергнуть очищаемую воду предварительному отстаиванію въ особыхъ отстойныхъ бассейнахъ. Извѣстный изслѣдователь американскаго способа очищенія воды Г. Фуллеръ рекомендуетъ слѣдующую послѣдовательность при очищеніи:

1) Простое отстаиваніе воды въ отстойныхъ бассейнахъ безъ коагюлированія, зависящее главнымъ образомъ отъ степени мутности воды и могущее продолжаться до 2-хъ и болѣе сутокъ.

2) Коагюлированіе воды и вторичное отстаиваніе въ другихъ отстойникахъ въ теченіе отъ 20 минутъ до нѣсколькихъ часовъ и наконецъ

3) Фильтрованіе воды при помощи механическихъ фильтровъ. Таковая послѣдовательность весьма желательна для полученія наилучшихъ результатовъ, но тѣмъ не менѣе возможно обходиться и безъ предварительнаго отстаиванія и получать вполнѣ удовлетворительные результаты, что и практиковалось до послѣдняго времени въ С. Америкѣ.

Перехожу теперь къ описанію различныхъ системъ механическихъ фильтровъ.

Въ настоящее время, благодаря коммерческой предпріимчивости американцевъ, въ Америкѣ распространено очень много системъ механическихъ фильтровъ. Всѣ системы могутъ быть раздѣлены на двѣ категоріи: на фильтры открытые или самотечные и фильтры закрытые или напорные.

Фильтры самотечные работаютъ лишь подъ давленіемъ столба воды, находящагося надъ фильтрующимъ матеріаломъ; напорные работаютъ подъ давленіемъ въ водоводѣ.

Фильтры первой категоріи признаются лучшими: они поглощаютъ отъ 2 до 14 футъ гидравлическаго напора на фильтрованіе, при толщинѣ песчанаго слоя около 3 футъ и скорости фильтрованія отъ 150 до 200 д.

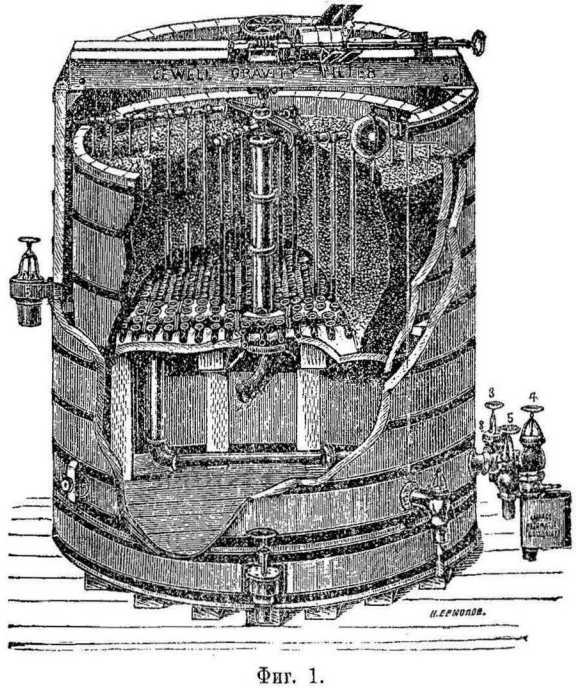
Фильтры напорные поглощаютъ до 30 футъ водяного столба.

Я не буду останавливаться на описаніи всѣхъ извѣстныхъ въ настоящее время системъ механическихъ фильтровъ, приведу

лишь описанiи типичнѣйшихъ представителей, какъ самотечныхъ, такъ и напорныхъ фильтровъ.

Таковыми для первой категорiи могутъ считаться фильтры системы Джуэлль, Варренъ; для второй категорiи—фильтры системы Риделль и Нью-Iоркской компанiи.

Фильтры системы Джуэлль (фиг. 1) представляютъ изъ себя деревянный или желѣзный бакъ высотою около 2 саж. и дiаметромъ отъ 6 до 24 фут. Фильтрующiе слои песка заключены въ особомъ внутреннемъ бакѣ, концентричномъ съ наружнымъ. Зачастую наружный бакъ бываетъ подраздѣленъ днищемъ на два отдѣленiя, при чемъ нижнее отдѣленiе играетъ роль осадочнаго и реактивнаго бассейна, верхнее собственно фильтръ.

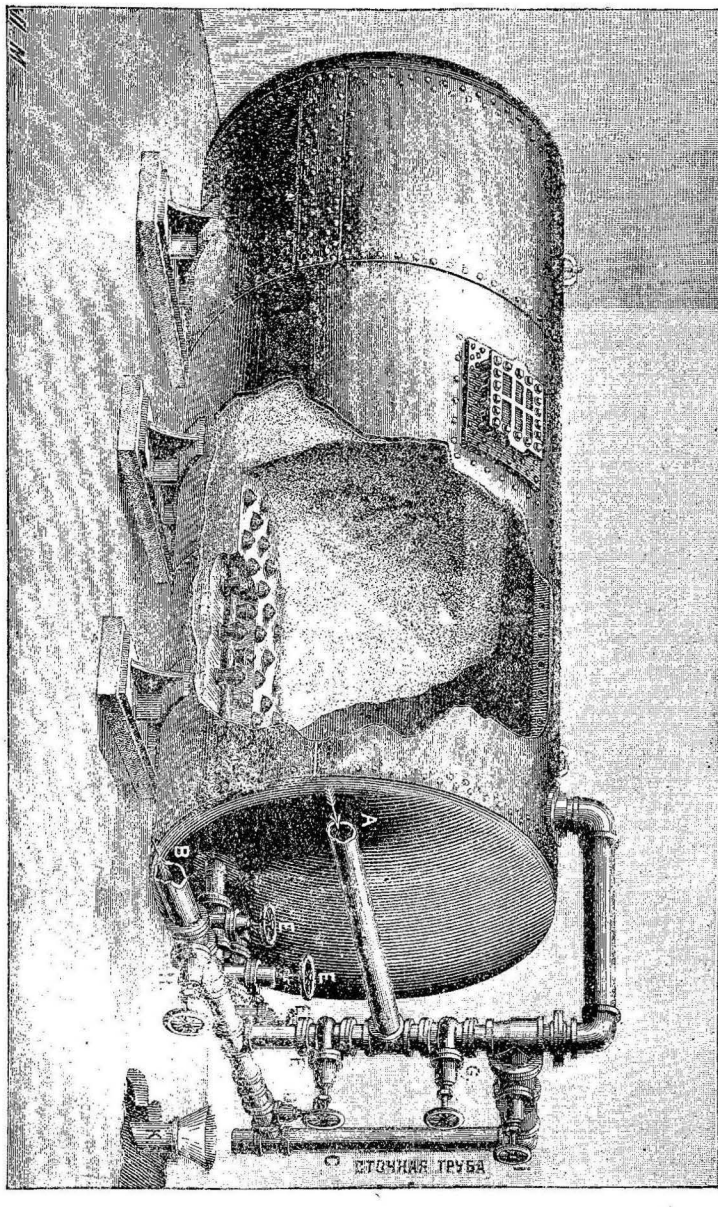



Фиг. 1.

Вода поступаетъ по стоящей въ центрѣ трубѣ и, пройдя сквозь фильтрующiй слой песка, очищенною собирается системою мѣдныхъ ситокъ и поступаетъ въ отводную трубу; послѣдняя спускается внизъ и замыкается сифономъ, который образуетъ внутри трубы вакуумъ и тянетъ воду изъ фильтра.

Промывка фильтра производится фильтрованной водой, поступающей въ обратномъ направленiи. Промывная вода, переливаясь черезъ края внутренняго бака, попадаетъ въ промежутокъ между

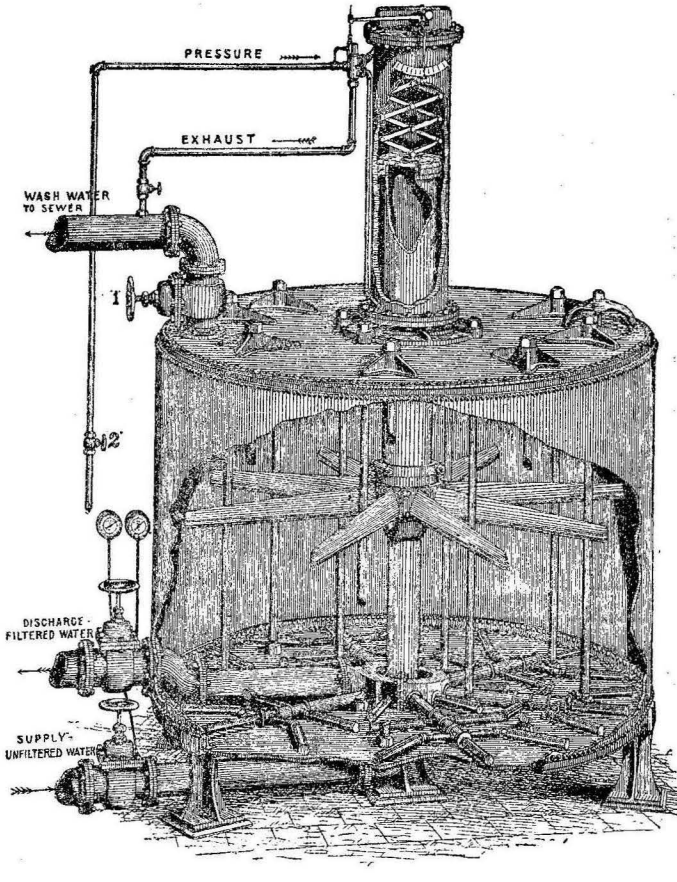
баками и изъ него отводится особой трубой. Во время промывки песокъ перемѣшивается особыми мѣшалками, приводимыми въ дѣйствіе механическими двигателями.




Фиг. 2.

Фильтръ снабженъ автоматическими приборами для регулированія скорости притеканія и скорости фильтрованія.

Фильтры системы Варренъ отличаются лишь нѣкоторыми деталями—идея совершенно та же. Вода и въ этомъ фильтрѣ поступаетъ по центральной трубѣ и, пройдя сквозь песокъ, также собирается ситками и отводится особой трубой.




Фег. 3.

Промывка фильтра производится фильтрованной водой, при чемъ вода эта, отработавши, поступаетъ въ центральную трубу и далѣе въ водостокъ. Песокъ во время промывки перемѣшивается мѣшалками, которыя кромѣ вращательнаго движенія имѣютъ движеніе поступательное сверху внизъ и обратно, что достигается или помощью винта, или помощью гидравлическаго поршня.

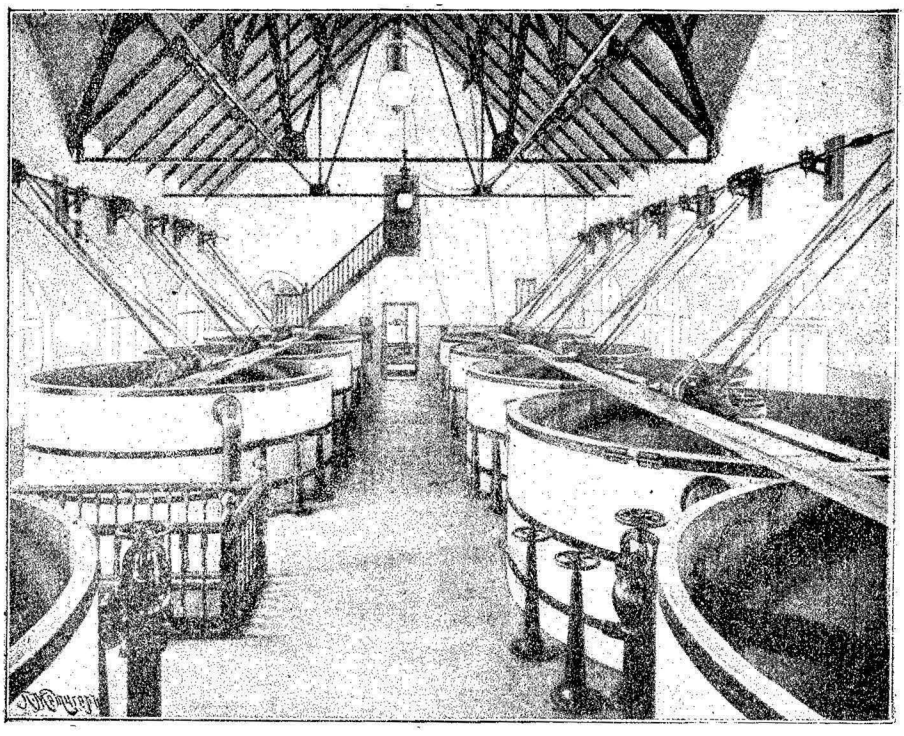
Напорный фильтръ Нью-Іоркской компаніи (фиг. 2) представляетъ собою горизонтальный или вертикальный цилиндръ, содержащій фильтрующій матеріалъ. Фильтрованная вода въ этой системѣ собирается помощью желѣзныхъ сѣтокъ. Промывка фильтра производится обратными струями воды безъ мѣшалокъ, что не цѣлесообразно, ибо трудно достигнуть равномѣрной промывкипеска.

Напорный фильтръ системы Ридделль (фиг. 3) въ отношеніи промывки можетъ считаться болѣе усовершенствованнымъ: онъ снабженъ механическими мѣшалками для песка, которыя имѣютъ видъ не грабель, вращающихся вокругъ центра, а звѣздчатой розетки, въ пальцы которой во время промывки пускается вода. Посредствомъ помѣщеннаго надъ фильтромъ гидравлическаго поршня эта розетка можетъ двигаться вверхъ и внизъ; при каждомъ полномъ ходѣ поршня розетка поворачивается немного вокругъ своей оси и вслѣдствіе этого при новомъ ходѣ поршня спицы ея попадаютъ въ новое мѣсто внутри песка. Одновременно съ этимъ пускается потокъ воды сквозь всю толщину песка снизу вверхъ, какъ и въ другихъ системахъ.

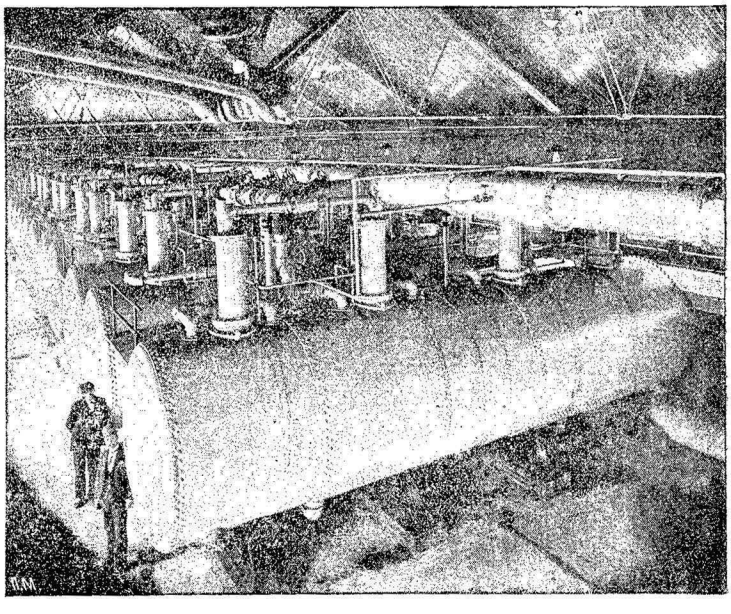
Фильтры системы Ридделль бываютъ, какъ вертикальные, такъ и горизонтальные. Въ первомъ случаѣ размѣръ цилиндра: высота до 8 фут. и діаметръ отъ 4 до 8 ф.; во второмъ діаметръ $7^1/_2$ ф. и длина отъ 16 до 59 ф. Въ послѣднемъ случаѣ фильтръ раздѣляется перегородками на нѣсколько отдѣльныхъ частей и каждая часть снабжена приборами для промывокъ.

На фиг. 4 и 5 изображены типичныя фильтровальныя станція съ очисткой воды по американскому способу. На фиг. 4—станція фильтровъ въ г. Ніагара-Фалльсъ, шт. Нью-Іоркъ; эта станція разсчитана на 4.500.000 американскихъ галлоновъ (1.385.000 ведеръ) въ сутки и состоитъ изъ девяти самотечныхъ фильтровъ Джуэлль 12 фут. діаметромъ. На фиг. 5—станція фильтровъ въ г. Гавенпортъ; эта станція фильтровъ на 7.500.000 американскихъ галлоновъ (2.300.000 ведеръ) въ сутки и состоитъ изъ десяти горизонтальныхъ фильтровъ системы Ридделль, каждый длиною 32′ и діаметромъ 7,5′.

Въ Россіи преимущественно распространяются самоточные фильтры системы Джуэлль. Кромѣ того, послѣднее время по общему типу большихъ американскихъ сооружаются фильтры и значительно меньшихъ размѣровъ. Такіе фильтры были проектированы, напримѣръ, для Харбинской (водопроводной) водоочистительной станціи, а также установлены на нѣкоторыхъ желѣзнодорожныхъ станціяхъ и промышленныхъ заведеніяхъ.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

Въ настоящее время по иниціативѣ нач. работъ Улуханлы-Джульфинской ж. д. инженера пут. сообщенія Е. Д. Вурцеля производятся научныя испытанія подобнаго типа фильтровъ малаго размѣра при Военно-Медицинской лабораторіи Кавказскаго военнаго округа подъ непосредственнымъ руководствомъ завѣдующаго ею д-ра медицины М. В. Лункевича. Эти опыты въ настоящее время имѣютъ особенный интересъ въ виду надвигающейся холерной эпидеміи. Въ случаѣ полученія благопріятныхъ результатовъ, малые фильтры американскаго типа могутъ внести значительное облегченіе въ дѣло борьбы съ холерной эпидеміей.

Познакомивши съ различными системами американскихъ механическихъ фильтровъ, равно и съ сущностью американскаго способа очищенія воды, я перехожу теперь къ изложенію главнѣйшихъ результатовъ научныхъ изслѣдованій, произведенныхъ надъ американскимъ способомъ очищенія воды. Первыя по времени научныя изслѣдованія американскаго способа очищенія воды были произведены въ г. Провиденсѣ, штата Родъ-Айлейнъ въ 1893 году Изслѣдованія эти были поручены инженеру Эдмунду Вестону при ближайшемъ участіи д-ра Гроднера, отчетъ о нихъ вышелъ въ въ 1896 г. Испытанія въ г. Провиденсѣ были началомъ новой эры въ дѣлѣ распространенія механическихъ фильтровъ. До этихъ испытаній эксплоатація механическихъ фильтровъ была главнымъ образомъ коммерческимъ предпріятіемъ, чуждая научныхъ основъ, послѣ нихъ она получила научную основу. Провиденскими испытаніями было доказано, что фильтрованіемъ по американскому способу можно выдѣлять 98—99% находящихся въ водѣ бактерій.

Въ теченіе 1895, 1896 и 1897 гг. идутъ знаменитыя изслѣдованія американскаго способа очищенія воды въ г. Луисвиллѣ, штатъ Кентуко. Руководство этими испытаніями было поручено извѣстному химику и бактеріологу г. Фуллеру. Въ 1898 г. имъ опубликованъ отчетъ о луисвильскихъ испытаніяхъ, который, по количеству чисто научныхъ матеріаловъ по американскому способу очищенія воды, представляетъ цѣнный вкладъ въ техническо-водопроводную литературу. Процентъ задержки бактерій, какъ это видно изъ цѣлаго ряда таблицъ, равнялся въ среднемъ для фильтра системы Джуэлль—97,9, для фильтра Варренъ—98,5%; тѣмъ не менѣе г. Фуллеръ призналъ лучшее дѣйствіе за фильтромъ Джуэлль, объясняя болѣе благопріятные результаты, полученные фильтромъ Варренъ, тѣмъ, что вода до фильтрованія этимъ фильтромъ подвергалась болѣе совершенному коагюлированію и отстаиванію.

Въ качествѣ коагюлянта при луисвильскихъ испытаніяхъ употреблялся сюльфатъ-аллюминія, скорость фильтрованія была 153,4 дюйма въ часъ. Конечный выводъ изъ Луисвильскихъ испытаній 1895 и 1896 г. былъ тотъ, что для очищенія воды рѣки Огіо наиболѣе подходящими были признаны механическіе фильтры въ связи съ коагюляціей. Недостаткомъ испытуемыхъ системъ было признано отсутствіе надлежащихъ приспособленій для отстаиванія воды.

Въ теченіе 1897 г. были произведены дополнительные опыты, которые выяснили, что предварительному отстаиванію должно быть отведено видное мѣсто. Въ томъ же году производились изслѣдованія надъ различными коагюлянтами, конечный результатъ которыхъ—рекомендація для коагюлированія воды р. Огіо сюльфата-аллюминія (полутора-хлористое желѣзо и сода испытанію не подвергались). Прямымъ продолженіемъ луисвильскихъ изслѣдованій были изслѣдованія въ Цинцинатти, которыя велись подъ руководствомъ того же г. Фуллера. Здѣсь изслѣдованія производились параллельно надъ англійской и американской системами фильтраціи, при чемъ англійская система была въ нѣсколько измѣненномъ видѣ: при ней вода подвергалась коагюлированію съ долговременнымъ отстаиваніемъ. Обѣ системы дали вполнѣ хорошіе результаты, но тѣмъ не менѣе г. Фуллеръ рекомендовалъ американскій способъ, какъ представляющій менѣе затрудненій при эксплоатаціи и болѣе дешевый.

Въ 1899 и 1900 гг. идутъ изслѣдованія американскаго способа очищенія воды въ Вашингтонѣ. Изслѣдованія производились подъ руководствомъ военнаго инженера Миллера, при участіи химика Роберта Вестона и инженера Харди. Здѣсь опять производились сравнительныя испытанія системъ фильтраціи англійской и американской, при чемъ было замѣчено, что въ періодъ наибольшей мутности воды, механическій фильтръ очищалъ воду совершеннѣе, вслѣдствіе чего инженеръ Миллеръ остановился на рекомендаціи для Вашингтона механическихъ фильтровъ.

Слѣдующая таблица даетъ процентное задержаніе бактерій американскимъ быстрымъ фильтромъ Джуэлль за послѣдніе два мѣсяца его испытаній въ г. Вашингтонѣ, когда подлежащая очищенію вода р. Потомакъ была особенно мутна. Въ этой таблицѣ указано количество вводимаго въ воду сѣрнокислаго глинозема, а также бактеріологическіе результаты работы испытывавшагося параллельно медленнаго песчанаго англійскаго фильтра.

| Время. | | % бактерій, задержанныхъ англійскимъ фильтромъ. | % бактерій, задержанныхъ американскимъ фильтромъ. | Колич. употр. при америк. фильтрѣ сѣрнокислаго глинозема въ гран. на галлонъ воды. |
|---|---|---|---|---|
| Мѣсяцъ. | Чис. | | | |
| 1900 г. | | | | |
| Январь. | 6 | 96,4 | 99,5 | 4,99 |
| „ | 7 | 96,3 | — | — |
| „ | 8 | 85,7 | 98,9 | 2,29 |
| „ | 9 | 91,9 | 98,9 | 1,66 |
| „ | 10 | 86,0 | 94,3 | 1,03 |
| „ | 11 | 90,8 | 94,6 | 0,96 |
| „ | 12 | 93,3 | 96,5 | 1,07 |
| „ | 13 | 93,7 | 95,1 | 1,09 |
| „ | 14 | 95,9 | — | — |
| „ | 15 | 95,6 | 95,9 | 1,05 |
| „ | 16 | 95,0 | 97,4 | 1,42 |
| „ | 17 | 97,6 | 96,7 | 1,07 |
| „ | 18 | 98,6 | 96,0 | 1,38 |
| „ | 19 | 98,8 | 97,5 | 1,34 |
| „ | 20 | 99,0 | 97,8 | 1,35 |
| „ | 21 | 99,1 | — | — |
| „ | 22 | 99,6 | 98,9 | 1,54 |
| „ | 23 | 99,5 | 99,1 | 1,92 |
| „ | 24 | 99,7 | 99,7 | 2,03 |
| „ | 25 | 99,7 | 99,4 | 1,95 |
| „ | 26 | 99,7 | 99,8 | 1,97 |
| „ | 27 | 99,2 | 99,6 | 1,98 |
| „ | 28 | 98,6 | — | — |
| „ | 29 | 98,6 | 99,7 | 2,11 |
| „ | 30 | 98,8 | 99,8 | 1,88 |
| „ | 31 | 98,5 | 99,7 | 1,89 |
| Февраль. | 1 | 98,1 | — | — |
| „ | 2 | 98,1 | 99,8 | 1,84 |
| „ | 3 | 98,1 | 99,9 | 1,64 |
| „ | 4 | 99,0 | — | — |
| „ | 5 | 99,0 | 99,5 | 1,35 |
| „ | 6 | 98,0 | 99,6 | 1,52 |
| „ | 7 | 97,6 | 98,6 | 1,42 |
| „ | 8 | 97,9 | 98,3 | 1,44 |
| „ | 9 | 98,0 | 98,7 | 1,42 |
| „ | 10 | 98,2 | 99,2 | 1,35 |
| „ | 11 | 97,8 | — | — |
| „ | 12 | 97,8 | 99,2 | 1,57 |
| „ | 13 | 97,8 | 99,1 | 1,80 |
| „ | 14 | 98,6 | 96,3 | 2,03 |
| „ | 15 | 99,5 | 99,5 | 2,94 |
| „ | 16 | 99,5 | 99,9 | 3,04 |
| „ | 17 | 99,3 | 99,9 | 3,50 |
| „ | 18 | 99,3 | — | — |
| „ | 19 | 99,1 | 99,9 | 2,76 |
| „ | 20 | 98,9 | 99,7 | 2,26 |
| „ | 21 | 98,6 | 99,6 | 3,55 |
| „ | 22 | 98,3 | — | — |
| „ | 23 | 97,9 | 99,9 | 3,59 |
| „ | 24 | 97,7 | 99,9 | 2,49 |
| „ | 25 | 99,1 | — | — |
| „ | 26 | 97,7 | 99,6 | 2,91 |
| „ | 27 | 97,4 | 98,8 | 3,42 |
| „ | 28 | 98,2 | 99,2 | 3,51 |
| Мартъ. | 1 | 97,7 | 99,9 | 3,59 |
| „ | 2 | 98,5 | 99,8 | 2,48 |

Результаты очень близкіе къ вышеприведеннымъ были получены при испытаніяхъ американскаго способа очищенія воды въ 1900 г. въ Филадельфіи и въ 1901 г. въ Новомъ Орлеанѣ.

Въ концѣ 1902 года были произведены изслѣдованія американскаго способа очищенія воды въ г. Александріи, директоромъ Египетскаго Института гигіены профессоромъ д-ромъ Биттеръ и д-ромъ Готчлихъ.

Въ своемъ отчетѣ объ изслѣдованіи д-ръ Биттеръ говоритъ: «Съ точки зрѣнія бактеріологическаго очищенія воды фильтръ Джуэлль ни въ чемъ не уступаетъ песчаному фильтру старой англійской системы. Я не колеблясь скажу, что его дѣйствіе болѣе совершенно и болѣе надежно».

Къ подобному же заключенію приходитъ и докторъ Готчлихъ. «Мы пришли къ заключенію», пишетъ онъ, «что съ гигіенической точки зрѣнія американская система не только равна, но даже лучше, чѣмъ старая».

Такимъ образомъ всѣ вышеизложенныя строго научныя изслѣдованія американскаго способа очищенія дали совершенно положительные результаты.

Въ 1898 году г. Москва, задумывая осуществить грандіозный проектъ Москворѣцкаго водоснабженія, командировала своего главнаго инженера водопроводовъ въ Америку для детальнаго ознакомленія на мѣстѣ съ примѣняемымъ тамъ и окончательно получившимъ къ этому времени право гражданства способомъ очищенія воды.

Убѣдившись въ совершенной раціональности американскаго способа очищенія воды и сознавая ту пользу, какую этотъ способъ очищенія воды можетъ принести русскому водопроводному дѣлу, инженеръ Зиминъ началъ энергично знакомить и спеціалистовъ, и русское общество съ новымъ названнымъ имъ «американскимъ» способомъ очищенія воды.

Въ 1898 г. по предложенію инженера Зимина, Московское городское Управленіе рѣшило произвести самостоятельныя научныя изслѣдованія американскаго способа очищенія воды.

Изслѣдованія эти производились по программѣ и подъ непосредственнымъ руководствомъ профессора Московскаго Университета С. Ф. Бубнова.

Для испытанія фильтровъ на берегу Москвы рѣки, на Дѣвичьемъ полѣ, была устроена испытательная фильтровальная станція, гдѣ были установлены механическіе фильтры трехъ различныхъ системъ (Джуэлль, Варренъ и Ридделль).

На долю фильтровъ выпала задача очищать воду сильно загрязненную фабричными стоками.

Въ 1902 году испытательная станція была перенесена въ Рублево, къ мѣсту пріема воды для Москворѣцкаго водоснабженія. Здѣсь по назначенію Московской городской думы должны были производиться сравнительныя испытанія англійскаго и американскаго способовъ очищенія воды, но, къ сожалѣнію, до сихъ поръ систематическихъ сравнительныхъ испытаній произведено не было.

Испытаніе фильтровъ на Дѣвичьемъ полѣ представляется въ слѣдующемъ видѣ. По внѣшнему виду вода очищалась до полной прозрачности. По даннымъ же анализовъ фильтрованной и нефильтрованной воды получались крайне неустойчивые результаты: то фильтры задерживали лишь 60% находящихся въ водѣ бактерій, то задержаніе бактерій доходило до 99%.

Таковая неравномѣрная работа фильтровъ должна казаться тѣмъ болѣе странной, что при всѣхъ научныхъ изслѣдованіяхъ амер. способа очистки воды внѣ Москвы—подобное обстоятельство никогда не имѣло мѣста. Но, какъ теперь выяснено, такая неравномѣрная работа фильтровъ, явилась слѣдствіемъ весьма грубой ошибки, прошедшей красной нитью черезъ всѣ изслѣдованія на Дѣвичьемъ полѣ. Какъ оказалось, вода для сравнительныхъ анализовъ бралась одновременно изъ резервуара чистой фильтрованной воды и изъ рѣки. Такимъ образомъ проф. Бубновъ полагалъ, что въ теченіе трехъ часовъ, нужныхъ на процессы очищенія воды по американскому способу, составъ воды въ р. Москвѣ остается постояннымъ. На дѣлѣ же выходило, что въ теченіе этого времени составъ воды въ рѣкѣ могъ сильно мѣняться вслѣдствіе наличія фабричныхъ стоковъ, и поэтому при одновременномъ заборѣ воды изъ рѣки и резервуара ни въ коемъ случаѣ нельзя судить о процентномъ задержаніи бактерій.

«Неравномѣрная» работа испытуемыхъ фильтровъ дала поводъ проф. Бубнову назвать эти фильтры приборами «капризными», а результаты, даваемые ими, «пестрыми». Въ силу вышеизложеннаго, таковые эпитеты можно считать совершенно необоснованными.

До сихъ поръ нѣтъ еще подробнаго отчета объ испытаніяхъ фильтровъ на Дѣвичьемъ полѣ и объ этихъ испытаніяхъ можно судить лишь по отзывамъ проф. Бубнова. Но и сами эти отзывы отличаются крайнимъ противорѣчіемъ.

Такъ въ отзывѣ отъ 29 марта 1900 г. проф. Бубновъ говоритъ: «Американскіе механическіе фильтры всѣхъ трехъ системъ, по-

видимому, могутъ при внимательномъ уходѣ за приборами, довольно удовлетворительно очищать москворѣцкую воду въ такое время года, когда эта вода не сильно загрязнена взвѣшенными веществами; во время же паводковъ, когда москворѣцкая вода бываетъ очень мутна, работоспособность фильтровъ замѣтно падаетъ» [1]).

Въ октябрѣ 1900 г. онъ же пишетъ:

«Уже довольно опредѣленно обрисовался отвѣтъ на одинъ основной вопросъ, а именно,—могутъ ли американскіе механическіе фильтры въ теченіе круглаго года, т.-е. зимою, весною, лѣтомъ и осенью настолько очищать москворѣцкую воду, чтобы она представлялась по выходѣ изъ фильтра вполнѣ доброкачественной? Наши наблюденія даютъ намъ основаніе отвѣтить, что фильтры (американскіе) всѣхъ трехъ системъ могутъ удовлетворять этому требованію».

Въ заключеніе къ своему второму отзыву г. Бубновъ пишетъ: «испытуемые американскіе фильтры по отсутствію автоматичности въ ихъ работѣ, по сложности ухода за ними и по нѣкоторымъ конструктивнымъ недостаткамъ, какъ это намѣчается и въ настоящее время, когда даже не подведены итоги по многимъ деталямъ, едва ли могутъ найти для себя широкое примѣненіе въ дѣлѣ водоснабженія большихъ городовъ и вообще населенныхъ центровъ».

Мнѣ кажется, если бы г. Бубновъ былъ въ курсѣ дѣла, если бы онъ слѣдилъ какъ за научными изслѣдованіями американскаго способа очищенія воды, такъ и за распространеніемъ его, то подобныя его заявленія не могли бы имѣть мѣста въ его отзывахъ. Вѣдь еще въ 1900 г. на Лондонскомъ съѣздѣ, созванномъ обществомъ американскихъ гражданскихъ инженеровъ, было сообщено инженеромъ Фуллеромъ, что къ этому времени въ Америкѣ имѣется 20 фильтровальныхъ станцій на 8.000,000 ведеръ въ сутки съ англійскими фильтрами и 160 станцій на 80.000,000 ведеръ въ сутки съ американскими фильтрами.

Такимъ образомъ, всѣ нелестные отзывы г. Бубнова о механи-

---

[1]) Таковое заявленіе противорѣчитъ сущности способа, ибо одно изъ главныхъ преимуществъ механическихъ фильтровъ—это ихъ способность въ теченіе круглаго года хорошо очищать воду.

*Примѣчаніе редакціи.* Редакція считаетъ необходимымъ продолжить выписку изъ отзыва: „наблюденія въ этомъ послѣднемъ направленіи еще не закончены и особенно цѣнные результаты надо ожидать во время весенняго половодья“.

ческихъ фильтрахъ являются крайне необоснованными. Нельзя не высказать своего искренняго сожалѣнія по поводу подобнаго рода заключеній, являющихся теперь краеугольнымъ камнемъ, на который опираются всѣ оппоненты американскаго способа очищенія воды.

Насущная необходимость очищать питьевую воду и трудность осуществленія очищенія воды по англійскому способу вслѣдствіе непосильныхъ матеріальныхъ затратъ, заставили нѣкоторыя изъ нашихъ городскихъ управленій обратить вниманіе на новый способъ очищенія воды.

Такъ въ 1899 г. городское управленіе Нижняго-Новгорода рѣшило поставить у себя для пробы одинъ американскій фильтръ Убѣдившись въ теченіе 2-хъ лѣтняго опыта въ совершенной раціональности и практичности американскаго способа очищенія воды, городъ рѣшилъ пріобрѣсти установленный для испытанія фильтръ въ собственность и производить очищеніе воды по американскому способу.

Въ этомъ же году 4-й русскій водопроводный съѣздъ взялъ американскіе фильтры подъ свое покровительство и въ окончательной санкціи, по докладу инженера Н. П. Зимина, рекомендовалъ русскимъ городамъ новый способъ очищенія воды. Таковой успѣхъ былъ залогомъ дальнѣйшаго распространенія механическихъ фильровъ въ Россіи.

Изъ нижеслѣдующей таблицы видно, гдѣ и когда въ Россіи примѣненъ американскій способъ очищенія воды, видно также, какою системою фильтровъ и въ какомъ количествѣ производится очистка воды.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Нижній-Новгородъ въ Кунавинѣ... | Джуэлль... | 1899 г. | 1— | 100.000 |
| Тобольскъ при гор. водопроводѣ... | Варренъ... | 1900 » | 1 | 70.000 |
| Тобольскъ при гор. водопроводѣ... | Варренъ... | 1901 » | 1 | 100.000 |
| Новая Костромская льняная мануфактрура ..... | Джуэлль... | 1900 » | 2 | 200.000 |
| Царицынъ при гор. водопроводѣ .. | Джуэлль... | 1900 » | 2 | 200.000 |
| Царицынъ при гор. водопроводѣ .. | Джуэлль... | 1903 » | 1 | 100.000 |
| Рыбинскъ при гор. водопроводѣ ... | Джуэлль... | 1900 » | 1 | 100.000 |
| Мценскъ имѣніе Н. М. Горбова ... | Нью-Іоркъ. | 1900 » | 1 | 1.440 |
| Ярославль на химическомъ заводѣ М. Понизовкина С-вей..... | Джуэлль... | 1901 » | 1 | 100.000 |
| Москва механическая прачечная центральныхъ бань наслѣдниковъ Г. И. Хлудова ..... | Нептунъ .. | 1901 » | 1 | 21.800 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Тверь Т-во Тверской Мануфактуры. | Джуэлль... | 1902 » | 1 | 100.000 |
| Тверь Т-во Тверской Мануфактуры. | Джуэлль... | 1903 » | 2 | 200.000 |
| Орѣхово-Зуево Т-во Никольской Мануфактуры..... | Джуэлль... | 1902 » | 1 | 100.000 |
| Балашовъ при гор. водопроводѣ... | Джуэлль... | 1902 » | 1 | 100.000 |
| Армавиръ » » » ... | Джуэлль... | 1902 » | 1 | 70.000 |
| Владимиръ » » » ... | Джуэлль... | 1903 » | 1 | 100.000 |
| С.-Петербургъ на Охтенскомъ Опытномъ полѣ Морского вѣдомства. | Джуэлль... | 1903 » | 1 | 36.000 |
| Ст. Ершово Ряз.-Уральск. ж. д. ... | Нептунъ .. | 1903 » | 2 | 7.200 |
| Симбирскъ при гор. водопроводѣ .. | Джуэлль... | 1903 » | 1 | 100.000 |
| | | Всего..... | 23— | 1.789.440 |

Кромѣ того, въ настоящее время поднятъ вопросъ о переустройствѣ самарскаго водопровода и примѣненіи тамъ американскаго способа очищенія воды.

Какъ извѣстно, Самара до сихъ поръ пользуется водою, получаемой изъ водосборныхъ колодцевъ, разсѣянныхъ по берегу Волги. Вода этихъ колодцевъ совершенно чиста, такъ что и не требовалось никакой искусственной очистки ея.

Уже въ первые годы послѣ устройства водопровода была обнаружена значительная жесткость воды. Съ увеличеніемъ откачки жесткость эта быстро возрастала и въ настоящее время, по анализамъ московскихъ профессоровъ Марковникова и Эрисмана, она достигаетъ 36⁰ нѣмецкихъ.

Снабженіе города такой водою представлялось крайне нежелательнымъ, такъ какъ, по мнѣнію профессора Эрисмана, характеръ жесткости воды, вслѣдствіе присутствія въ ней большого количества сѣрно-кислыхъ солей извести и магнезіи, является крайне неблагопріятнымъ. Въ экономическомъ отношеніи снабжать городъ столь жесткою водою являлось также крайне невыгоднымъ. По приблизительнымъ подсчетамъ самарскаго городского инженера Н. В. Чумакова, каждый изъ жителей Самары, благодаря жесткой водѣ, переплачиваетъ, по крайней мѣрѣ, одинъ рубль въ годъ на мылѣ и чаѣ, и эти ежегодныя переплаты при населеніи города въ 100 т. жителей равны 100.000 р. Въ силу вышеизложеннаго, еще три года тому назадъ въ Самарѣ поднялся вопросъ о переустройствѣ городского водопровода. Предполагалось забирать воду изъ рѣки Волги, подвергать ее какой-либо искусственной очисткѣ и уже очищенною направлять въ городъ.

Когда въ принципѣ вопросъ о переустройствѣ водопровода былъ рѣшенъ, поднялся вопросъ: какимъ способомъ производить очистку воды. Устройство медленныхъ песчаныхъ англійскихъ фильтровъ сопряжено было съ громадными единовременными затратами. Въ это время нѣкоторые изъ русскихъ городовъ и заводовъ производили очистку воды по американскому способу. Рѣшено было сдѣлать офиціальные запросы о дѣйствіи американскихъ фильтровъ въ тѣ мѣста, гдѣ къ тому времени очистка воды производилась по американскому способу, именно въ города: Царицынъ, Рыбинскъ, Нижній-Новгородъ, Тобольскъ, на фабрику льняной мануфактуры въ Костромѣ и на химическій заводъ Понизовкина въ Ярославлѣ.

Въ настоящее время получены отвѣты изъ всѣхъ запрошенныхъ мѣстъ, кромѣ г. Тобольска, откуда отвѣта еще не имѣется. Эти отвѣты, представляя изъ себя отвѣтъ одного городского управленія другому, отвѣтъ, — такъ сказать, товарища товарищу, — являются крайне важными для безпристрастнаго сужденія объ американскомъ способѣ очищенія воды. Я привожу здѣсь нѣкоторыя выдержки изъ полученныхъ Самарскимъ городскимъ управленіемъ отношеній.

1) Нижній-Новгородъ. Кунавино. Фильтръ системы «Джуэлль» работаетъ съ конца 1899 г. На покупку коагюлянта и др. мелочные расходы въ годъ потребно до 600 р.

При самомъ сильномъ загрязненіи воды въ рѣкѣ (Волга) коагюлянта прибавляется $^1/_{10000}$, а затѣмъ количество это уменьшается, смотря по степени загрязненія воды. Въ среднемъ, примѣсь коагюлянта можно опредѣлить въ $^1/_{25000}$. Фильтръ «Джуэлль», по испытаніи его въ теченіи двухъ слишкомъ лѣтъ, признанъ Управою вполнѣ отвѣчающимъ своему назначенію и потому пріобрѣтенъ городскимъ управленіемъ въ собственность.

2) Товарищество новой Костромской льняной мануфактуры. Здѣсь установлены два фильтра системы «Джуэлль» въ 1900 и 1901 году. По сіе время работою фильтровъ *мы вполнѣ довольны.*

3) Царицынъ. Два фильтра «Джуэлль», поставленные въ 1900 г. Стоимость содержанія фильтровъ и состава администраціи при нихъ выражается незначительной суммой, такъ какъ для ухода за ними требуется лишь одинъ рабочій; коагюлянта требуется отъ 30 фунтовъ до 1 пуда на 100.000 вед., въ зависимости отъ загрязненія рѣки Волги.

Изъ протокола магистранта Скворцова, приложеннаго къ отвѣту

Царицынскаго городского управленія, усматривается, между прочимъ, слѣдующее: анализы фильтрованной воды 11 апрѣля (т.-е. самой мутной) дали такіе результаты: англійскіе фильтры задерживали 69%, а американскіе 93% находящихся въ водѣ бактерій.

Въ общемъ фильтры работаютъ вполнѣ удовлетворительно.

4) Рыбинскъ. Фильтръ системы «Джуэлль» на 100.000 ведеръ въ сутки установленъ въ 1900 году. Коагюлянта требуется въ зависимости отъ времени года отъ $^3/_4$ до $1^1/_2$ фунта на 1.000 ведеръ. Послѣ фильтраціи вода получается чистая и совершенно свѣтлая, безъ присутствія какихъ-либо примѣсей или органическихъ веществъ. Въ общемъ городское общественное управленіе весьма довольно американскимъ фильтромъ въ виду, какъ его безукоризненнаго дѣйствія, такъ и незначительности площади, имъ занимаемой.

5) Химическій заводъ Н. Понизовкина сыновей въ Ярославлѣ. Здѣсь съ 1901 года работаетъ американскій фильтръ «Джуэлль» на 100,000 вед. въ сутки. Для наблюденія за фильтромъ достаточно одного простого рабочаго. Волжская вода желтая и мутная, загрязненная спускомъ нечистотъ, при соразмѣрномъ употребленіи коагюлянта очищается фильтромъ до полной прозрачности и чистоты, вполнѣ годна для питья. Коагюлянта требуется отъ $^3/_4$ до $1^1/_2$ фун. на 1.000 ведеръ воды.

Изъ вышеизложеннаго видно, что примѣненіе американскаго способа очистки воды въ Россіи дало положительные результаты, а слѣдовательно остается желать возможно широкаго распространенія этого способа.

Перехожу теперь къ изложенію сущности новыхъ способовъ очищенія воды—способовъ ея стерилизаціи. Здѣсь уже преслѣдуется цѣль не выдѣленія изъ воды бактерій, а ихъ полнаго уничтоженія. Стерилизація воды еще не вошла въ практику водопроводнаго дѣла но тѣмъ не менѣе, есть нѣсколько видовъ ея, гдѣ основы обстоятельными научными изслѣдованіями уже являются прочно установленными. Недалеко, быть можетъ, время повсемѣстнаго распространенія способовъ стерилизаціи воды.

Въ настоящемъ моемъ сообщеніи я остановлюсь на двухъ видахъ стерилизаціи: перекисью хлора и озонированнымъ воздухомъ. Способъ стерилизаціи воды перекисью хлора былъ изобрѣтенъ въ 1898 г. профессоромъ Брюссельскаго университета г. Г. Берже и его сыномъ — д-ромъ Альбертомъ Берже и носитъ по этому названіе способа Берже. Перекись хлора полу-

чается воздѣйствіемъ сѣрной кислоты на бертолетову соль. Реакція при этомъ идетъ по слѣдующей формулѣ:

$$3ClO_3K+2H_2SO_4=ClO_4K+2SO_4HK+2ClO_2+H_2O.$$

(Бертолетово- или хлорновато-каліева соль + сѣрная кислота = хлорно-каліева соль + сѣрнокислая соль калія + перекись хлора + вода).

Приборы для очищенія воды по способу Берже располагаются въ такой послѣдовательности. Растворъ сѣрной кислоты 58° помѣщается въ особый свинцовый пріемникъ, куда чрезъ опредѣленные промежутки времени всыпается мелкими порціями бертолетова соль. Получающаяся отъ соприкосновенія ихъ перекись хлора захватывается вдуваемою въ пріемникъ струею воздуха и увлекается ею въ колонну, въ которой падаетъ раздробленными струйками вода. Перекись хлора, идя навстрѣчу водѣ, растворяется въ ней, слѣдствіемъ чего получается растворъ желтаго цвѣта, который вливается въ подлежащую очищенію воду и стерилизуетъ ее. Если бы перекись хлора оставалась послѣ этого въ водѣ, то таковая вода была бы не годна для употребленія, но отъ соприкосновенія воды съ воздухомъ перекись хлора изчезаетъ изъ нея.

Если очищаемая вода сильно загрязнена, то передъ стерилизаціей рекомендуется подвергать ее отстаиванію и фильтраціи.

Что касается стоимости процесса—она можетъ быть опредѣлена изъ слѣдующихъ соображеній

1 граммъ бертолетовой соли даетъ 0,367 граммъ перекиси хлора. Съ запасомъ можно принять, что 3 грамма берт. соли даютъ 1 граммъ перекиси хлора. На 1 часть сѣрной кислоты д-ръ Берже считаетъ 3 части бертолетовой соли, и для стерилизаціи 1 куб. метра средне-загрязненной воды потребно 1 граммъ перекиси хлора.

Стоимость всего процесса, куда входитъ и устройство необходимыхъ приборовъ (пріемника, воздуходувки и колоннъ), разными изслѣдователями опредѣляется различно, но не болѣе 2 сантимовъ на 1 куб. метръ стерилизованной воды.

Лабораторныя изслѣдованія способа Берже производились во многихъ городахъ Франціи и Бельгіи, а также и у насъ въ Петербургѣ, гдѣ надъ этимъ способомъ работалъ д-ръ В. И. Яковлевъ.

Въ большомъ масштабѣ водоочистительная станція по способу Берже имѣется лишь въ Бельгіи въ г. Остенде, гдѣ она дѣйствуетъ съ августа 1900 года.

До устройства ея были произведены въ 1898 г. изслѣдованія способа Берже для стерилизаціи 1 куб. метра воды въ часъ. Отчетъ Комиссіи, которой было поручено изслѣдованіе, заканчивается слѣдующими словами:

«Изъ нашихъ испытаній видно, что способъ Берже простъ, практиченъ, выгоденъ и что онъ можетъ примѣняться на любое количество воды, такъ какъ прибавленіе очищающаго раствора можно легко регулировать соотвѣтственно съ этимъ количествомъ. Но чтобы уничтоженіе бактерій было вполнѣ обезпечено, необходимо, чтобы количество содержащихся въ водѣ органическихъ веществъ было въ достаточной степени сокращено, вслѣдствіе этого оправдывается примѣненіе отстойныхъ бассейновъ и спеціальныхъ аппаратовъ для осажденія и фильтрованія, значеніе которыхъ, очевидно, должно тѣмъ болѣе возрастать, чѣмъ болѣе загрязнена подлежащая очищенію вода».

На основаніи такихъ результатовъ изслѣдованій, въ Остенде была устроена установка для стерилизаціи 5,000 куб. метр. воды въ сутки, но здѣсь пришлось столкнуться со многими недостаточно разрѣшенными вопросами и по крайней мѣрѣ первое время въ Остенде были не вполнѣ довольны результатами стерилизаціи воды.

Переходя теперь къ описанію стерилизаціи воды озономъ, могу замѣтить, что процессъ этотъ представляетъ собою улучшеніе обыкновеннаго способа аэраціи воды, который имѣетъ довольно широкое примѣненіе при городскихъ водоснабженіяхъ.

Для стерилизаціи воды употребляется не чистый озонъ, а озонированный атмосферный воздухъ, концентрація озона въ которомъ отъ 5 до 10 мгр. на 1 литръ воздуха.

Озонированіе воды, кромѣ уничтоженія въ ней бактерій, сообщаетъ ей полную безцвѣтность, блестящій видъ и пріятный освѣжающій вкусъ. Кромѣ того, оно уничтожаетъ изъ воды дурной запахъ и не вводитъ въ воду никакихъ постороннихъ веществъ, кромѣ безусловно полезнаго кислорода.

Приспособленія для стерилизаціи воды помощью озона должны заключаться въ слѣдующемъ:

a) приборъ для приготовленія озона или озонаторъ;

b) приборъ для предварительной очистки воды, каковымъ можетъ быть обыкновенный механическій фильтръ;

c) приборъ, въ которомъ озонъ приходитъ въ соприкосновеніе съ очищаемою водою, онъ носитъ названіе стерилизатора.

Какъ извѣстно, если въ холодномъ атмосферномъ воздухѣ про-

изводить частые тихіе разряды электричества высокаго напряженія, то часть кислорода воздуха переходитъ въ новое изомѣрное состояніе—озонъ, который въ полтора раза плотнѣе кислорода. Для полученія озона въ настоящее время примѣняются главнымъ образомъ два типа приборовъ:

Одинъ изъ нихъ—такъ называемая озонизаціонная трубка Сименса, представляющая собою двѣ трубки, вставленныя одна въ другую и обложенныя листовымъ оловомъ; если соединить оболочки трубокъ съ проводниками отъ трансформатора, дающаго токъ напряженіемъ не менѣе 5.000 вольтъ и снабженнаго прерывателемъ, и вгонять воздухъ въ кольцевое пространство между трубками, то часть кислорода проходящаго черезъ трубки воздуха трансформируется въ озонъ.

Другой типъ озонаторовъ состоитъ изъ горизонтальныхъ или вертикальныхъ стекляныхъ пластинокъ, также покрытыхъ оловомъ и соединенныхъ съ проводниками отъ трансформатора, какъ и въ предыдущемъ случаѣ.

Стерилизаторы устраиваются въ видѣ круглой или квадратной башни высотою около 4 метровъ при діаметрѣ около 1 метра. Для полученія соприкосновенія воды съ озонированнымъ воздухомъ башня или наполняется мелкимъ камнемъ (система Сименса и Гальске), или въ ней устанавливаются целлюлоидныя діафрагмы, подраздѣляющія башню на нѣсколько отдѣльныхъ ярусовъ (система Тиндаля). Въ послѣднемъ случаѣ, діафрагмы имѣютъ въ части своей площади отверстія, расположенныя такъ, что продыравленная часть верхней діафрагмы, приходится надъ сплошной частью нижней. При такомъ устройствѣ, пуская воду сверху стерилизатора, а озонированный воздухъ снизу, происходитъ, во-первыхъ, раздробленіе воды на мелкія струйки, и во-вторыхъ, совершенное соприкосновеніе воды съ озономъ, слѣдствіемъ чего является ея стерилизація.

Вода изъ рѣки накачивается центробѣжнымъ насосомъ въ резервуаръ, откуда она самотекомъ направляется черезъ механическій фильтръ въ резервуаръ чистой воды и далѣе въ стерилизаторъ, который имѣетъ видъ башни, наполненной камнями. Въ стерилизаторѣ вода встрѣчаетъ струю озонированнаго воздуха, поступающаго изъ пластинчатаго озонизатора, въ который въ свою очередь воздухъ накачивается воздуходувнымъ насосомъ.

Озонированная вода падаетъ въ резервуаръ, находящійся подъ стерилизаторомъ, который устроенъ по типу отстойныхъ резерву-

аровъ, съ той цѣлью, чтобы здѣсь могло быть осажденіе нерастворимыхъ примѣсей, могущихъ образоваться послѣ стерилизаціи. Вышеописанная станція была проектирована для очищенія около 24,000 ведеръ воды въ сутки (при 20 часовой работѣ). Вода принималась изъ рѣки Шпре въ мѣстѣ ея сильнаго загрязненія. Трехмѣсячныя изслѣдованія дали въ общемъ такіе результаты: за все время изслѣдованій разрушеніе бактерій озономъ составляло minimum 99,86%, стоимость озонированія на 100 ведеръ составляла 0,22 коп.

Кромѣ этого, въ теченіе послѣдняго десятилѣтія процессъ озонированія воды подвергался обстоятельной научной разработкѣ въ Германіи, Франціи и Голландіи.

Первымъ трудомъ въ этомъ направленіи явилась работа д-ра Ольмюллеръ, который еще въ 1893 году по порученію Германскаго Императорскаго санитарнаго управленія, произвелъ изслѣдованія надъ озонированіемъ воды.

Изслѣдованія д-ра Ольмюллера носили лабораторный характеръ, но тѣмъ не менѣе, благодаря обстоятельности и систематичности, съ которой они производились, изслѣдованія эти легли въ основу всѣхъ дальнѣйшихъ изслѣдованій по озонированію воды. Въ хронологическомъ порядкѣ изслѣдованія представляются въ такомъ видѣ:

Въ 1895 г. докторъ Эрлингемъ произвелъ изслѣдованія надъ озонированіемъ воды въ Голландіи въ г. Удсгорнѣ. Приборы для озонированія имѣли здѣсь уже промышленные размѣры.

Въ 1898 и 1899 г. идутъ изслѣдованія надъ озонированіемъ воды во Франціи, организованныя городскимъ управленіемъ г. Лилля. Изслѣдованія поручаются особой комиссіи, въ составъ которой вошли докторъ Ру, вице-директоръ института Пастера въ Парижѣ, докторъ Кальметъ директоръ института Пастера въ Лиллѣ и профессоръ Лилльскаго университета, директоръ лилльскаго санитарнаго бюро и друг. Для этихъ изслѣдованій были установлены приборы для озонированія воды при Лилльскомъ водопроводѣ.

Наконецъ, въ 1901 г. въ Берлинѣ въ Мартиниксъ-Фельдѣ были произведены изслѣдованія надъ озонированіемъ воды д-ромъ Ольмюллеръ при участіи д-ра Пралль. Эти изслѣдованія были осуществлены въ широкомъ масштабѣ въ совершенно практической обстановкѣ.

Когда, послѣ всѣхъ вышеупомянутыхъ изслѣдованій, научные основы озонированія воды явились болѣе или менѣе прочно уста-

новленными, появились въ скоромъ времени и первыя практическія примѣненія озонированія воды при городскихъ водопроводахъ Германіи. Такъ, въ августѣ 1902 г. устраивается станція для очищенія воды озономъ въ Висбаденѣ на 500.000 ведеръ въ сутки. Около этого времени озонированіе воды примѣнено при водопроводѣ въ городѣ Падерборгѣ въ Вестфаліи на 100.000 вед. воды въ сутки.

Считая возможнымъ закончить на этомъ свое сообщеніе, я позволю себѣ въ заключеніе, высказать здѣсь пожеланіе возможно широкаго распространенія новыхъ способовъ очищенія воды, каковыми я считаю, какъ способы ея стерилизаціи, такъ и американскій способъ, гдѣ основы являются прочно установленными, какъ научными изслѣдованіями, такъ и *практикой*.

Можно съ увѣренностью сказать, что раціональное примѣненіе этихъ новыхъ способовъ очищенія воды внесетъ не малую пользу въ дѣло санитарнаго обезпеченія нашихъ русскихъ городовъ.

Инженеръ *С. Петровъ*.

24 ноября 1904 г.
г. Тифлисъ.

# Американскіе механическіе фильтры съ санитарной точки зрѣнія [1]).

(Къ вопросу объ очисткѣ воды для городского водоснабженія).

Въ дѣлѣ очистки воды для городского водоснабженія въ Америкѣ, въ недалекомъ прошломъ начали получать нѣкоторое примѣненіе такъ называемые «американскіе механическіе фильтры». Эти фильтры довольно энергично пропагандируются и у насъ, въ Россіи, при чемъ особенно вѣскимъ аргументомъ въ пользу ихъ примѣненія служитъ большая дешевизна первоначальнаго ихъ устройства сравнительно съ англійскими фильтрами. Дороговизна же ихъ правильной эксплоатаціи и необходимость при нихъ усиленнаго техническаго и санитарнаго надзора, обыкновенно, мало принимаются во вниманіе.

При современномъ положеніи вопроса о городскомъ водоснабженіи не можетъ быть никакого сомнѣнія въ томъ, что при выборѣ той или другой системы фильтровъ для очистки воды слѣдуетъ руководствоваться, *главнымъ образомъ*, не экономическою стороною дѣла, а—санитарною. Если какая-либо система фильтровъ и окажется дешева, но работа ихъ съ санитарной точки зрѣнія будетъ неудовлетворительна, то такіе фильтры, конечно, негодны для городского водоснабженія. Вотъ почему санитарная оцѣнка американскихъ механическихъ фильтровъ должна представлять существенный интересъ.

Недавно вышедшій отчетъ проф. С. Ф. Бубнова о двухгодичныхъ испытаніяхъ въ г. Москвѣ американскихъ фильтровъ даетъ обильный и крайне богатый матеріалъ для сужденія объ этихъ

[1]) Докладъ 7 Рус. водопр., съѣзду.

фильтрахъ *съ санитарной точки зрѣнія.* Изъ отчета можно видѣть, что въ 1899 г. по предложенію г. Московскаго Городского Головы профессоръ гигіены Московскаго Университета С. Ф. Бубновъ организовалъ Комиссію для изученія работоспособности американскихъ механическихъ фильтровъ, установленныхъ на берегу Москвы-рѣки въ Саввинскомъ переулкѣ.

Комиссія состояла изъ предсѣдателя проф. С. Ф. Бубнова и членовъ:

1) главнаго инженера московскихъ водопроводовъ Н. П. Зимина,

2) помощника главнаго инженера по московскимъ водопроводамъ К. П. Карельскихъ,

3) главнаго механика при московскихъ водопроводахъ инженера В. В. Ольденборгера,

4) главнаго инженера по канализаціи А. А. Семенова,

5) городского санитарнаго врача С. М. Картамышева,

6) вольнопрактикующаго врача П. П. Матиль.

Для выполненія химическихъ и бактеріологическихъ работъ были приглашены: докторъ медицины Н. К. Игнатовъ и докторъ Г. М. Прядкинъ.

Собираясь черезъ нѣкоторые промежутки времени въ засѣданія, Комиссія знакомилась съ результатами, полученными при испытаніи фильтровъ, обсуждала ихъ работу и устанавливала дальнѣйшую программу дѣйствій.

На испытаніи находились три различныхъ системы американскихъ механическихъ фильтровъ: Жевелля, Варрена и Ридделя. Наблюденія за работою этихъ фильтровъ продолжались около 2-хъ лѣтъ.

Почти двухгодичный срокъ испытаній американскихъ фильтровъ въ Москвѣ имѣетъ огромное значеніе, такъ какъ далъ возможность Комиссіи, слѣдившей за работою этихъ фильтровъ, изучить ихъ работу при самыхъ разнообразныхъ условіяхъ, не прибѣгая къ форсированнымъ лабораторнымъ пріемамъ и не дѣлая скороспѣлыхъ заключеній.

Въ качествѣ врача, приглашеннаго для выполненія химическихъ и бактеріологическихъ анализовъ, я принималъ самое близкое участіе въ работахъ Московской Комиссіи и могу констатировать, какого громаднаго труда, какихъ усилій стоило Комиссіи разобраться въ высшей степени непостоянной работѣ американскихъ механическихъ фильтровъ и отыскать условія, при которыхъ работа фильтровъ могла бы быть признана удовлетворительной съ санитарной точки зрѣнія.

Въ особенности много времени отнялъ у Комиссіи вопросъ объ устраненіи опалесценціи изъ профильтрованной воды, получаемой изъ американскихъ фильтровъ. Вполнѣ удовлетворительнаго разрѣшенія этого вопроса такъ и не удалось добиться Комиссіи; выяснилось лишь, что при правильномъ и опытномъ руководствѣ за очисткою воды при помощи американскихъ фильтровъ можно нѣсколько сократить періоды, когда они даютъ опалесцирующую воду, впрочемъ и это не всегда, такъ какъ иногда фильтры цѣлыми днями давали опалесцирующую фильтрованную воду и никакими мѣрами устранить опалесценцію нельзя было. Надолго останавливали вниманіе Комиссіи и другіе вопросы, напр., о коагюлянтѣ, о качествѣ и количествѣ его, о способѣ его прибавки, о скоростяхъ фильтрованія, объ отстаиваніи воды передъ фильтраціей, о промывкѣ фильтровъ и проч. и проч.

Въ виду солидной постановки дѣла испытанія американскихъ фильтровъ въ Москвѣ, въ виду обилія матеріаловъ, опубликованныхъ въ отчетѣ проф. С. Ф. Бубнова, при санитарной оцѣнкѣ американскихъ механическихъ фильтровъ, я и намѣренъ, главнымъ образомъ, руководствоваться данными, полученными при московскихъ испытаніяхъ.

Очистка воды при помощи американскихъ механическихъ фильтровъ представляетъ собою въ сущности нечто иное, какъ комбинацію химическаго и механическаго способовъ очистки воды. Сперва вода обрабатывается химическимъ реактивомъ (*первая стадія* очистки), а затѣмъ быстро фильтруется черезъ песокъ (*вторая стадія* очистки).

Въ дѣлѣ очистки воды обѣ стадіи имѣютъ громадное значеніе и для полученія удовлетворительныхъ результатовъ необходимо провести ихъ съ должнымъ вниманіемъ и хорошимъ знаніемъ дѣла. Если случайно выпустить какую-либо изъ упомянутыхъ двухъ стадій или провести ихъ не такъ, какъ слѣдуетъ, напримѣръ, не въ строгомъ соотвѣтствіи съ качествами воды въ данное время, то результаты очистки воды получаются крайне плохіе.

Для химической обработки воды при американскихъ механическихъ фильтрахъ примѣняется, обыкновенно, сѣрнокислая соль аллюминія, которая благодаря присутствію въ подлежащей очисткѣ водѣ углекислыхъ соединеній щелочныхъ земель вступаетъ съ ними въ обмѣнное разложеніе, въ результатѣ котораго является выдѣленіе изъ воды рыхлаго хлопчатаго осадка гидрата окиси аллюминія, который во время своего образованія обвалакиваетъ нахо-

дящіяся въ водѣ взвѣшенныя частички и вмѣстѣ съ ними частью осаждается на днѣ отстойнаго бассейна, а частью заносится вмѣстѣ съ водою на фильтръ, гдѣ и осѣдаетъ на поверхности песка, образуя студенистый слой, такъ называемую «пленку». Слѣдуетъ замѣтить, что такую минеральную «пленку» никоимъ образомъ нельзя отождествлять съ «пленкой» въ англійскихъ фильтрахъ, гдѣ она является дѣятельнымъ живымъ началомъ, гдѣ протекаютъ весьма важные біологическіе процессы, отъ которыхъ, главнымъ образомъ, и зависятъ очистка воды англійскими фильтрами.

Во время очистки воды американскими фильтрами слизистая пленка приноситъ ту пользу, что довольно успѣшно задерживаетъ изъ воды, поступающей въ фильтръ, разнаго рода взвѣшенныя частицы.

Обработка воды сѣрнокислымъ аллюминіемъ, какъ выше было сказано, называется *коагюлированіемъ* ея.

Въ виду того, что для успѣшности коагюлированія необходимо присутствіе въ водѣ углекислыхъ солей щелочныхъ земель, то очистка воды при помощи американскихъ механическихъ фильтровъ является совершенно непригодной для такихъ водъ, которыя содержатъ углекислыя соединенія только въ видѣ слѣдовъ. Точно также и при очень мягкихъ водахъ, съ небольшимъ содержаніемъ углекислыхъ солей, нужно примѣнять коагюлированіе съ большою осторожностью, чтобы не прибавить сѣрнокислаго аллюминія больше, чѣмъ въ данный моментъ можетъ разложиться. При испытаніи въ Питсбургѣ временами въ водѣ рѣки Аллегени нельзя было прибавить больше 1,2—1,5 грана $Al(SO_4)$ 3 на 1 галлонъ, т.-е. не больше 0,25 грм. на 1 ведро очищаемой воды. Въ противномъ случаѣ, какъ это и наблюдалось у нѣкоторыхъ изслѣдователей (напр. у Фуллера), въ фильтрованную воду пройдетъ неразложившійся сѣрнокислый аллюминій, вода пріобрѣтетъ непріятный вкусъ и вредныя для здоровья качества.

Для избѣжанія подобныхъ случаевъ можно было бы искусственно прибавлять къ очень мягкой водѣ известь или углекислыя щелочи. Однако это обстоятельство еще болѣе усложнило бы и безъ того сложную операцію очистки воды американскими фильтрами, да едва ли это всегда допустимо и съ экономической точки зрѣнія, такъ какъ удорожило бы и безъ того недешевую эксплоатацію американскихъ фильтровъ.

Крайне интереснымъ и въ высшей степени важнымъ въ практическомъ отношеніи представляется вопросъ, какія количества

коагюлянта—сѣрно-кислаго аллюминія требуются для очистки воды при помощи американскихъ фильтровъ. Отвѣтъ на этотъ вопросъ особенно ярко характеризуетъ капризность этихъ приборовъ и необходимость имѣть за ними весьма строгій и бдительный надзоръ. Установить шаблонно, разъ навсегда, чему должно равняться наиболѣе выгодное для очистки воды количество коагюлянта, *невозможно*: оно подвергается постояннымъ колебаніямъ въ зависимости отъ очень многихъ условій и въ особенности отъ состава въ данный моментъ рѣчной воды, отъ продолжительности пребыванія воды въ отстойныхъ бассейнахъ, отъ способа введенія коагюлянта въ воду и проч. Во время московскихъ испытаній въ разное время приходилось варьировать количество коагюлянта отъ 0,25 до 2,0 граммовъ Alum Sulfuric на 1 ведро очищенной воды. Такъ какъ составъ рѣчныхъ водъ, для очистки которыхъ рекомендуются американскіе механическіе фильтры, постоянно подвергается колебаніямъ и притомъ не только по временамъ года, но даже иногда и по нѣсколько разъ въ однѣ сутки и такъ какъ условія фильтрованія во время эксплоатаціи тоже мѣняются, то можно себѣ представить, какою эрудиціей, какой опытностью, какимъ вниманіемъ и какимъ прилежаніемъ должны обладать лица, слѣдящія за фильтрами, чтобы сумѣть во время уловить, оцѣнить и скомбинировать по значенію факторы, отъ которыхъ зависитъ установка правильной очистки воды.

Прибавляемый къ водѣ коагюлянтъ долженъ быть чистъ въ химическомъ отношеніи, не содержать вредныхъ для здоровья примѣсей, въ особенности такъ называемыхъ «сильнодѣйствующихъ» веществъ. *Контроль* въ этомъ отношеніи *требуется частый и при томъ самый внимательный;* здоровье потребителя должно быть безусловно гарантировано отъ всякихъ случайностей.

Такъ какъ коагюлянтъ прибавляется въ очищаемую воду въ видѣ раствора, то таковые растворы должны готовиться съ соблюденіемъ санитарныхъ предосторожностей и быть строго опредѣленной концентраціи, чтобы имѣть возможность вѣрно разсчитать и проконтролировать количество прибавляемаго къ водѣ коагюлянта.

Московскія испытанія показали, что въ отношеніи прибавки коагюлянта къ очищенной водѣ американскіе механическіе фильтры обнаруживаютъ крайне чувствительный конструктивный недостатокъ. Для химическаго способа очистки требуется, чтобы на опредѣленный объемъ воды поступало строго опредѣленное количество

химическаго реагента и чтобы перемѣшиваніе его съ водою совершалось равномѣрно и притомъ быстро. Предложенные для этой цѣли автоматическіе приборы при американскихъ фильтрахъ оказались непригодными и количество прибавляемаго къ водѣ коагюлянта приходилось регулировать ручнымъ пріемомъ, всякій разъ при измѣненіи условій работы фильтровъ требующихъ спеціальной установки діафрагмы.

Такъ какъ растворы коагюлянта нерѣдко содержатъ взвѣшенныя частицы, то отверстія въ діафрагмахъ, обыкновенно очень маленькія, довольно часто засоряются, а иногда и совершенно закупориваются и вода въ американскіе фильтры поступаетъ или недостаточно, или вовсе необработанная химически.

Конечно, при такихъ условіяхъ говорить о правильной регулярной очисткѣ воды американскими фильтрами не приходится. Съ указаннымъ конструктивнымъ недостаткомъ можно бороться разными средствами, напр., путемъ усиленнаго надзора: поставить при фильтрахъ дежурнаго и заставить его періодически прочищать отверстіе діафрагмы. Насколько надеженъ такой способъ, мнѣнія могутъ быть различны. При московскихъ испытаніяхъ одно время практиковался и этотъ способъ, какъ одинъ, такъ и въ комбинаціи съ фильтрованіемъ растворовъ коагюлянта черезъ сѣтки съ мелкими отверстіями, тѣмъ не менѣе иногда приходилось констатировать фактъ засариванія отверстій діафрагмы; случалось и такъ, что бывали дни, когда вслѣдствіе тѣхъ или другихъ неисправностей американскіе фильтры работали совершенно безъ коагюлянта и, конечно, съ самымъ плачевнымъ результатомъ.

Вода, обработанная химически, т.-е. коагюлированная сѣрнокислымъ аллюминіемъ, имѣетъ крайне непривлекательный видъ: она мутна вслѣдствіе массы плавающихъ въ ней хлопьевъ гидрата окиси аллюминія. Въ такомъ видѣ вода совершенно непригодна для водоснабженія и должна быть профильтрована черезъ песокъ. Американскіе механическіе фильтры въ сущности и представляютъ собою разной конструкціи резервуары наполненные пескомъ. Напр., фильтры Жевелля и Варрена имѣютъ видъ чановъ, построенныхъ обыкновенно изъ дерева, фильтръ Ридделя похожъ на огромную, со всѣхъ сторонъ замкнутую желѣзную коробку, снабженную трубами. Коагюлированная вода, быстро проходя черезъ такіе фильтры, должна очищаться отъ хлопьевъ гидрата окиси аллюминія и другихъ взвѣшенныхъ частицъ. Однако вполнѣ прозрачную фильтрованную воду изъ американскаго фильтра удается

получить далеко не всегда и это зависитъ отъ очень и очень мно-многихъ причинъ, нерѣдко трудно уловимыхъ. Кромѣ того, постоянно, послѣ чистки американскаго фильтра, въ начальномъ періодѣ его работы фильтрованная вода получается невполнѣ прозрачной, сильно опалесцирующей. Такой періодъ начальной неудовлетворительной работы можетъ продолжаться различное количество времени: по даннымъ московскихъ испытаній—отъ 2 минутъ до 2 часовъ и даже больше, по наблюденіямъ проф. Биттера въ Александріи—полчаса.

Чтобы неудовлетворительно очищенная вода начальнаго періода не попадала въ систему водоснабженія, необходимо имѣть правильно организованный надзоръ, на бдительность котораго можно было бы положиться.

Начальный періодъ работы американскихъ механическихъ фильтровъ, характеризующійся неудовлетворительною очисткою воды, какъ показываютъ московскія испытанія, въ большинствѣ случаевъ смѣняется періодомъ болѣе удовлетворительной работы: фильтрованная вода получается уже прозрачная, безъ опалесценціи. Такой періодъ продолжается неопредѣленное время, обыкновенно нѣсколько часовъ, послѣ чего вторично наступаетъ періодъ неудовлетворительной очистки воды; фильтрованная вода постепенно пріобрѣтаетъ опалесцирующій, а иногда и мутный видъ.

Замѣтимъ, что одновременно съ утратою полной прозрачности въ фильтрованной водѣ, обыкновенно, сильно возрастаетъ количество микроорганизмовъ.

Въ протоколахъ Московскихъ испытаній можно найти указанія, когда фильтрованная вода, получавшаяся изъ американскихъ фильтровъ, послѣ продолжительной ихъ работы, по своему виду почти ничѣмъ не отличалась отъ мутноватой, нефильтрованной рѣчной воды. Опредѣлить заранѣе, сколько часовъ будетъ продолжаться періодъ удовлетворительной работы и указать моментъ, когда наступитъ плохая работа фильтровъ, не представляется возможности: капризность фильтрующихъ приборовъ здѣсь даетъ себя знать особенно чувствительно. При Московскихъ испытаніяхъ періодъ удовлетворительной работы продолжался самое неопредѣленное время: иногда фильтры давали прозрачную воду въ теченіе 8—15 часовъ и даже болѣе, въ огромномъ же большинствѣ случаевъ много меньше, при чемъ продолжительность удовлетворительной работы сокращалась до 1—2 часовъ. Наконецъ, временами капризность фильтрующихъ приборовъ доходила до того, что они въ

продолженіе цѣлыхъ сутокъ продуцировали только не вполнѣ прозрачную, опалесцирующую воду. И это наблюдалось неоднократно, какъ въ обыкновенное время—въ отсутствіе на рѣкѣ паводковъ, такъ и во время паводковъ, и притомъ при самыхъ разнообразныхъ условіяхъ работы. Нѣсколько разъ приходилось констатировать и такого рода явленіе: взятая изъ американскаго фильтра, вполнѣ прозрачная фильтрованная вода, по прошествіи нѣкотораго времени пріобрѣтала опалесценцію и нѣкоторую мутность.

Чтобы имѣть возможность во-время замѣтить наступленіе періода плохой работы фильтра и своевременно выключить его изъ системъ водоснабженія, необходимъ постоянный, внимательный и правильно организованный *санитарный надзоръ* за физическими качествами выходящей изъ фильтровъ воды.

Продолжительность работы американскихъ механическихъ фильтровъ между двумя послѣдовательными чистками очень невелика: она измѣряется не мѣсяцами, не недѣлями и даже не днями, а лишь нѣсколькими часами. Каждый фильтръ требуетъ въ среднемъ 2—3 чистки въ сутки. При московскихъ испытаніяхъ продолжительность работы фильтровъ была крайне неравномѣрна: наблюдались дни, когда фильтры требовали почти каждые 3—4 часа новой чистки, въ большинствѣ же случаевъ работа продолжалась отъ 8 до 14 часовъ, а иногда 24 часа, даже болѣе. Впрочемъ, въ послѣднихъ случаяхъ затянувшаяся работа фильтровъ рѣдко была удовлетворительна: профильтрованная вода обыкновенно опалесцировала и содержала большое число микроорганизмовъ.

Собственно говоря, въ такихъ случаяхъ, благодаря отсутствію показаній со стороны техника, работа фильтровъ была затянута на большее время, чѣмъ слѣдовало бы допустить съ санитарной точки зрѣнія. Потребность въ чисткѣ фильтра со стороны техническаго персонала опредѣляется уменьшеніемъ продуктивности фильтра или же извѣстною потерею напора въ отводящей трубѣ; со стороны санитарнаго надзора показаніемъ къ чисткѣ служитъ появленіе признаковъ неудовлетворительной работы фильтра. Слѣдуетъ замѣтить, что *неудовлетворительная работа американскихъ фильтровъ можетъ наступить много раньше, чѣмъ съ технической точки зрѣнія явится надобность въ чисткѣ фильтра.* Это обстоятельство крайне важно, такъ какъ значительно осложняетъ дѣло санитарнаго надзора за американскими фильтрами.

Чистка американскихъ механическихъ фильтровъ заключается въ промывкѣ находящагося въ нихъ песка обратнымъ токомъ

фильтрованной воды при одновременномъ помѣшиванiи граблями. Такой способъ очистки, довольно удобный въ техническомъ отношенiи, оказался при московскихъ испытанiяхъ неудовлетворительнымъ, мало достигающимъ предназначенной цѣли.

Къ отчету проф. С. Ф. Бубнова о результатахъ испытанiй американскихъ фильтровъ въ Москвѣ приложены исполненные красками рисунки, которые весьма демонстративно свидѣтельствуютъ о томъ, *сколько грязи еще остается въ пескѣ американскихъ фильтровъ послѣ промывки ихъ.*

Нижнiе слои песка въ фильтрахъ, повидимому, совершенно не подвергаются промывкѣ.

Благодаря энергичному ворошенiю песка при промывкѣ, самымъ грубымъ образомъ нарушается расположенiе отдѣльныхъ его частицъ и тѣмъ самымъ дается возможность грязи, накопившейся во время работы фильтровъ въ верхнихъ слояхъ песка и нехорошо удаляемой при промывкѣ, проникать даже въ наиболѣе глубокiе слои песка въ фильтрахъ.

Описывая въ общихъ чертахъ процедуру очистки воды при помощи американскихъ механическихъ фильтровъ, я указалъ, какъ часто эти фильтры даютъ невполнѣ прозрачную, опалесцирующую воду; что касается цвѣта воды, то на основанiи московскихъ испытанiй нельзя признать, что американскiе фильтры будто бы обладаютъ выдающейся способностью въ смыслѣ обезцвѣчиванiя воды. Послѣ фильтрованiя натуральный слабо-желтый цвѣтъ Москворѣцкой воды въ громадномъ большинствѣ случаевъ таковымъ же и оставался, только интенсивность его лишь нѣсколько ослаблялась. Обезцвѣчиванiе воды можно было констатировать для фильтра Варрена въ 10%, для фильтра Ридделя—въ 18% и только для фильтра Жевелля—въ 20% всѣхъ сдѣланныхъ въ этомъ отношенiи наблюденiй. Въ среднемъ для всѣхъ трехъ фильтровъ вмѣстѣ, число необезцвѣченныхъ пробъ воды составляло около 84%.

*Химическiй составъ воды* послѣ очистки ея при помощи американскихъ механическихъ фильтровъ подвергается довольно существеннымъ измѣненiямъ отчасти въ благопрiятномъ направленiи, отчасти же въ нежелательномъ, обусловливая въ нѣкоторыхъ отношенiяхъ ухудшенiе качествъ воды, такъ сказать, порчу ея.

*Улучшенiя* въ химическомъ составѣ водъ состоятъ, главнымъ образомъ, въ уменьшенiи количества расворенныхъ въ водѣ органическихъ веществъ и амміака. *Ухудшенiя*, главнымъ образомъ, состоятъ въ увеличенiи количества сѣрной кислоты, въ возраста-

ніи постоянной жесткости и въ увеличеніи сухого остатка воды. Всѣ эти измѣненія не представляютъ собою какой-либо опредѣленной величины, наоборотъ, онѣ сильно колеблются въ количественномъ отношеніи въ зависимости отъ условій фильтрованія, по преимуществу, отъ количества прибавляемаго къ водѣ коагюлянта и состава рѣчной воды. Отсюда становится понятнымъ, что для полученія фильтрованной воды наилучшихъ качествъ, необходимо зорко слѣдить не только за работою фильтровъ, но и принимать во вниманіе всѣ перемѣнныя условія, иными словами, при очисткѣ воды американскими механическими фильтрами необходимъ непрерывный и притомъ *строгій техническій и санитарный надзоръ.*

*Увеличеніе количества сѣрной кислоты* и возрастаніе постоянной жесткости въ фильтрованной водѣ являются, съ санитарной точки зрѣнія, *отрицательною стороною работы американскихъ фильтровъ*, которая можетъ повести къ такимъ печальнымъ послѣдствіямъ, что нѣкоторыя воды, по составу своему еще пригодныя для внутренняго потребленія, могутъ въ концѣ концовъ, послѣ очистки ихъ американскими фильтрами, сдѣлаться непригодными не только для внутренняго потребленія, но даже для домашняго обихода и для фабричнаго дѣла въ смыслѣ, напримѣръ, питанія паровыхъ котловъ.

Въ *бактеріологическомъ* отношеніи работа американскихъ механическихъ фильтровъ, какъ свидѣтельствуютъ московскія двухлѣтнія испытанія, представляется ненадежной и крайне непостоянной. Процентъ задержанныхъ фильтрами микроорганизмовъ во все время ихъ работы никогда не остается одинъ и тотъ же, напротивъ, онъ сильно колеблется въ зависимости отъ очень и очень многихъ причинъ; тутъ оказываютъ вліяніе и количество коагюлянта и скорость фильтрованія, и свойства очищаемой воды, и время, сколько работаетъ фильтръ послѣ его чистки и еще, много, подчасъ трудно уловимыхъ и объяснимыхъ причинъ. Нерѣдко условія фильтрованія, *повидимому*, остаются однѣ и тѣ же, а работа фильтровъ въ бактеріологическомъ отношеніи идетъ крайне неравномѣрно, какими-то скачками, при чемъ количество микроорганизмовъ въ фильтрованной водѣ такъ сильно колеблется, что *остается только удивляться капризности приборовъ, очищающихъ воду.*

Въ среднемъ количество микроорганизмовъ, задержанныхъ американскими механическими фильтрами, составляетъ 95—96%—для вполнѣ прозрачной, фильтрованной воды и 86—89% для воды не

вполнѣ прозрачной опалесцирующей. Такимъ образомъ, средній процентъ задержанія американскими фильтрами микроорганизмовъ, по даннымъ московскихъ испытаній, оказывается ниже, чѣмъ опредѣляется американскими изслѣдователями, т.-е. меньше 97—99%.

Замѣтимъ, что при санитарной оцѣнки работоспособности фильтровъ средній процентъ задержки микроорганизмовъ еще не играетъ рѣшающаго значенія, здѣсь важны также и тѣ предѣлы, въ которыхъ колеблется этотъ процентъ. Оказывается, что для американскихъ механическихъ фильтровъ эти колебанія крайне неблагопріятны: онѣ равны отъ 0 до 99,9%; бывали, даже, дни, когда вполнѣ прозрачная фильтрованная вода содержала микроорганизмовъ больше, чѣмъ поступавшая на фильтры неочищенная рѣчная вода.

Понятно, что при такихъ условіяхъ *не можетъ быть и рѣчи о надежности работы американскихъ механическихъ фильтровъ въ дѣлѣ очистки воды отъ микроорганизмовъ.*

Отсутствіе постоянства въ работѣ американскихъ фильтровъ дѣлаетъ *невозможнымъ правильный своевременный бактеріологическій контроль за ними.*

Изъ числа конструктивныхъ недостатковъ американскихъ фильтровъ, имѣющихъ значеніе съ санитарной точки зрѣнія, необходимо упомянуть слѣдующее: 1) занесеніе изъ фильтра песка въ отводную для чистой воды трубы; 2) засореніе пескомъ отверстій, собирающихъ фильтрованную воду, благодаря чему становится невозможнымъ развивать желаемыя скорости фильтрованія и, даже, не исключается возможность полной закупорки фильтра; 3) матеріалъ, изъ котораго построены корпуса американскихъ фильтровъ Жевелля и Варрена, дерево—легко поддается микробному загрязненію и при гніеніи его невозможно поддерживать желаемую чистоту въ фильтровальныхъ приборахъ; 4) приспособленія для очистки загрязненнаго песка въ фильтрахъ крайне несовершенны.

На основаніи вышеизложеннаго Члены Московской Комиссіи по испытанію американскихъ механическихъ фильтровъ системъ Жевелля, Варрена и Ридделя вполнѣ присоединились къ нижеслѣдующимъ выводамъ Предсѣдателя проф. С. Ф. Бубнова изъ тѣхъ ма-матеріаловъ, которые получены трудами Комиссіи въ продолженіе двухлѣтней ея работы.

Эти выводы слѣдующіе:

«1) Американскіе механическіе фильтры способны во всякое время года давать хорошо освобожденную отъ взвѣшенныхъ частицъ воду,

но такая доброкачественная работа ихъ крайне непостоянна и ненадежна, такъ какъ получаемая изъ фильтра хорошая по своимъ физическимъ качествамъ вода часто смѣняется водою недоброкачественною. Вслѣдствіе этого за работою механическихъ фильтровъ требуется очень хорошій техническій и врачебно-санитарный надзоръ, который зорко и неустанно слѣдилъ бы какъ за правильностью работы каждаго фильтра, такъ и за тѣми перемѣнными условіями, при которыхъ будетъ совершаться эта работа.

2) Необходимость во время очистки воды механическими фильтрами прибѣгать къ прибавкѣ коагюлянта неизбѣжно влечетъ за собою *измѣненія* въ химическомъ составѣ и *порчу* воды; такая порча должна оказываться тѣмъ большею, чѣмъ болѣе будетъ заключаться въ водѣ мелкихъ взвѣшенныхъ частицъ, для удаленія которыхъ придется брать и большее количество коагюлянта, такъ что въ итогѣ очистки отъ взвѣшенныхъ веществъ можетъ получаться вода, свободная отъ послѣднихъ, но по своему *химическому* составу малопригодная или вовсе непригодная для внутренняго потребленія и даже для техническихъ цѣлей.

3) Оцѣнку работоспособности механическихъ фильтровъ, основанную только на % задержанныхъ изъ воды микроорганизмовъ, съ санитарной точки зрѣнія отнюдь не слѣдуетъ допускать, какъ *ошибочный и неправильный* пріемъ, могущій создать массу недоразумѣній и разочарованій, потому что даже большой процентъ задержанныхъ микрооганизмовъ при очисткѣ воды нисколько не гарантируетъ доброкачественности полученной изъ механическихъ фильтровъ воды ни въ физическихъ, ни въ химическихъ отношеніяхъ.

4) Отсутствіе автоматичности въ работѣ механическихъ фильтровъ создаетъ сложность ухода и надзора за приборами; однако, даже возможно лучшіе уходъ и надзоръ не всегда могутъ гарантировать доброкачественность очищенной воды.

5) Приспособленія для очистки загрязнившагося песка въ механическихъ фильтрахъ очень сложны, тѣмъ не менѣе, съ санитарной точки зрѣнія, они оказываются крайне несовершенными, такъ какъ песокъ во время промывки очищается недостаточно хорошо, а нижніе его слои, повидимому, совсѣмъ не подвергаются очисткѣ.

6) Конструктивные недостатки въ механическихъ фильтрахъ, ведущіе къ засоренію сосочковъ и къ прохожденію грязнаго песка въ отводную для чистой воды трубу, не должны имѣть мѣста ни съ санитарной, ни съ технической точекъ зрѣнія.

Эти шесть положеній заключаютъ въ себѣ въ очень и очень

сжатой формѣ результаты изслѣдованій американскихъ механическихъ фильтровъ (системы Жевелля, Варрена и Ридделя), бывшихъ на испытательной станціи въ Саввинскомъ переулкѣ, въ Москвѣ, и даютъ намъ незыблемую базу для окончательнаго сужденія о названныхъ приборахъ въ примѣненіи ихъ къ городскому водопроводу.

Исходя изъ результатовъ, полученныхъ Комиссіей по испытанію механическихъ фильтровъ, и твердо держась взгляда, что здоровье наше не такое дѣло, къ которому было бы дозволительно прилагать мѣропріятія, не зарекомендовавшія себя безусловно полезными, мы относясь вполнѣ объективно къ дѣлу, считаемъ своимъ нравственнымъ долгомъ высказать оцѣнку американскимъ механическимъ фильтрамъ въ отрицательномъ смыслѣ и признать ихъ непригодность для очистки воды въ большихъ размѣрахъ въ примѣненіи къ городскому водоснабженію».

Необходимо обратить вниманіе на то важное обстоятельство, что результаты, полученные при московскихъ испытаніяхъ американскихъ фильтровъ, нисколько не противорѣчатъ даннымъ, полученнымъ многими другими изслѣдователями; только Московская Комиссія, испытавшая американскіе фильтры, благодаря широкой постановкѣ дѣла и большой продолжительности наблюденій, имѣла возможность подетальнѣе ознакомиться съ *неустойчивостью и капризностью работы американскихъ механическихъ фильтровъ* и признала невозможнымъ примириться съ тѣми *недостатками* американскихъ фильтровъ, на которые другіе изслѣдователи обращали мало вниманія или придавали имъ меньшее значеніе, чѣмъ это требуется съ санитарной точки зрѣнія.

Приведу рядъ примѣровъ для доказательства.

Многіе изслѣдователи американскихъ механическихъ фильтровъ, напр. проф. Биттеръ въ Александріи, въ Америкѣ—Гезенъ, Вестанъ, Миллеръ, Фуллеръ и друг. констатировали фактъ, что американскіе механическіе фильтры временами даютъ не вполнѣ прозрачную опалесцирующую фильтрованную воду, съ повышеннымъ содержаніемъ микроорганизмовъ; между прочимъ, это постоянно наблюдается въ начальномъ и конечномъ стадіи каждаго рабочаго періода фильтра.

Проф. Битнеръ считаетъ необходимымъ спускать безъ употребленія первую фильтрованную воду въ обыкновенное время въ теченіе полчаса, во время эпидемій въ теченіе 1 часа, другіе изслѣдователи въ теченіе—20—10—5 минутъ, а американскій изслѣдо-

ватель Фуллеръ находитъ даже совершенно излишнимъ спускать первый плохой фильтратъ. Конечно, съ санитарной точки зрѣнія опалесцирующій первый фильтратъ съ очень повышеннымъ содержаніемъ микроорганизмовъ не можетъ быть признанъ годнымъ для водоснабженія. Московскія испытанія показали, что ни одинъ изъ приводимыхъ разными авторами сроковъ для спуска первой фильтрованной воды не можетъ быть признанъ правильно установленнымъ, такъ какъ первый плохой опалесцирующій фильтратъ изъ американскихъ механическихъ фильтровъ можетъ получаться въ теченіе гораздо большаго времени, чѣмъ вышеуказанные сроки. Мало того, есть цѣлый рядъ наблюденій, показывающихъ, что американскіе фильтры иногда въ продолженіе нѣсколькихъ сутокъ подъ рядъ даютъ только плохой опалесцирующій фильтратъ. Если установить шаблонный срокъ для спуска перваго фильтрата, то, безъ сомнѣнія, временами въ систему водоснабженія будетъ попадать негодная вода, а съ этимъ обстоятельствомъ нельзя помириться съ санитарной точки зрѣнія.

Въ Нижнемъ-Новгородѣ при водопроводѣ имѣется американскій фильтръ Жевелля, работающій уже нѣсколько лѣтъ: какихъ качествъ фильтрованная вода иногда получается изъ него, возможно судить изъ слѣдующихъ словъ доклада В. В. Малинина на VI водопроводномъ съѣздѣ въ Нижнемъ-Новгородѣ: «... опытъ показалъ, что иногда хлопья коагюлянта, въ зависимости отъ состава рѣчной воды, получаются настолько нѣжными, что, разбившись на мельчайшую муть, проходятъ черезъ крупный песокъ фильтра Жевелля, и тогда получается вода *сильно загрязненная*». Интересно знать, какою же водою въ подобныхъ случаяхъ приходится питаться водопроводу, «*сильно ли загрязненной*» фильтрованной, или, попросту, вовсе нефильтрованной рѣчной, или, наконецъ, водопроводъ на время прекращаетъ свое функціонированіе за неимѣніемъ доброкачественной воды. Къ сожалѣнію въ докладѣ В. В. Малинина на этотъ счетъ нѣтъ никакихъ указаній.

Въ своемъ докладѣ VI водопроводному съѣзду въ Нижнемъ-Новгородѣ, Н. П. Зиминъ, признавая работу американскаго фильтра, установленнаго въ городѣ Рыбинскѣ *нормальной*, приводитъ анализъ фильтрованной воды изъ Рыбинскаго фильтра; однако данныя этого анализа свидѣтельствуютъ, что получаемая изъ этого американскаго фильтра очищенная вода съ санитарной точки зрѣнія негодна для водоснабженія: въ ней находится на 1 литръ 0,008 грамма взвѣшенныхъ частицъ и очень большое количество органическихъ

веществъ, на окисленіе которыхъ требуется 0,019 грамма кислорода.

Въ томъ же анализѣ указывается, что фильтрованная вода имѣетъ желтоватый цвѣтъ. Московскія испытанія также подтверждаютъ, что обезцвѣчиваніе воды американскими механическими фильтрами наблюдается только въ 16%, въ остальныхъ же случаяхъ замѣчается лишь болѣе или менѣе замѣтное ослабленіе интенсивности окраски. Подобныя указанія даются Гезекомъ, Миллеромъ, Фуллеромъ.

Такимъ образомъ говорить объ исключительности выводовъ Московской Комиссіи не приходится, скорѣе является непонятнымъ, на чемъ основывается *гарантія полной прозрачности и безцвѣтности воды,* получаемой изъ американскихъ механическихъ фильтровъ, какъ это имъ иногда приписывается.

Московскія испытанія показали, что работа американскихъ механическихъ фильтровъ въ бактеріологическомъ отношеніи крайне *непостоянна и весьма ненадежна.* Въ этомъ отношеніи подтвержденіе выводовъ Московской Комиссіи можно найти, и притомъ въ изобиліи, въ данныхъ, полученныхъ и американскими изслѣдователями, а также проф. Биттеромъ въ Александріи. Въ отчетѣ о результатахъ испытанія американскихъ механическихъ фильтровъ въ Москвѣ имѣется нѣсколько страницъ, посвященныхъ разбору бактеріологическихъ данныхъ, полученныхъ при изслѣдованіи американскаго фильтра Варрена въ Луисвиллѣ и вполнѣ ясно констатируется непостоянство и ненадежность работы этого прибора во время американскихъ испытаній. Тѣ же заключенія приходится вывести, если внимательно проштудировать протоколы бактеріологическихъ изслѣдованій фильтрованной воды изъ американскихъ фильтровъ, приводимые Миллеромъ, Гезеномъ и проф. Биттеромъ.

Въ особенности много указаній на ненадежность работы американскихъ механическихъ фильтровъ въ бактеріологическомъ отношеніи можно найти въ протоколахъ испытаній проф. Биттера. Профильтрованная вода нерѣдко содержала сотни и даже тысячи микроорганизмовъ въ 1 куб. центим. воды. Bacillus Prodigiosus, прибавляемый проф. Биттеромъ къ нефильтрованной водѣ въ качествѣ индикатора надежности работы фильтра въ бактеріологическомъ отношеніи, нерѣдко проходилъ въ фильтрованную воду въ бо́льшихъ количествахъ, чѣмъ это было допустимо при хорошей работѣ фильтра. Въ нѣкоторыхъ подобныхъ случаяхъ проф. Биттеръ не даетъ никакихъ объясненій неудовлетворительной работы

фильтровъ, въ другихъ—старается объяснить непріятные сюрпризы со стороны фильтровъ случайными причинами, напр., нарушеніями цѣлости поверхностнаго слоя песка въ фильтрѣ во время производства опытовъ, случайною неточностью анализа и т. п. Всѣ такія объясненія проф. Биттеръ даетъ далеко не въ категорической формѣ, а лишь въ видѣ предположеній, начиная ихъ фразою «вѣроятно» или «весьма возможно», что.....

Московскія двухлѣтнія испытанія американскихъ механическихъ фильтровъ вполнѣ убѣдительно свидѣтельствуютъ, что различнаго рода случаи неудовлетворительной работы американскихъ фильтровъ въ бактеріологическомъ отношеніи должны находить себѣ объясненіе не въ тѣхъ осторожныхъ гадательныхъ предположеніяхъ, которыя даетъ проф. Биттеръ, а въ основныхъ, коренныхъ свойствахъ, присущихъ американскимъ механическимъ фильтрамъ,—въ непостоянности и ненадежности ихъ работы по очищенію воды отъ взвѣшенныхъ частицъ и микроорганизмовъ. Мы увѣрены, что, если бы опыты проф. Биттера имѣли большую продолжительность, чѣмъ полтора мѣсяца и если бы при нихъ была устранена возможность упоминаемыхъ имъ случайностей, то проф. Биттеръ далъ бы иное объясненіе моментовъ дурной работы американскихъ механическихъ фильтровъ. Правда, кромѣ Биттера, еще многіе американскіе изслѣдователи даютъ хорошій отзывъ объ американскихъ механическихъ фильтрахъ, но такіе отзывы ихъ далеко не всегда совпадаютъ съ тѣми выводами, которые надлежало бы въ санитарной точки зрѣнія сдѣлать изъ результатовъ ихъ наблюденій, и если у американскихъ изслѣдователей приходится встрѣчать противорѣчія заключенію Московской Комиссіи о работоспособности американскихъ механическихъ фильтровъ, то такія противорѣчія, какъ справедливо замѣчаетъ проф. Бубновъ (при сужденіи о работѣ фильтра Варрена въ Америкѣ), надо полагать происходятъ отъ причинъ, которыя лежатъ за чертою санитарнаго взгляда на городское водоснабженіе.

Изъ всего сказаннаго мною объ американскихъ механическихъ фильтрахъ обрисовываются слѣдующіе основные недостатки ихъ:

1) ненадежность работы ихъ въ смыслѣ удовлетворительной очистки воды отъ взвѣшенныхъ частицъ и микроорганизмовъ;

2) отсутствіе автоматичности и постоянства въ ихъ работѣ;

3) необходимость за ними сложнаго ухода при условіи неослабнаго и строгаго техническаго и санитарнаго надзора;

4) невозможность имѣть за ними правильный своевременный бактеріологическій контроль, и

5) присутствіе конструктивныхъ недостатковъ, съ которыми нельзя мириться съ санитарной точки зрѣнія.

Всѣ эти недостатки *американскихъ механическихъ фильтровъ* системъ Жевелля, Варрена и Ридделя, испытанія которыхъ произведены Московской Комиссіей и изложены въ отчетѣ проф. Бубнова, слѣдуетъ признать *крайне важными и существенными.*

*Фильтры эти требуютъ зоркаго надзора, но, даже сложный и дорого стоющій санитарный и техническій контроль не можетъ привести къ желаемой цѣли и потому они не представляютъ собою приборовъ, на которые можно было бы положиться въ дѣлѣ полученія постоянно хорошо очищенной питьевой воды для водоснабженія городовъ.*

*Н. Игнатовъ.*

---

# Изъ практики примѣненія желѣзо-бетона.

## Уширеніе фундамента.

Въ теченіе лѣта 1904 года производились работы по устройству желѣзо-бетоннаго основанія подъ 4-хъ этажное зданіе Ермаковскаго техническаго училища въ Москвѣ, которыя по своему интересу и сравнительной новизнѣ заслуживаютъ описанія.

Вышеупомянутое зданіе расположено на Пречистенской набережной, на лѣвомъ берегу рѣки Москвы. Произведенныя на мѣстѣ стройки развѣдки дали плотную глину на глубинѣ 18 ти аршинъ почти по всей площади участка. Слои же вышележащаго суглина оказались очень неравной толщины; такъ, со стороны рѣки суглинокъ найденъ на глубинѣ около 14 аршинъ, тогда какъ въ верхней части плана слои его мѣстами находились всего на глубинѣ 4-хъ аршинъ отъ поверхности земли. Поверхъ суглинка — насыпь, состоящая изъ слоевъ строительнаго мусора: кирпича, мѣстами свѣжей, мѣстами перегнившей щепы, стружекъ и проч. Затѣмъ найдены были: большое количество рогожи, пробковыхъ обрѣзковъ и даже цѣлыя залежи старыхъ банныхъ вѣниковъ. Очевидно участокъ стройки служилъ когда-то мѣстомъ свалки строительнаго мусора.

Слои мусора, такъ же какъ и верхняя поверхность суглинка, расположены съ сильнымъ уклономъ къ рѣкѣ. Уклонъ этотъ вызвалъ то, что нѣкоторыя стѣны перпендикулярныя къ направленію рѣки приходились однимъ своимъ концомъ на пробковыхъ обрѣзкахъ и перегнившей щепѣ, а другимъ концомъ, обращеннымъ во дворъ—на естественномъ суглинкѣ.

Глубина заложенія основанія равнялась 1.30$^c$. Воды нигдѣ найдено не было, за исключеніемъ лѣваго съ фасада угла, гдѣ, удаляя особенно скверный мусоръ, углубились до 2,06$^c$ и дошли до уровня

рѣки Москвы, подпертой въ этомъ мѣстѣ Бабьегородской плотиной. Этотъ уголъ былъ укрѣпленъ отдѣльно.

При проектированіи основанія на грунтъ допущено было давленіе 20 $\frac{\text{фунт.}}{\text{дюйм.}^2}$ Передачу давленія отъ стѣнъ рѣшено было осуществить посредствомъ уширенія фундамента ихъ. Стѣны поставлены были на желѣзо-бетонныя подушки, ширина которыхъ измѣнялась въ зависимости отъ нагрузки стѣны. Къ подушкѣ предъявлены были, между прочимъ, слѣдующія требованія:

1) чтобы ширина ея была достаточной для уменьшенія единичнаго давленія стѣны на грунтъ до 20 фн./кв. дюйм. и

2) чтобы она была разсчитана, какъ балка съ задѣланными концами пролетомъ въ 3 аршина, равномѣрно нагруженная тѣломъ стѣны.

Инженеромъ І. Вернэ была спроектирована желѣзо-бетонная подошва системы Геннебикъ, удовлетворяющая вышеприведеннымъ условіямъ. Въ поперечномъ сѣченіи она представляетъ изъ себя ребристую плиту, показанную на чертежѣ. На чертежѣ 1-мъ представлена наиболѣе сильная подушка, для стѣнъ съ нагрузкой 5100 пуд. на погонную сажень. Остальныя подушки по очертанію ничѣмъ не отличаются отъ этой, только размѣры ихъ и площадь желѣза нѣсколько уменьшены.

Назначеніе отдѣльныхъ элементовъ остова слѣдующее: верхніе продольные стержни балки діаметромъ отъ $^7/_8''$ въ наименьшей подушкѣ (нагр. 3350 пд./п. с.) и до $1^1/_8''$ въ наиболѣе сильной, работаютъ на растяженіе при изгибѣ вверхъ, т. е. въ случаѣ, если подошва выпирается твердыми слоями грунта, окруженными болѣе слабыми прослойками. Нижніе стержни работаютъ на растяженіе при выгибѣ подошвы внизъ, т. е. въ случаѣ мѣстнаго провала или значительной осадки грунта. Нижніе поперечные стержни діам. $^3/_4''$ работаютъ на растяженіе при изгибѣ крыльевъ и вмѣстѣ съ тѣмъ въ средней своей части служатъ стержнями распредѣленія на нижнюю арматуру продольныхъ балокъ. Верхніе поперечные стержни діам. $^1/_2''$, показанные пунктиромъ, въ разсчетъ не вводятся и служатъ только для взаимной связи частицъ бетона для приданія монолитности всей плитѣ. Не разсчитываются также и тонкіе продольные стержни, діам. $^1/_2''$ (fers de dilatation) служащіе для равномѣрной передачи температурныхъ напряженій по длинѣ подошвы.

Вслѣдствіе упомянутой выше возможности перегиба балокъ вверхъ и внизъ, верхніе стержни балокъ пришлось по всей длинѣ

плитъ вести параллельно нижнимъ и возложить такимъ образомъ всю работу сопротивленія скалывающимъ усиліямъ исключительно на подвѣски; расположеніе ихъ показано на чертежѣ 2-мъ.

Здѣсь опять—прямыя подвѣски—(*a*)—для изгиба внизъ, обратныя (*b*) для изгиба ввертъ. Хотя ясно, что въ обоихъ случаяхъ работаютъ и тѣ и другія, но для разсчета вводится вышеуказанное подраздѣленіе. Подвѣски, какъ видно изъ чертежа, пришлось вести на равномъ одна отъ другой разстояніи 25 сант., изъ-за неопредѣленности мѣста изгиба.

По изготовленіи на мѣстѣ работъ всѣхъ частей арматуры, стержней, подвѣсокъ и проч., приступлено было къ сборкѣ остова въ котлованѣ.

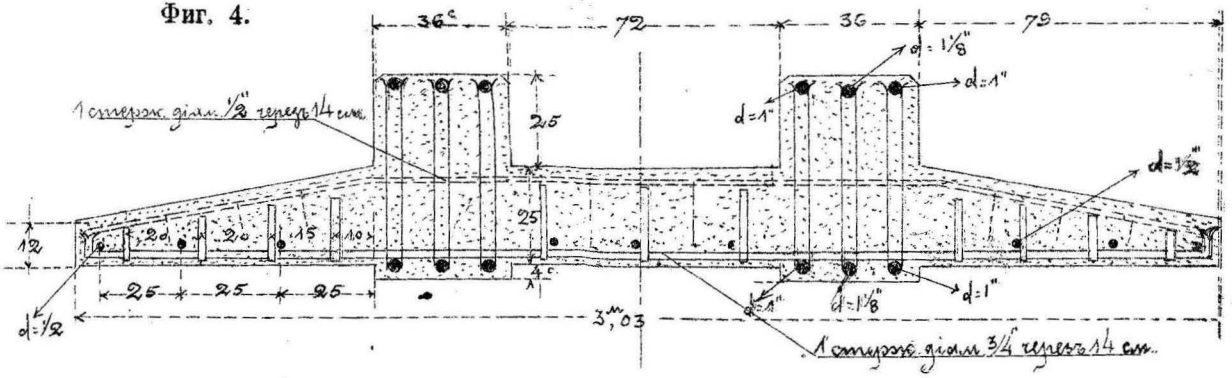
Въ выравненномъ подъ ватерпасъ днѣ котлована прорываются канавки, глубиной 4 сант., соотвѣтствующія нижнимъ выступамъ балокъ (см. черт. 1), затѣмъ дно посыпается тонкимъ слоемъ песка, который втрамбовывается въ грунтъ. Одновременно съ этимъ плотники устанавливаютъ формы для трамбованія бетона. Формы самой подошвы (т. е. трапецоидальной части сѣченія, безъ балокъ) состоятъ изъ двухъ досокъ, поставленныхъ ребромъ по краямъ плиты и поддерживающихся колышками и подкосиками; ширина доски равна высотѣ края подошвы.

На такимъ образомъ подготовленномъ основаніи кладется первый слой бетона, толщиной около 2 сант. Нижніе продольные стержни, заготовленные заранѣе, кладутся на намѣченное для нихъ мѣсто, при чемъ разстояніе отъ нихъ до нижней поверхности бетона сохраняется помощью деревянныхъ брусковъ толщиной 3 сант., помѣщенныхъ въ канавкѣ на разстояніи нѣсколькихъ метровъ одинъ отъ другого. По укладкѣ стержней на нихъ надѣваются прямыя подвѣски (*a*) на разстояніи 25 сант. одна отъ другой; мѣсто каждой подвѣски намѣчается на деревянной рейкѣ (шаблонѣ), съ помощью которой онѣ и размѣщаются на стержняхъ. Подвѣски лежатъ аккуратно отвернутыя въ сторону до тѣхъ поръ, пока по ходу работъ онѣ не будутъ подняты и окружены бетонной массой, которая и удерживаетъ ихъ въ вертикальномъ положеніи.

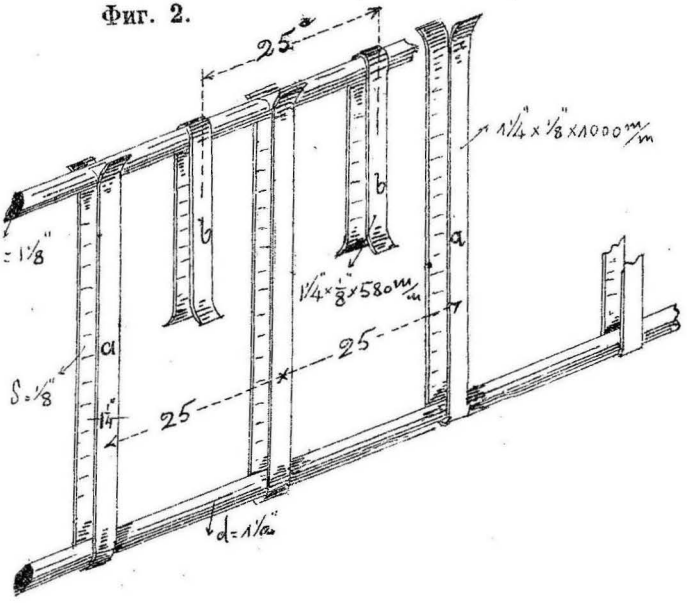
Вслѣдъ за размѣщеніемъ подвѣсокъ укладывается поперечное желѣзо, идущее въ нижней части подошвы и на него тонкіе продольные стержни, которые мѣстами связываются проволокой съ поперечными. Для удержанія верхнихъ продольныхъ стержней балокъ на надлежащей высотѣ устраиваются изъ двухъ кольевъ и перекладины скамеечки, на которыхъ и располагаются верхніе

Къ Статьѣ Э. *Норверта.*

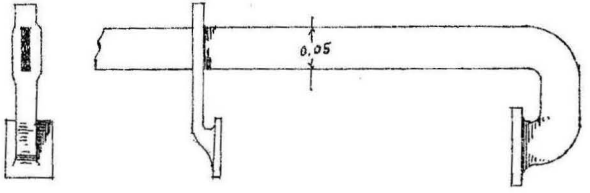
Фиг. 4.




Фиг. 2.




Фиг. 3.



прутья, удерживаемые отъ сдвига гвоздями. Подвѣски верхнихъ продольныхъ стержней, такъ же какъ и поперечныхъ, устанавливаются по мѣрѣ трамбованія бетона.

Работа по трамбованію бетона ведется участками длиной около 5—6 метровъ, которые отдѣляются другъ отъ друга шаблонами, имѣющими форму подошвы. Доска, укрѣпленная на этихъ шаблонакъ вдоль подошвы, поддерживаетъ на проволокахъ верхнее поперечное желѣзо. Когда въ одномъ участкѣ бетонъ уже поднятъ до верхнихъ поперечинъ, въ слѣдующемъ участкѣ идетъ прикрѣпленіе верхняго поперечнаго желѣза, а дальше только подъемъ и установка въ бетонѣ подвѣсокъ и т. д. Такимъ образомъ достигается равномѣрность работы и отсутствіе поперечныхъ спаекъ.

Само собой разумѣется, что всѣ эти доски, шаблоны и проч. по мѣрѣ поднятія бетона за ненадобностью снимаются.

Трамбованіе бетона ведется нетолстыми слоями въ 5—6 сант. посредствомъ желѣзныхъ трамбовокъ, состоящихъ изъ стержня, кончающагося прямоугольной плитой размѣромъ 16×16 сант.; поданный и сваленный съ носилокъ бетонъ разравнивается рабочими въ слой, примѣрно, двойной толщины окончательнаго пласта. Толщина же уменьшается затѣмъ трамбованіемъ. Разравнивая слой бетона особыми лопатками, рабочій поднимаетъ каждую подвѣску и укладываетъ вокругъ нея кучу бетона, который и поддерживаетъ ее въ вертикальномъ положеніи. При укладкѣ слоевъ бетона его утрамбовываютъ между желѣзными частями и въ углахъ формъ такъ, чтобы вездѣ было обезпечено полное соприкосновеніе; при этомъ особенно приходится слѣдить за тѣмъ, чтобы рабочіе при трамбованіи не разстраивали взаимнаго положенія желѣзныхъ частей. Чаще всего это случается съ подвѣсками, которыя отходятъ отъ огибаемыхъ ими стержней и такимъ образомъ теряется связь между этими послѣдними и подвѣсками. Для прочности же необходимо ихъ полное соприкосновеніе.

Большое число подвѣсокъ дѣлаетъ работу трамбованія достаточно кропотливой; каждая подвѣска должна быть поднята и аккуратно отрамбована, около каждой подвѣски поперечныхъ стержней должна быть устроена кучка бетона, поддерживающая ее и въ промежутки между вѣтвями вбитъ бетонъ.

Очертаніе верхней поверхности плиты (безъ балокъ) достигается помощью упомянутыхъ выше шаблоновъ, служащихъ раздѣленіемъ между участками; правильно остроганное ребро доски кладется на два сосѣдніе шаблона и неровности бетона сглаживаются.

Для формовки балокъ, по контуру ихъ расположенія на подошвѣ устанавливаются по двѣ двухдюймовыхъ доски для каждой, которыя и служатъ формами. Наружныя щеки формъ упираются подкосами, къ которымъ онѣ пришиты гвоздями, въ колья и такимъ образомъ поддерживаются въ вертикальномъ положеніи. Доски, ограждающія внутреннюю поверхность балокъ, укрѣпляются распорками. Кромѣ того, для большей жесткости формы щеки ихъ распираются брусками и стягиваются сжимами, показанными на чертежѣ 3.

Въ этихъ формахъ и происходитъ трамбованіе балокъ, которое ничѣмъ не отличается отъ трамбованія подошвы и производится помощью тѣхъ же пріемовъ и инструментовъ, что и описанные выше для плитъ; но въ данномъ случаѣ требуется еще большая тщательность работы по трамбованію бетона въ узкихъ щеляхъ, около 2—3 сант., образующихся между стержнями арматуры и стѣнками формъ. Здѣсь въ большомъ ходу особый крючекъ (passe-partout), которымъ рабочій имѣетъ возможность проникнуть во всѣ трудныя для трамбованія мѣста; это—желѣзный стержень діаметра $^3/_4''$ и длины около 1,5 метра, загнутый на концѣ подъ прямымъ угломъ на величину около 10 сант.

Въ балкахъ особенно часто наблюдается вышеописанное отдѣленіе подвѣски отъ стержня, вслѣдствіе прогиба послѣдняго. Во избѣжаніе этого стержни мѣстами связываются проволокой съ подвѣсками, соединеніе это вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ для поддержанія верхнихъ прутьевъ по снятіи скамеекъ.

Не лишнимъ будетъ сказать нѣсколько словъ о частныхъ случаяхъ, которые встрѣчаются при работѣ. Наиболѣе часто встрѣчающійся случай—это пересѣченіе плитъ подъ прямымъ угломъ. Желѣзо одной изъ подошвъ, обыкновенно болѣе нагруженной, пропускается насквозь безъ перерыва; верхніе прутья другой подошвы прерываются въ мѣстѣ пересѣченія, загибаются на соотвѣтственные прутья первой и связываются съ ними проволокой, тогда какъ нижніе прутья балокъ также проходятъ насквозь надъ нижними стержнями первой подошвы. Такимъ образомъ происходитъ перерывъ только верхнихъ стержней. Въ разорванной стѣнѣ отбрасываются только главныя подвѣски прямыя и обратныя, а всѣ остальныя подвѣски остаются на мѣстѣ.

Концы всѣхъ обрывающихся въ бетонѣ стержней, какъ-то въ пересѣченіи стѣнъ, въ углахъ и т. п., раздваиваются, образуя небольшую вилку (queue de carpe), они будто бы должны сопроти-

вляться движенію желѣза внутри бетона при измѣненіи объема одного или другого отъ вліянія температуры. Внутри стѣнъ стержни, вообще, не разрываются; при болѣе значительной длинѣ стѣны стержни сваривались изъ отдѣльныхъ кусковъ длиной около 10 арш. Мѣсто сварки дѣлалось нѣсколько толще самаго стержня.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда къ готовой уже раньше подошвѣ приходилось, по ходу работъ, приставлять уже послѣ ея затверденія перпендикулярную къ ней, въ крайней балкѣ старой подошвы оставлялся промежутокъ съ наклонными стѣнками, такъ, что новая подошва какъ бы клиномъ входила въ старую; при этомъ старая подошва въ мѣстѣ соприкосновенія съ новой тщательно смывалась водой и обливалась цементнымъ прыскомъ. Желѣзо связывалось съ желѣзомъ и получалось прочное соединеніе.

Работы подъ управленіемъ десятника-итальянца *) идутъ быстро и равномѣрно. Большое значеніе имѣетъ опытность рабочихъ, большинство которыхъ уже много лѣтъ трамбуетъ бетонъ; простому каменьщику было бы очень трудно разобраться во всей массѣ подвѣсокъ, стержней и т. п., которые сильно затрудняютъ трамбованіе и требуютъ для обращенія съ ними большого навыка и сноровки.

Бетонъ для плиты составлялся изъ портландскаго цемента завода Липгартъ и рѣчного москворѣцкаго гравія двухъ величинъ: крупнаго — размѣромъ не болѣе 30 мм. и мелкаго, по величинѣ зерна близко подходящаго къ крупному песку. Собственно песокъ употреблялся въ очень небольшомъ количествѣ, такъ какъ достать чистаго песку оказалось трудно, а употреблять имѣющійся являлось нежелательнымъ вслѣдствіе большого количества постороннихъ примѣсей, вредно отзывающихся на качествѣ бетона и трудно поддающихся очищенію. Оказалось выгоднѣе замѣнить часть песка мелкимъ гравіемъ.

Пропорція составныхъ частей была такова:

| | | |
|---|---|---|
| крупнаго гравія | 0,50 | куб. метра |
| мелкаго » | 0,35 | » » |
| песку | 0,15 | » » |
| цемента | 330 | килогр. |

*) Предприниматель жел.-бетон. работъ, г. Вернэ, утверждаетъ, что лучшими мастерами по желѣзо-бетону являются итальянцы.

т.-е. на кубическій метръ инертныхъ матеріаловъ около 340 килогр. цемента, что даетъ объемную пропорцію приблизительно равную 1:4. Для смѣшиванія составныхъ частей бетона была устроена досчатая платформа; балластъ отмѣривался посредствомъ формы объемомъ 0,5 куб. метра, которая представляла изъ себя бездонный ящихъ съ 4 ручками для переноски. Наполненная посредствомъ окаренковъ форма поднималась и образовавшаяся куча балласта перемѣшивалась и укладывалась въ грядку. Гравій обильно промывался водой изъ пожарнаго рукава. На тщательно перемѣшанный и уложенный грядкой балластъ высыпалось два мѣшка цемента; смѣсь перемѣшивалась сперва насухо, перекаткой гряды съ одной стороны платформы на другую не менѣе трехъ разъ; двое рабочихъ лопатами перекатываютъ грядку, двое другихъ граблями размѣшиваютъ смѣсь. Перемѣшанную такимъ образомъ насухо смѣсь снова начинаютъ перекатывать, но уже поливая ее изъ лейки съ ситомъ водой. Тщательно смѣшанная масса-бетонъ употребляется въ дѣло.

Вслѣдствіе малаго количества песка входящаго въ балластъ отдѣльное смѣшиваніе песка съ цементомъ не дѣлается.

При разсмотрѣніи того количества воды, которое вводилось въ бетонъ, необходимо принять во вниманіе то обстоятельство, что работы по трамбованію производились безъ полнаго огражденія подошвы формами. Трамбованіе происхидило прямо на землѣ, которая неминуемо должна была впитать въ себя извѣстное количество воды. Имѣя это въ виду, воды приходилось добавлять больше, чѣмъ то дѣлается обыкновенно въ такихъ сооруженіяхъ, какъ потолочныя перекрытія, балки и т. п., которыя при работѣ со всѣхъ сторонъ ограждаются формами. Поэтому бетонъ составлялся нѣсколько жиже обыкновеннаго «мокраго» Геннебиковскаго бетона.

На 3-й—4-й день по изготовленіи подошвы откосы ея засыпались землей и на 5-й, 7-й день, снявши предварительно формы, приступали къ забуткѣ пространства между балками. Формы, конечно, можно было бы снять и раньше, но онѣ оставлялись такъ долго для того, чтобы при возкѣ земли тачками не обломались еще свѣжія кромки балокъ. Въ періодъ схватыванія подошва поливалась отъ времени до времени водой во избѣжаніе неравномѣрнаго твердѣнія отъ чрезчуръ быстраго испаренія воды изъ верхнихъ слоевъ.

Такого рода передача давленія отъ сооруженія на грунтъ помощью желѣзо-бетонныхъ плитъ встрѣчается въ Москвѣ, кажется, впервые. Такъ какъ до сихъ поръ возведенъ только подвальный

этажъ зданія, то сказать что-нибудь о технической удовлетворительности подошвы трудно; недостатки ея, если таковые окажутся, могутъ быть обнаружены только впослѣдствіи. Пока же, какъ на положительную сторону устройства такого рода основаній можно указать на быстроту работы и на сравнительную ея экономичность. Стоимость всей желѣзо-бетонной подошвы равна около 18,000 руб., при чемъ сюда входятъ 30 штукъ желѣзо-бетонныхъ 9-ти-аршин. свай, забитыхъ подъ одной изъ стѣнъ. Для сравненія можно указать на то, что основаніе въ видѣ каменныхъ столбовъ съ кирпичными арками между ними исчислено было въ 40,000 р.

Москва. Мартъ 1905 г.

*Эд. Норвертъ.*

# Критика и библіографія.

## Ученые эквилибристы.

(По поводу возраженій гг. Патона и Черепашинскаго).

Мои критическіе опыты въ «Инженерномъ Дѣлѣ», привели къ совершенно неожиданному мною результату. Вызванныя моими замѣтками возраженія обнаруживаютъ у большинства ихъ авторовъ уклоненіе ученой мысли въ сторону отъ ученыхъ цѣлей.

Причину такого любопытнаго явленія приходится отнести на счетъ тона моихъ замѣтокъ, являющагося, по увѣренію одного изъ моихъ оппонентовъ, «не совсѣмъ обычнымъ въ серьезной технической литературѣ» [1]). Другой же оппонентъ нашелъ въ моихъ статьяхъ «рѣзкіе и задорные софизмы» и «вызывающія выходки» [2]).

Особенность тона моихъ статей заключается, насколько мнѣ возможно о томъ судить, въ рѣшимости, не считаясь съ оффиціальнымъ званіемъ и положеніемъ каждаго изъ разбираемыхъ авторовъ, указать со всею силою имѣющихся доводовъ и соображеній, что такое-то положеніе невѣрно, такая-то теорія непріемлема, такой-то выводъ есть плодъ такого-то недоразумѣнія. Впрочемъ, оффиціальное званіе я принималъ въ разсчетъ, но въ томъ смыслѣ, что чѣмъ отвѣтственнѣй общественный постъ автора, тѣмъ болѣе строгія требованія я предъявлялъ къ его трудамъ. Въ этомъ направленіи меня не удерживали и вполнѣ «дружескія» личныя отношенія, въ которыхъ я находился съ нѣкоторыми изъ моихъ оппонентовъ.

---

[1]) *Ад.-профессоръ Головинъ:* „Извѣстія Собр. Инж. Путей Сообщенія“, № 3, 1905 г.

[2]) *Проф. Черепашинскій:* „Отвѣтъ г. Передерію“. Жур. Мин. П. С. кн. 5 за 1904 г., стр. 133 и 134.

Этотъ тонъ принятъ моими имѣющимися здѣсь въ виду оппонентами за посягательство на ихъ авторитетъ, за посягательство на ихъ личность. Такъ, цитированный уже ад.-проф. Д. Головнинъ говоритъ, что «эта сторона» моего сочиненія, т.-е. тонъ ея «менѣе другихъ имѣетъ отношеніе къ поднятому мною вопросу и носитъ скорѣе *личный* характеръ».

При такомъ тонѣ у меня, по изслѣдованіямъ г. Черепашинскаго не оказалось къ тому же засвидѣтельствованнаго начальствомъ авторитета. Этотъ оппонентъ рекомендуетъ мнѣ «воздержаться отъ *самозваннаго* производства себя въ авторитеты» [1]). Критиковать ученые труды русскихъ профессоровъ, по мнѣнію г. Черепашинскаго, можно только непремѣнно авторитетамъ, и не «самозваннымъ», а посвященнымъ въ сей санъ однимъ изъ нашихъ правительственныхъ вѣдомствъ. Для этого недостаточно авторитета математическихъ формулъ и логическихъ построеній.

Впрочемъ и «дѣйствительные ученые» не поступаютъ, по мнѣнію того же г. Черепашинскаго, такъ, какъ поступаю я. Вотъ что онъ разсказываетъ мнѣ въ назиданіе: «Оставляя въ сторонѣ всѣ прочія вызывающія выходки г. П., не могу не указать ему на неумѣстность его пріемовъ. Когда покойный проф. Ясинскій при чтеніи моего сочиненія «Каменные строительные матеріалы» встрѣтилъ мѣсто, показавшееся ему *сомнительнымъ*, то онъ не *прибѣгъ* къ печатанію *порицанія* съ высокомѣрнымъ заявленіемъ о непріемлемости этого мѣста, но обратился ко мнѣ письменно за разъясненіемъ, а по полученіи его, прислалъ мнѣ благодарность съ приложеніемъ своей книги о продольномъ изгибѣ. Такъ поступаютъ дѣйствительные ученые» (стр. 135)

Могу принять только къ свѣдѣнію поучительный эпизодъ съ г. Черепашинскимъ. Можетъ быть и я обратился бы къ профессору за разъясненіемъ «сомнительнаго мѣста»; но въ данномъ случаѣ ошибка г. Черепашинскаго не возбуждала и сейчасъ не возбуждаетъ никакихъ сомнѣній. Затѣмъ, лично до г. Черепашинскаго мнѣ нѣтъ никакого дѣла, я интересовался его работой и ея ролью въ средѣ читателей.

Назиданіе г. Черепашинскаго показываетъ, какъ хотѣлось бы ему изъ науки сдѣлать домашнее дѣло, а изъ ученыхъ касту шушукающихся авгуровъ.

---

[1]) Проф. Черепашинскій. Тамъ же.

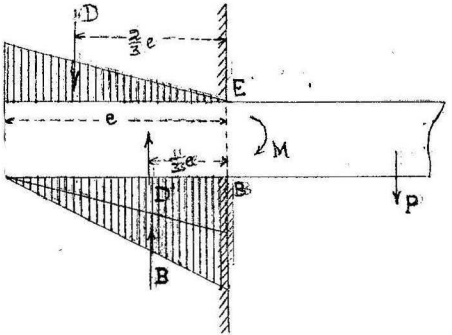
Критики, не имѣющіе одобреннаго г. Чер-имъ диплома на авторитетъ, рискуютъ вызвать противъ своихъ замѣтокъ ученыя возраженія, въ которыхъ выясненіе научныхъ положеній отступаетъ на задній планъ, а впередъ выдвигается желаніе всевозможными способами отстоять свои измышленія противъ незаконныхъ посягательствъ «самозванной» критики, ибо признать правильность ея указаній—сверхъ силъ, уязвленной «задорными софизмами» самолюбивой ученой души русскаго профессора имя рекъ. Полемика сводится въ такихъ случаяхъ, при безучастномъ отношеніи читателей, къ совершенно безполезнымъ препирательствамъ, участвовать въ которыхъ каждый уважающій себя критикъ не станетъ, но констатировать подобное положеніе вещей ему необходимо.

«Ученые», съ которыми въ такихъ случаяхъ приходится имѣть дѣло, какъ будто, сознаютъ несоотвѣтствіе своихъ силъ съ тою ролью, которую они взяли на себя въ качествѣ оффиціально рукоположныхъ авторитетовъ. Это сознаніе не даетъ имъ покою, не даетъ, повидимому, необходимой увѣренности въ правильности своихъ дѣйствій. Они вѣчно на чеку, вѣчно съ вопросомъ: достаточно ли они кажутся авторитетными, не сомнѣвается ли кто изъ публики въ ихъ силахъ и способностяхъ?—Укажите имъ на промахъ ихъ ученой мысли, и они принимаютъ это за личное оскорбленіе, за выраженіе сомнѣнія въ ихъ дарованіяхъ вообще. Авторитетъ въ опасности, и имъ необходимо во что бы то ни стало убѣдить читающую публику, что они не по ошибкѣ носятъ ученыя клички, что они и то, и это знаютъ и то, и другое понимаютъ.

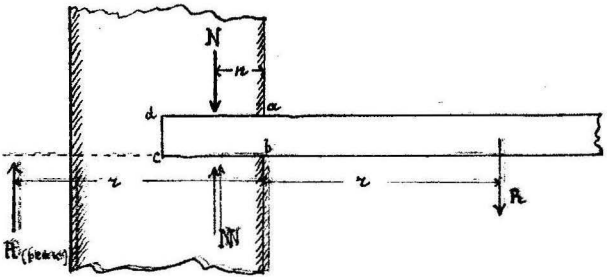
Они отлично знаютъ своего читателя, они знаютъ, какое значеніе въ ихъ глазахъ имѣетъ званіе «профессоръ»; они знаютъ, какъ скромно по размѣрамъ желаніе читателей-техниковъ анализировать литературныя явленія, протекающія передъ ихъ взорами. Полемика! Такой-то разноситъ такого-то; каждый изъ нихъ говоритъ, что его противникъ надѣлалъ ошибокъ; вѣроятно правъ тотъ, у кого чинъ больше, а впрочемъ не все ли равно, насъ это не касается...

Только такимъ пониманіемъ читательской психологіи и можно объяснить парадированіе г. Черепашинскаго передъ читателями въ роли автора скомпилированныхъ имъ книгъ, вплоть до брошюрки «Краткій историческій очеркъ строительной маханики», только это пониманіе побуждаетъ запутавшагося въ пустякахъ профессора Черепашинскаго говорить, что «не мѣшало бы г. П.

Фиг. 1.




Фиг. 2.



прежде пополнить пробѣлъ своихъ знаній»,—прежде, чѣмъ полемизировать съ г. профессоромъ, хотя бы для такой полемики, какая произошла у меня съ нимъ, достаточно было получить только первоначальную грамотность въ строительной механикѣ.

Возраженія каждаго изъ разсматриваемыхъ авторовъ имѣютъ свой характеръ въ зависимости отъ темперамента и такта. Но всѣмъ имъ присущи общія черты, вытекающія изъ общихъ свойствъ преслѣдуемой посторонней наукѣ цѣли. Большую роль играетъ какой-нибудь фокусъ. Ловко и смѣло продѣланный фокусъ кажется довѣрчивой и непритязательной публикѣ верхомъ мудрости, а значитъ, и учености.

Г. Черепашинскій, напримѣръ, по поводу придуманной имъ теоріи «ущемленія» провелъ свой «отвѣтъ», вызванный моими возраженіями, сосредоточенно и мрачно. По отношенію къ нему я не буду входить въ детали, ограничусь только указаніемъ на одинъ пунктъ.

Въ доказательство того, что его теорія «ущемленія» невѣрна, я взялъ моменты опредѣленныхъ по этой теоріи силъ и показалъ, что сумма ихъ не даетъ нуля, какъ того требуетъ извѣстный законъ статики.

По теоріи г. Черепашинскаго, изложенной въ «Строительной механикѣ», т. I изд. 1901 г. и повторенной въ послѣдующихъ его трудахъ, дѣйствующія на брусъ силы сводятся къ слѣдующимъ (Фиг. 1):

1) *Внѣшнія силы*, приложенныя къ балкѣ внѣ задѣлки, моментъ которыхъ обозначенъ имъ на стр. 330 черезъ $M$.

Дѣйствуетъ по часовой стрѣлкѣ—положительный.

2) *Сопротивленіе $D$ поверхности $KE$.*

На стр. 330 читаемъ: «*Моментъ* (моментъ $M$) *стремится повернуть балку около ребра $B$, но это вращеніе уничтожается сопротивленіемъ верхней части $KE$ кладки*».

На стр. 331 и слѣдующей у г. Черепашинскаго выводится, что давленіе по поверхности $KE$ распредѣляется по прямой такъ, что въ точкѣ $E$ напряженіе

$s=0$ .... это ур-іе обозначено на стр. 332 черезъ ($G$).

а въ точкѣ $K$ оно равно

$$\max s = \frac{3M}{be^2}$$

Величина же

$$D = \frac{3M}{2e}$$

Эти ур-ія (стр. 332) обозначены черезъ $(F)$

Буква $b$ означаетъ ширину бруса; $e$—длина задѣланной части.

Изъ распредѣленія силы $D$ мы видимъ, что равнодѣйствующая находится въ разстояніи $\frac{2}{3}e$ отъ плоскости $BE$, слѣд. моментъ этой силы отн. точки $B$ равенъ

$$m_1 = \frac{3M}{2e} \cdot \frac{2}{3}e = M$$

и дѣйствуетъ *обратно* часовой стрѣлкѣ—отрицателенъ; результатъ можно было предвидѣть, ибо какъ видѣли, давленіе на $KE$ «уничтожаетъ» вращеніе отъ внѣшнихъ силъ, изъ чего и вывелъ г. Черепашинскій величину силы $D$.

3) *Сила $D'$*, дѣйствующая снизу на задѣланный конецъ. На стр. 332 по этому поводу сказано:

«*Для плоскости $CB$ дѣйствительны значенія $(F)$ и $(G)$ въ обратномъ порядкѣ, т. е. въ $C$ $s=0$, а въ $B$ оно равно*

$$\max s = \frac{3M}{be^2}».$$

Слѣдовательно,

$$D' = \frac{3M}{2e},$$

плечо$=\frac{1}{3}e$ и моментъ относительно точки $B$ равенъ:

$$m_2 = \frac{M}{2}$$

дѣйствуетъ по часовой стрѣлкѣ—положителенъ.

4) *Сила $B$*—реакція опоры на брусъ отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ. Вслѣдъ за предыдущей цитатой г. Черепашинскій пишетъ:

«*Кромѣ того на $CB$ дѣйствуютъ давленія, равнодѣйствующая которыхъ равна реакціи $B$, производимой въ $B$ нагрузкой балки*».

Это давленіе на задѣланный конецъ бруса «*производимое въ B нагрузкой балки*», г. Черепашинскій распредѣляетъ такъ, что въ $B$ оно равно max, а въ $C$ нулю. Онъ говоритъ непосредственно вслѣдъ за предыдущей цитатой:

«Если примемъ, что послѣдняя (т. е. реакція $B$) распредѣляется вдоль $BC$ по тому же закону прямой линіи, то произведенное ею въ $B$ напряженіе будетъ $=\frac{2B}{be}$».

Слѣдовательно плечо этой силы относительно точки $B$ равно $\frac{1}{3}e$, а моментъ

$$m_3=\frac{1}{3}Be$$

Дѣйствуетъ по часовой стрѣлкѣ.

Теперь сложимъ моменты всѣхъ этихъ силъ и приравняемъ сумму нулю:

$$M-m_1+m_2+m_3=0$$

или

$$M-M+\frac{M}{2}+\frac{1}{3}Be=0$$

или

$$\frac{M}{2}+\frac{1}{3}Be=0. \qquad (1)$$

Оба члена положительны и порознь не равны нулю.

Получается невязка.

Отсюда я и дѣлалъ выводъ, что теорія г. Черепашинскаго невѣрна, ибо опредѣленныя имъ силы не удовлетворяютъ закону статики.

Въ своемъ «Отвѣтѣ» г. Черепашинскій пишетъ по этому поводу:

«Гвоздемъ возраженія г. П. считаетъ составленное имъ нелѣпое уравненіе моментовъ, написавъ которое и получивъ очевидно нелѣпость, съ тріумфомъ восклицаетъ: «Это абсурдъ и вытекаетъ онъ изъ способа проф. Ч. составлять уравненіе моментовъ»*). *Но у меня такого уравненія нигдѣ нѣтъ и быть не могло!* (курсивъ г-на Ч.)». (Стр. 132, кн. 5, 1904 г. Ж. М. П. С.).

---

*) На самомъ дѣлѣ такъ было написано въ моей статьѣ; напечатано же на стр. 122 той же книги Ж. М. П. С. нѣсколько иначе. Разница объясняется тѣмъ, что редакція давала, повидимому, г-ну Ч. мою рукопись, а не окончательно редактированную корректуру.

*Г. П.*

Г. Черепашинскій здѣсь *не хочетъ* меня понимать. Я писалъ на стр. 121: «Невозможно принять теорію, по которой реакціи получаются такого размѣра, что, *приложивъ ихъ* къ задѣланному концу въ качествѣ внѣшнихъ силъ, мы *не получимъ равновѣсія* съ остальными внѣшними силами». Затѣмъ привожу такъ волнующее г-на Ч. уравненіе моментовъ (см. выше (1)).

Кажется ясно, что *я дѣлаю повѣрку* результатовъ теоріи г-на Ч. Въ томъ-то и дѣло, что г. Ч. не догадался самъ сдѣлать эту повѣрку; написавъ это уравненіе, онъ увидѣлъ бы, вѣроятно, свою ошибку. Если оно даетъ нелѣпость, то именно потому, что силы опредѣлены г-мъ Ч. невѣрно.

Когда же я говорилъ, что этотъ абсурдъ вытекаетъ изъ способа г-на Ч. составлять ур-іе моментовъ, то я разумѣлъ не это уравненіе, которое я составилъ, а то, которое на стр. 330 составилъ г. Ч. для рѣшенія поставленной задачи. Онъ приравниваетъ сумму моментовъ нулю, но при этомъ беретъ *не всѣ* силы, дѣйствующія на тѣло, а только часть изъ нихъ; другую же часть изучаетъ отдѣльно. На стр. 330 «Строит. Мех.» онъ пишетъ:

«Моментъ (внѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ на задѣланную балку) стремится повернуть балку около ребра $B$ (фиг. 1). Но это вращеніе уничтожается сопротивленіемъ верхней части $KE$ кладки».

Затѣмъ *составляется выраженіе момента* сопротивленія кладки по $KE$, послѣ чего написано:

«*Для равновѣсія этотъ моментъ* долженъ равняться опорному моменту, *произведенному въ* $B$ дѣйствующими на балку внѣшними силами».

Вотъ это *приравниваніе* и есть неправильно составленное уравненіе моментовъ, о которомъ я говорилъ. Оно не вѣрно, ибо «для равновѣсія» *не надо забывать* о силахъ, дѣйствующихъ *снизу по плоскости* $CB$, о которыхъ г. Ч. вспомнилъ только на 332 стр., хотя въ своемъ «отвѣтѣ» онъ сентенціозно пишетъ: «при составленіи уравненія равновѣсія *нужно прежде всего выяснить себѣ* дѣйствующія и сопротивляющіяся силы» (стр. 132, кн. 5 журнала).

Теперь посмотримъ, какъ г. Ч. доказываетъ что повѣрочное уравненіе моментовъ удовлетворяется, т. е. даетъ нуль. Онъ такое уравненіе пишетъ, а значитъ *понимаетъ* что я дѣлалъ *повѣрку* и на стр. 133 предлагаетъ даже мнѣ провѣрить мою діаграмму. Зачѣмъ же тогда онъ писалъ свой курсивъ съ восклицательнымъ знакомъ?

Повѣрочное уравненіе г-нъ Ч. на стр. 132 журнала составляетъ теперь «выяснивъ прежде всего дѣйствующія и сопротивляющіяся силы».

«Въ случаѣ балки, которой задѣланный конецъ находится съ верхней и нижней плоскостями задѣлки въ *полномъ* (курсивъ г. Ч.) соприкасаніи, дѣйствуютъ на нее слѣдующія силы (для ясности показываю ихъ на чертежѣ 2.—*Г. П.*): а) равнодѣйствующая $R$ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на балку справа сѣченія $ab$; эта равнодѣйствующая принята направленной вертикально внизъ; ея моментъ по отношенію къ $ab=M$, и b) давленіе $N$ верхней нагрузки, которое и есть причина полнаго соприкасанія. Эти силы уравновѣшиваются слѣдующими сопротивленіями: 1) реакціей $R$, равной и противоположной равнодѣйствующей $R$; моментъ этой реакціи по отношенію къ $ab$ равенъ $-M$, и 2) реакціей $N$, прямо-противоположной давленію $N$ (т. е. сила $N$ и реакція $N$ совпадаютъ)».

«Если, напр. — продолжаетъ г. Ч., — плечо силы $R$ (по отношенію къ $ab$) обозначимъ черезъ $r$, а силы $N$ черезъ $n$, то уравненіе моментовъ дѣйствующихъ силъ бруса по отношенію къ $ab$ $Rr-Nn=M-Nn$ (т. к. $Rr=M$), а сопротивленія: $-M+Nn$, слѣдовательно сумма: $(M-Nn)+(-M+Nn)=0$».

Что это такое?

Равнодѣйствующая $R$ силъ, дѣйствующихъ на балку справа $ab$, находится въ разстояніи $r$, которое можетъ измѣряться саженями, смотря по длинѣ балки. *Реакція* $R$ равна равнодѣйствующей $R$ и моменты ихъ относительно $ab$ равны по величинѣ и обратны по знаку; слѣдовательно *реакція* $R$ должна находиться *съ другой стороны* сѣченія $ab$ *въ разстояніи* $r$ отъ $ab$, т. е. задѣланный брусъ представляетъ *равноплечій* рычагъ 1-го рода. Это очевидная несообразность.—И что общаго здѣсь съ предложенной г-омъ Ч. теоріей которую мы выше привели?

Затѣмъ, появилась сила $N$, какъ «давленіе верхней нагрузки», независимая отъ другихъ внѣшнихъ силъ. Отчего же эта нагрузка не вошла въ формулы напряженій кладки?

Послѣ этой повѣрки г. Ч. повѣряетъ еще какимъ то невообразимымъ наборомъ словъ «*равновѣсіе плоскостей* $bc$ и $ad$» (стр. 133, строка 10 сверху).

При такихъ широкихъ пріемахъ повѣрки можно получить не только нуль, а все, что угодно.

На вопросъ: съ чѣмъ и съ кѣмъ я имѣю дѣло, можно отвѣтить диллемой: или г. Черепашинскій по невѣроятному недоразу-

мѣнію оффиціально уполномоченъ заниматься составленіемъ учебниковъ по Строительной механикѣ, или онъ дѣйствуетъ сознательно и дѣлаетъ *подтасовку*.

Профессоръ, который въ язвительномъ отвѣтѣ обнаруживаетъ такое вольное обращеніе съ элементами рѣшенія простенькой задачки—это нѣчто, трудно представляемое даже и для Россіи. Я не въ правѣ остановиться на первомъ положеніи диллемы и склоняюсь въ пользу второго положенія ея; я объясняю весь этотъ настойчиво проводимый г. Черепашинскимъ инцидентъ преслѣдованіемъ постороннихъ наукѣ цѣлей, а приведенную выше его повѣрку считаю фокусомъ.

Послѣ этого подвига г. Черепашинскій доказываетъ, что я «не понялъ сути задачи и берусь ее критиковать», а затѣмъ въ непосредственномъ обращеніи ко мнѣ указываетъ на «неумѣстность» моихъ полемическихъ пріемовъ!

Продолжая до конца использованіе «умѣстнаго» пріема подтасовки, г. Черепашинскій въ заключеніе своего отвѣта пишетъ: «Не имѣя ни времени, ни желанія продолжать пререканія, я считаю настоящій мой отвѣтъ окончательнымъ, и на какія бы то ни было дальнѣйшія выходки г. П. отвѣчать не намѣренъ».

Вотъ вполнѣ законченная полемическая фигура.

Г. Черепашинскій «дальнѣйшихъ выходокъ», вполнѣ естественныхъ послѣ такихъ перловъ «ученой» мысли, ждетъ только отъ меня, и только съ этой стороны напередъ ограждаетъ себя. Онъ увѣренъ, что никто изъ читателей на «выходку» не пойдетъ.

Онъ не ошибся, разсчетъ его оправдался.

Прошло около года со времени появленія въ печати этого шедевра, никто не выступилъ съ протестомъ противъ такихъ пріемовъ выясненія истины. Между тѣмъ «почтеннѣйшая публика» уже успѣла высказаться въ лицѣ библіографа журнала «Желѣзнодорожное Дѣло», который такъ зарегистрировалъ двѣ послѣднія статьи изъ нашей полемики (Библ. ук. за іюль и августъ 1904 г.):

№ 735. «Къ вопросу о задѣлкѣ концовъ изгибаемыхъ брусьевъ. Журн. М. П. С. 1904 г. кн. 5 стр. 113. Въ статьѣ этой Г. П. Передерій *указываетъ основанія* (курсивъ мой, Г. П.), по которымъ *онъ считаетъ*, что новая теорія «ущемленія» проф. Черепашинскаго рѣшительно непріемлема».

№ 736. «Отвѣтъ г. Передерію. Ж. М. П. С. 1904 г. кн. 5, стр. 131. Въ статьѣ этой М. М. Черепашинскій *указываетъ на ошибки*,

дѣлаемыя г. Передеріемъ въ его статьѣ, и *на некорректный пріемъ его полемики*» (курсивъ мой, Г. П.).

«Почтеннѣйшая публика» говоритъ здѣсь о томъ, что я только *считаю* трудъ г. Ч. непріемлемымъ, а г. Ч. *указываетъ* на дѣлаемыя мною ошибки и на некорректный пріемъ полемики, существованіе которыхъ не подвергается сомнѣнію.

Мнѣ остается только привѣтствовать «почтеннѣйшую публику», съ такою увѣренностью шагающую за г. Черепашинскимъ.

На этомъ и покончимъ съ отвѣтомъ г. Черепашинскаго и обратимся къ другому оппоненту.

Это будетъ профессоръ Патонъ. Въ Россіи онъ уже успѣлъ составить себѣ славу 1) диссертаціей о вліяніи жесткихъ узловъ на двухраскосную ферму, оказавшейся увѣсистымъ плодомъ небольшого недоразумѣнія съ условіями примѣнимости способа Мора и 2) теоріей вычета заклепочныхъ дыръ, въ которой формула сложнаго сопротивленія примѣнена не съ большей осторожностью, чѣмъ способъ Мора.

Въ отвѣтъ на мои критическія замѣтки по этимъ трудамъ я прежде всего по настоянію г. Патона получилъ отъ Московскаго инженернаго училища, въ коемъ г. Патонъ состоялъ инспекторомъ, предложеніе прекратить преподавательскую дѣятельность въ училищѣ. Недавно же г. Патонъ выступилъ на защиту своихъ теорій и съ болѣе достойнымъ науки оружіемъ—печатнымъ словомъ.

Не имѣя ничего добавить къ тому, что мною было сказано по затрагиваемымъ вопросамъ, а также взять что-нибудь обратно изъ сказаннаго мною, я все же считаю долгомъ выяснить характеръ отвѣта г. Патона.

На защиту своей диссертаціи г. Патонъ выступилъ въ «Извѣстіяхъ Собранія Инж. Пут. Сообщ.» за текущій годъ № 4 въ статьѣ: «*Такъ называемыя силы пружинности*». Примѣненіе же формулъ сложнаго сопротивленія къ растянутой полосѣ онъ защищаетъ въ «Журналѣ Мин. Путей Сообщенія» за настоящій годъ, книга 3-я въ статьѣ подъ заглавіемъ: »Къ вопросу объ ослабленіи листовъ заклепками», сопутствующей по принятому названнымъ журналомъ обычаю, моей статьѣ.

Сперва о жесткихъ узлахъ.

Отвѣтъ г. Патона начинается очерчиваніемъ того круга, въ которомъ онъ намѣренъ держаться. Для этого ему понадобилось объявить меня «ярымъ» защитникомъ двухраскосныхъ фермъ, а въ моей работѣ видѣть «походъ» въ ихъ пользу. Затѣмъ слѣ-

дуетъ фокусъ, предназначенный къ тому, чтобы дискредитировать основательность моихъ подсчетовъ. Оказывается, что г. Патонъ открылъ въ моихъ вычисленіяхъ «*основную* ошибку». Послѣ этого г. Патонъ трактуетъ о непригодности двухраскосныхъ фермъ, если не вслѣдствіе вліянія жесткости узловъ, какъ утверждалось раньше, то хотя бы... вслѣдствіе несовершенствъ сборки.

Цѣлью моей работы не была защита тѣхъ или другихъ системъ фермъ, а лишь полученіе болѣе точныхъ способовъ разсчета фермъ съ жесткими узлами и выясненіе истиннаго положенія двухраскосныхъ фермъ, такъ сильно затемненнаго диссертаціей г. Патона. Вмѣсто полученныхъ имъ для дополнительныхъ напряженій 293% я пришелъ къ цифрѣ 74% какъ максимальной. Подсчетомъ силъ пружинности, которыми пренебрегъ инж. Патонъ, примѣнивъ «изящный» способъ Мора, я доказалъ, что его разсчетъ не имѣетъ никакого значенія,—такъ мало онъ правдоподобенъ.

Г. Патонъ призналъ, въ общемъ, правильность моихъ указаній, и настолько усвоилъ уже выводы моей работы о распредѣлительной роли поясовъ, что, входя въ роль профессора, проповѣдуетъ уже отъ себя (на 84 стр.) объ этихъ богатыхъ послѣдствіями хорошихъ качествахъ поясовъ многораскосныхъ фермъ. Если же онъ вынужденъ теперь съ особенными усиліями ратовать противъ двухраскосныхъ фермъ уже на другихъ основаніяхъ, то это, конечно, естественно послѣ того, какъ въ нѣмецкомъ переложеніи своей диссертаціи, приведя свои сотни процентовъ доп. напряженій для двухраскосныхъ фермъ, онъ замѣтилъ въ заключеніе, что эта система является «излюбленной» въ Россіи. Намъ было пріятно убѣдиться, что русскіе инженеры не такъ ужъ опрометчиво облюбовали эту систему, какъ то вообразилъ себѣ г. Патонъ. Хотя система и выдержала испытаніе долголѣтней практики, но все же, повидимому, цифры инженера Патона произвели впечатлѣніе на нѣкоторыхъ русскихъ мостостроителей. Инженеру Патону, конечно, пріятно было сознавать себя въ роли спасителя русскаго мостового искусства. И вдругъ не только почтенная роль оказалась сомнительной, но и авторитетъ его показался ему въ опасности. Только этимъ и можно до нѣкоторой степени объяснить рѣшительность, съ какою г. Патонъ прибѣгъ къ административно-полицейскимъ мѣрамъ въ отношеніи меня, какъ преподавателя Инженернаго училища. Прежде всего онъ прибѣгъ къ способу, въ которомъ чувствовалъ себя наиболѣе сильнымъ, а затѣмъ ужъ онъ додумался, по примѣру г. Черепашинскаго, до ве-

ликой удобности и осуществимости въ Россіи нѣкоторыхъ пріемовъ защиты авторитета, находящагося въ неустойчивомъ состояніи.

Впрочемъ «дипломатическое» воздѣйствіе не помѣшало ему вступить въ члены профессорскаго союза съ цѣлью бороться за академическую свободу; такое теперь ужъ время, что «и тотъ кто радъ и кто нерадъ кричатъ ура» по случаю побѣды «идеи».

Ироническое отношеніе г. Патона въ его печатныхъ возраженіяхъ къ «какимъ-то силамъ пружинности» достаточно объясняется тѣмъ, что онъ ихъ не понялъ. По величинѣ онѣ равны поперечнымъ силамъ, но кромѣ существенной разницы въ ихъ родѣ, онѣ по знаку обратны поперечной силѣ, и если г. Патонъ приложитъ къ узламъ фермы въ качествѣ фиктивной узловой нагрузки силы $Q$ по чертежу 1 его статьи, какъ онъ это рекомендуетъ, то это будетъ *какъ разъ невѣрно.* Въ пониманіи этихъ силъ не помогъ ему и Франке, который, оказывается, еще въ 1898 году трактовалъ объ нихъ съ отличною «ясностью и простотою» въ противоположность моему «довольно искусственному изложенію». Нужно удивляться, что г. Патонъ и послѣ такой удобной работы Франке не задумался надъ результатами своихъ разсчетовъ двухраскосной фермы, произведенныхъ въ 1901 году.

Г. Патонъ нашелъ, какъ сказано, въ моемъ разсчетѣ «основную ошибку», что дало ему случай сказать нѣсколько весьма «изящныхъ» фразъ въ характеристикѣ моей работы.

Когда г. Патонъ для разсчета ослабленія заклепками растянутой полосы примѣнилъ формулу сложнаго сопротивленія, то ясно, что это была *основная* ошибка его ученаго трактата, вслѣдствіе которой трактатъ потерялъ всякій смыслъ.

Когда г. Патонъ примѣнилъ къ разсчету двухраскосной фермы съ жесткими узлами способъ Мора, въ которомъ не принято во вниманіе существованіе силъ пружинности, то получилъ такую деформацію фермы, при которой силы пружинности *въ нѣсколько разъ превосходятъ* фактическую узловую нагрузку [1]). Несомнѣнно, что опрометчивое примѣненіе совершенно непригоднаго въ данномъ случаѣ способа Мора было *основной* ошибкой г. Патона, вслѣдствіе которой сдѣланный имъ огромный разсчетъ потерялъ всякую цѣну, съ чѣмъ и соглашается г. Патонъ въ разсматриваемой нами статьѣ, такъ какъ ищетъ въ ней другихъ точекъ опоры противъ двухраскосныхъ фермъ, а въ отношеніи дополнительныхъ напря-

---

[1]) § 13 моей статьи: „Вліяніе жест. узловъ“, № 1 „И. Д.“ 1904 г.

женій отъ жесткости узловъ ссылается не на свою работу, а на мою (стр. 87, лѣвый столбецъ).

Ошибка, проскользнувшая въ моемъ разсчетѣ, состоитъ въ слѣдующемъ. Силы пружинности я принялъ за дополнительную нагрузку фиктивной шарнирной фермы. Въ результатѣ разсчетовъ для средняго узла верхняго и нижняго поясовъ я получилъ величину силъ пружинности +2,50 тон. и —3,22 тон. вмѣсто +3,28 и —5,18 т. (около этого). Вслѣдствіе этого я принялъ въ качествѣ *разсчетной* нагрузки на средній узелъ фиктивной фермы 21,28 тонны *вмѣсто 18,54 тонны*. Вся же нагрузка фермы оказалась равною 179,76 т. вмѣсто 177 т. Нагрузка оказалась *преувеличенной* на 1,5%.

Конечно, это ошибка. Но какое значеніе ошибка въ нагрузкѣ въ 1,5% имѣетъ въ нашемъ разсчетѣ, по существу приблизительномъ; начало моего разсчета опирается на *совершенно произвольно* выбранное численное значеніе узлового момента изъ двухъ имѣющихся въ разсчетахъ г. Патона, что вытекало изъ предположенія о шарнирномъ прикрѣпленіи рѣшетки фермы. Только въ спеціальныхъ видахъ можно возвести эту ошибку въ «основную», ибо въ этихъ случаяхъ имѣется въ виду не выясненіе истины, а полученіе апплодисментовъ «почтеннѣйшей публики».

Я получилъ совершенно достаточную точность, чтобы показать въ какихъ условіяхъ находятся двухраскосныя фермы и отчего онѣ не разрушаются, какъ то слѣдовало бы по разсчетамъ г. Патона. Я искалъ характеристики фермы, а не точныхъ цифръ во что бы то ни стало для частнаго случая. Въ разсматриваемомъ вопросѣ точныя цифры могутъ быть получены по указаннымъ мною способамъ, но цѣною огромнѣйшихъ вычисленій, непосильныхъ одному лицу. Но чтобы выяснить вопросъ, имѣемъ ли мы дѣло съ сотнями % доп. напряженій или только съ десятками, для этого полученные мною результаты достаточно точны. Кромѣ того, разсчетомъ одной фермы вопросъ не исчерпывается; большое значеніе имѣетъ величина панели двухраскосныхъ и многораскосныхъ фермъ. Для фермъ большого пролета и съ небольшими панелями можно ожидать не 74%, а 20—30%, тогда какъ при разсчетѣ по способу Мора сотни процентовъ возрасли бы до тысячъ.

Вотъ характеръ открытой г. Патономъ «основной ошибки» моихъ разсчетовъ.

Г. Патону незачѣмъ разбираться въ казусѣ съ ариѳметической ошибкой: не въ интересахъ задачи. Достаточно того, что она есть и того, что для ея уничтоженія надо пересчитать: 1) истин-

ныя продольныя усилія, 2) основныя напряженія, 3) прогибы узловъ. «Безъ этого трудно сказать, послужитъ ли замѣченная ошибка въ пользу или во вредъ двухраскосной фермы» (стр. 83, лѣв. столбецъ).

Не говоря уже о томъ, что даже отъ колоссальныхъ ошибокъ г. Патона никакого вреда (ни пользы) ни одна двухраскосная ферма не получила, не говоря объ этомъ, достаточно указать, что нагрузка средняго узла у меня благодаря ошибкѣ *преувеличена*, чтобы ясно было всякому серьезно разсуждающему въ научной области человѣку, какіе результаты повлечетъ исправленіе ошибки. По относительной же величинѣ ошибки въ нагрузкѣ легко судить о величинѣ ошибки въ результатахъ.

«Разсчеты инж. Передерія, говоритъ инж. Патонъ, — страдая *недостаточною строгостью и полнотою*, не позволяютъ сдѣлать *окончательнаго* вывода о двухраскосныхъ фермахъ», и т. д.

Оказывается, если бы я сдѣлалъ точный разсчетъ, то г. Патонъ изготовилъ бы «окончательный выводъ». Можно позавидовать легкости, съ какою даются г. Патону «окончательные выводы» изъ примѣровъ. Тамъ, гдѣ другой неповоротливый ученый потребовалъ бы десятка и сотни «случаевъ», нашему весьма подвижному профессору достаточно одного такого случая. Но требуется непремѣнно *строго* и *точно* изслѣдованный случай.

Комично звучитъ это требованіе въ устахъ автора 293%. Отсутствіе даже намека на строгость и точность не помѣшали г. Патону сдѣлать въ диссертаціи довольно «окончательные» выводы.

«Примѣненіе точнаго способа Франке далеко не такъ просто, какъ идея самого способа», говоритъ г. Патонъ. «Для упрощенія разсчетовъ приходится дѣлать допущенія, *соблюдая, однако, большую осторожность, чтобы не исказить грубо результаты. Общепринятое* допущеніе заключается въ пренебреженіи вліяніемъ поперечныхъ силъ $Q$ для всѣхъ элементовъ фермы» (стр. 80, прав. столб.)

Нельзя не согласиться съ г. Патономъ, что, дѣлая допущенія, надо соблюдать большую осторожность, чтобы не исказить грубо результаты. Въ томъ, что грубое искаженіе результатовъ ведетъ, иногда, къ нѣкоторымъ чувствительнымъ неудобствамъ, можно повѣрить г. Патону, какъ лицу вполнѣ компетентному въ этомъ.

Что же касается *общепринятаго* пренебреженія силами пружинности, то это указываетъ на то, что благодаря подсчетамъ Винклера никому и въ голову не приходило опасаться послѣдствій пренебреженія силами пружинности. А г. Патону не пришло это

въ голову и послѣ упомянутой имъ работы Франке. Для простыхъ системъ эти силы малы. Но никто не рѣшится завѣдомо пренебречь силами пружинности, когда онѣ будутъ, какъ въ разсчетахъ г. Патона, въ *нѣсколько разъ* превосходить заданную нагрузку узла. То, что г. Патонъ можетъ относить обсуждаемое обстоятельство къ «общепринятому» показываетъ только, что вопросъ о силахъ пружинности не былъ изслѣдованъ и что г. Патонъ хочетъ укрыться подъ сѣнью громкихъ европейскихъ именъ, работавшихъ надъ вопросомъ.

Во всякомъ случаѣ, чѣмъ крѣпче держалось заблужденіе, тѣмъ болѣе чести, тому кто его раскрылъ. Мы увѣрены, что даже г. Патонъ, при всемъ его преклоненіи передъ «общепринятымъ» не рѣшится теперь разсчитывать вліяніе жесткихъ узловъ на двухраскосную ферму такъ, какъ онъ разсчитывалъ. Мало того, мы видимъ, что онъ теперь и всѣмъ своимъ духовнымъ потомкамъ заказываетъ быть осторожнѣе, чтобы не исказить грубо результаты.

Очевидно объ общепринятомъ скромно сказано въ извиненіе нѣкоторой неосторожности въ допущеніяхъ г. Патона. Онъ получилъ «грубое искаженіе», но дѣйствовалъ при этомъ по общепринятымъ пріемамъ. А вотъ «инж. Передерій, вводя въ разсчетъ силы $Q$ (имъ обратныя), относящіеся къ поясамъ, пренебрегаетъ для раскосовъ и стоекъ *не только силами $Q$, но и дополнительными моментами*». Съ этимъ г. Патонъ не можетъ мириться и говоритъ: «Такое допущеніе мнѣ кажется *слишкомъ грубымъ* для фермъ съ пареллельными поясами» и т. д.

Во-первыхъ, пренебречь для раскосовъ силами пружинности одно и то же, что пренебречь моментами на ихъ концахъ; и если г. Патонъ этого не понимаетъ, то это еще одинъ примѣръ въ подтвержденіе того, насколько онъ усвоилъ смыслъ и значеніе «такъ называемыхъ» силъ пружинности.

Во-вторыхъ въ таблицѣ № 5 своей работы я показалъ, что для *преувеличенной въ нѣсколько разъ* деформаціи фермы по разсчету г. Патона силы пружинности въ концахъ раскосовъ достигаютъ наибольшей величины 0,22 тонны и дѣйствуютъ не вертикально, тогда какъ въ поясахъ достигаютъ величины 9,31 тон. Силы пружинности стоекъ равны 0,52 т., но онѣ дѣйствуютъ вдоль поясовъ и являются ничтожными по сравненію съ 68 т. усилія въ крайней панели пояса и 140 т. въ средней. *На основаніи подробнаго анализа* я пришелъ на 23 стр. къ заключенію, что для фермы, о которой идетъ рѣчь, *можно свободно пренебречь силами пружинности рѣшетки.*

Нужно быть г. Патономъ, чтобы, по пословицѣ, обжегшись на молокѣ, такъ сильно дуть на воду, и не только самому дуть, но и съ глубокомысленнымъ видомъ «профессора» учитъ и другихъ дуть съ такимъ же усердіемъ: автору 293% мои разсчеты «кажутся» слишкомъ грубыми.

Нужно обладать большимъ самомнѣніемъ, чтобы докладывать читателю о томъ, что при такихъ условіяхъ автору «кажется».

На стр. 83 г. Патонъ еще разъ напираетъ на это мое допущеніе: «Считаю необходимымъ отмѣтить *полное* отсутствіе въ работѣ инж. Передерія *указаній на условія* работы рѣшетки». Такъ какъ это заявленіе было бы необъяснимымъ даже въ смыслѣ «кажущихся» явленій, ибо таблица 5-я и къ ней относящееся у меня напечатаны чернымъ на бѣломъ, то г. Патонъ переводитъ эту фразу «вольнымъ» слогомъ немедленно же такъ: «т.-е. на *дополнительныя напряженія* раскосовъ и стоекъ, которыя *могутъ получиться* довольно значительными» и т. д.

Не отрицаю, что *можетъ* кое-что и тамъ получиться, но, я полагаю, всякому автору изслѣдованій позволительно брать на себя только рѣшенія тѣхъ задачъ, которыя его интересуютъ. Въ двухраскосныхъ фермахъ по «изслѣдованіямъ» г. Патона оказались въ опасности главнымъ образомъ *пояса*. Ими я и интересовался.

Охотно предоставляю г. Патону «строгій и точный» разсчетъ двухраскосной фермы, благо у него и способъ есть, тому вполнѣ соотвѣтствующій. Мнѣ этотъ способъ представляется изъ области «кажущагося» г. Патону; примѣненіе его можетъ привести къ соотвѣтственнымъ тоже кажущимся результатамъ, но г. Патонъ сумѣетъ ихъ утилизировать, въ качествѣ матеріала для сравненій (см. ниже).

Объ этомъ способѣ онъ заявилъ на стр. 81. Найдя мой способъ «крайне сложнымъ» онъ говоритъ, что имѣя полный разсчетъ по способу Мора, ту же задачу можно рѣшить «гораздо проще и точнѣе». А именно: «для заданной фактической нагрузки разсчитать всѣ концевые дополнительные (и такіе моменты есть у г. Патона) моменты; по этимъ моментамъ разсчитать поперечныя силы $Q$ или силы пружинности; по силамъ $Q$ разсчитать добавочныя нагрузки $p$ всѣхъ узловъ", опредѣлить разсчетныя узловыя нагрузки, ввести въ таблицу, имѣющуюся въ работѣ г. Патона, опять опредѣлить моменты, потомъ $Q$, и т. д. «Опытъ показалъ, что послѣ 4-й подстановки можно окончательно установить искомыя значенія моментовъ».

Итакъ, г. Патонъ сдѣлалъ опытъ *точнаго* рѣшенія задачи; имѣя этотъ опытъ, г. Патонъ распространяется о моей просто вскрывающейся ошибкѣ на цѣлой страницѣ въ 2 столбца; говоритъ о томъ, что безъ исправленія «трудно сказать: послужитъ ли замѣченная ошибка въ пользу или во вредъ» фермѣ; печалуется, что мои разсчеты «не позволяютъ сдѣлать окончательнаго вывода»; *допускаетъ* даже, что «результаты мало измѣнятся (81 стр., лѣвый столб. внизу) при болѣе строгомъ разсчетѣ»; и все это, имѣя опытъ точнаго рѣшенія.

Вполнѣ, конечно, естественно задать себѣ вопросъ: отчего же вмѣсто всего вышеуказаннаго г. Патонъ не привелъ результатовъ своего «опыта»?

Что же касается способа г. Патона, то онъ и мнѣ улыбался, но я замѣтилъ, что это только кажущійся способъ и не счелъ даже нужнымъ говорить о немъ.

Въ самомъ дѣлѣ.

Фактическая нагрузка узловъ задана такая (по порядку узловъ):
+20,12 +15,62 +27,42 +13,62 +27,42 +9,62 +8,42 +15,12 +11,02.

Плюсъ означаетъ дѣйствіе внизъ.

Вслѣдствіе перераспредѣленія этой нагрузки жесткостью поясовъ, мы послѣдовательными приближеніями должны подойти почти къ равномѣрной нагрузкѣ.

Между тѣмъ во второй фазѣ разсчетная нагрузка по „способу г. Патона“ будетъ (см. табл. 5 величину силъ пружинности):
+13,98 +28,60 +3,49 +46,31 —8,60 +40,66 —1,90 +25,97 +7,07.

Не ясно ли, что мы идемъ *отъ* поставленной цѣли.

Если первая неточная разсчетная нагрузка дала намъ невозможную деформацію, то вторая приводитъ къ еще болѣе невозможной съ обратнымъ перемѣщеніемъ относительно другъ друга узловъ. Этотъ способъ пригоденъ только для простыхъ системъ рѣшетокъ.

Если „опытъ“ г. Патона удаченъ и онъ только изъ скромности не приводитъ его въ качествѣ рѣшительнаго довода противъ моихъ разсчетовъ, то не есть ли этотъ опытъ продуктъ неправильнаго пониманія силъ пружинности въ ихъ знакахъ? Или результаты „опыта“ не опровергаютъ, а подтверждаютъ мои разсчеты?

Настоящая замѣтка разрастается, а потому укажемъ еще только на одинъ пунктъ изъ возраженія г. Патона. Какъ ни грубы кажутся г. Патону мои разсчеты, но все же ихъ нельзя было, повидимому, достаточно основательно уничтожить даже для виду. Г. Патонъ тогда заявляетъ: Допустимъ, что они близки къ

истинѣ, все же „нельзя не признать, что для цѣли практики они будутъ имѣть сравнительно небольшое значеніе, такъ какъ они будутъ относиться къ *наивыгоднѣйшему случаю вполнѣ исправнаго дѣйствія фермы* (курсивъ г. Патона), каковое нельзя считать нормальнымъ въ силу крупныхъ недостатковъ, присущихъ двухраскоснымъ и имъ подобнымъ фермамъ“ (стр. 83).

Послѣ этого излагаются недостатки двухраскосныхъ фермъ, вытекающіе изъ конструкціи ихъ и условій сборки, съ предположеніемъ даже, что имѣются плоскіе раскосы, которые подвергаются сжатію и съ указаніями о послѣдствіяхъ такого обстоятельства.

Г. Патонъ желалъ бы видѣть разсчеты не для „исправно дѣйствующихъ фермъ“, являющихся „ненормальными“ на практикѣ, а для фермъ со всевозможными отступленіями отъ *исправнаго* вида. Хотя это и не вяжется съ готовностью г. Патона сдѣлать обобщенія изъ одного случая, такъ какъ требуетъ уже разсмотрѣнія массы случаевъ изъ области неисправнаго, тѣмъ не менѣе это желаніе г. Патонъ выражаетъ, и въ этомъ только случаѣ склоненъ видѣть практическое значеніе теоріи. Съ другой стороны позволительно поставить вопросъ:

Зачѣмъ же г. Патонъ дѣлалъ свой невѣрный разсчетъ для „исправной фермы“.

Г. Патонъ искренно, повидимому, полагаетъ, что фермы съ простыми рѣшетками всегда „исправны“ въ смыслѣ первоначальныхъ напряженій отъ неточности сборки. Объ исправности въ конструктивномъ отношеніи не будемъ говорить, это, очевидно, описка. Ему незнакомы, повидимому, работы проф. Vierendeel'я, въ которыхъ тотъ, защищая безраскосныя фермы, учитываетъ *недостатки треугольныхъ* системъ, являющіеся слѣдствіемъ жесткости узловъ. Жесткій узелъ столь солидная связь, что можетъ замѣнить раскосъ извѣстной силы, и вноситъ, поэтому, ту же неопредѣленность въ состояніе первоначальнаго натяженія частей, какую вносятъ и лишніе раскосы.

Но объ этомъ не стоитъ распространяться. Серьезно возражать на статью г. Патона нельзя. У насъ другая задача: констатировать элегантную гибкость и подвижность ученой фигуры г. Патона.

Закончимъ исповѣдью г. Патона о грѣхѣ, слѣдствіемъ котораго явился его трудъ о жесткихъ узлахъ.

„Сознавая условности моихъ разсчетовъ, я счелъ своимъ долгомъ перечислить всѣ тѣ обстоятельства, которыми пренебрегалось въ разсчетахъ и, конечно, не упустилъ указать на вліяніе

поперечной силы (?!) Приводя результаты разсчетовъ, я не могъ разсматривать ихъ какъ абсолютно точные, а интересовался ими относительно, какъ *матеріаломъ для сравненія разныхъ фермъ*".

Такъ какъ результаты инж. Патона нельзя назвать даже „грубыми", они совершенно невозможны, то спрашивается: какіе выводы можно получить *сравненіемъ* невѣрно представляемыхъ вещей? Затѣмъ, г. Патонъ „конечно, не упустилъ указать" на вліяніе силъ $Q$. А именно, онъ указалъ, что ими *можно пренебречь*, когда какъ разъ въ его фермѣ это оказалось *невозможнымъ* дѣлать... Это называется «сознавать условности разсчетовъ».

Нужно быть профессоромъ въ *Россіи*, чтобы не безъ основательной надежды на успѣхъ выступать въ печати съ такими объясненіями, разсчитывая на скромность русскихъ читателей и почтительное ихъ отношеніе къ званію, благодаря которымъ, какъ видѣли, г. Черепашинскій пошелъ еще дальше г. Патона и не безъ успѣха.

Какъ ни скучно, я долженъ дать хотя бы самый краткій отчетъ и о другой статьѣ г. Патона.

Характеръ ея совершенно одинаковъ съ выше разсмотрѣнной статьей. Та же бутафорская ученость, тотъ же бутафорскій блескъ, а суть статьи сводится къ усиліямъ замаскировать ложный шагъ. Выясненіе истины и истиннаго смысла разсужденій—это что то очень далекое, неудобное даже. Главное—передъ многоуважаемымъ читателемъ показать себя во всей силѣ. Читатель готовъ помириться, повидимому, съ какимъ угодно жалкимъ суррогатомъ науки, благо большинство ихъ и не подозрѣваетъ, что даютъ ему иные „ученые", до какихъ предѣловъ можетъ доходить ихъ „свободная" отъ стѣсненій мысль.

Если это не вѣрно, читатель не долженъ молчать и тѣмъ поощрять подобныя явленія въ нашей технической литературѣ.

Въ § 70 своего „курса мостовъ" г. Патонъ привелъ разработанную имъ, по идеѣ проф. Соловьева, теорію ослабленія сѣченій дырами, изложеніе основной части которой сдѣлано въ слѣдующихъ дословныхъ выраженіяхъ:

„Повѣряя (полосу) по ломаному сѣченію *обыкновенно не дѣлаютъ различія* между сопротивленіемъ листа по плоскостямъ нормальной къ направленію внѣшней силы или наклонной къ ней.

„*Уменьшеніе* сопротивленія наклонной плоскости можетъ быть учтено слѣдующимъ образомъ:

„Разсмотримъ наклонный элементъ $\omega$ *между двумя заклепками*

и предположимъ, что на него дѣйствуетъ растягивающая сила $P$, направленная вдоль листа.

„При разсчетѣ по обычному способу (*неточному*) пренебрегается *наклоннымъ положеніемъ* элемента и условіе его прочности разрыву выводится какъ для случая дѣйствія силы $P$ нормально къ элементу, т.-е. $\frac{P}{\omega} < R$.

„*Въ дѣйствительности* напряженіе,. испытуемое элементомъ $\omega$ превышаетъ значеніе $\frac{P}{\omega}$ и *можетъ быть разсчитано по теоріи сопротивленія.* Сила $P$, дѣйствующая на элементъ $\omega$, можетъ быть разложена на составляющія $N = P \cos \alpha$ и $T = P \sin \alpha$, нормальную и касательную къ элементу $\omega$. *Въ отдѣльности* (этотъ курсивъ принадлежитъ г. Патону) силы $N$ и $T$ вызываютъ въ элементѣ напряженіе

$$n = \frac{N}{\omega} = \frac{P \cos \alpha}{\omega}$$

и касательное

$$t = \frac{T}{\omega} = \frac{P \sin \alpha}{\omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

„Отъ *совмѣстнаго дѣйствія* (курсивъ г. Патона) $\omega$ силъ $N$ и $T$ элементъ испытываетъ сложное напряженіе $\sigma$ *неопредѣленнаго направленія...*

„Какъ извѣстно изъ строительной механики воображаемое сложное напряженіе $\sigma$... отъ совмѣстнаго дѣйствія нормальнаго напряженія $n$ и касательнаго $t$ разсчитывается для изотропныхъ тѣлъ по формулѣ“:

$$\sigma = \frac{3}{8} n + \frac{5}{8} \sqrt{n^2 + 4t^2},$$

которое затѣмъ подстановкой $n$ и $t$ изъ формулъ (1) авторъ приводитъ къ виду $\sigma = \frac{P}{\omega} \psi$. Послѣ чего продолжаетъ:

«Для прочности листа необходимо, чтобы сложное напряженіе $\sigma$ не превышало напряженія $R$ на растяженіе, откуда условіе прочности

$$\sigma = \frac{P}{\omega} \psi < R.$$

«Слѣдовательно, допускаемое сопротивленіе элемента $\omega$ разрыву будетъ *по точному способу*

$$P \leqq \frac{\omega R}{\psi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (40)$$

*по приблизительному способу*

$$P \leqq \omega R \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (41)»$$

Это напечатано на стр. 323 и 324 курса.

Чтобы не было сомнѣнія въ томъ, какъ понимаетъ г. Патонъ свои выводы напряженій для «элемента ω», приведемъ выдержку изъ стр. 326.

«Сравнимъ сопротивленія листа по нормальному сѣченію $ABBA$ и по ломаному сѣченію $ABCCBA$... При нормальномъ разрывѣ по линіи $BD$ толщинѣ листа $\delta$ и діаметрѣ заклепочныхъ дыръ $d$, имѣемъ, согласно формулѣ 41, сопротивленіе

$$\delta \cdot \left(BD - \frac{d}{2}\right) \cdot R = \delta e R.$$

«При *косомъ* разрывѣ по линіи $BC$ имѣемъ, согласно формулѣ (40), сопротивленіе

$$\delta(BC + 0{,}5d - 1{,}5d)\frac{R}{\psi} = \delta\left(\sqrt{e^2 + \frac{a^2}{4}} - d\right)\frac{R}{\psi}» \cdot$$

Обращаемъ вниманіе читателя, что, ставя множителемъ величину $\frac{R}{\psi}$ (зависящую только отъ наклона косого сѣченія, и не зависящую отъ положенія элемента ω въ косомъ сѣченіи) рядомъ съ множителемъ, выражающимъ *площадь* косого сѣченія, г. Патонъ *равномѣрно распредѣляетъ напряженіе по косому сѣченію*, что разумѣлось имъ, конечно, и раньше, т.-е. напряженія $n$ и $t$ для формулы сл. сопротивленія онъ находитъ *при равномѣрномъ распредѣленіи дѣйствующей силы* на все сѣченіе полосы.

Кто сможетъ это отрицать?

Кто станетъ отрицать, что г. Патонъ излагалъ здѣсь *точную, по его мнѣнію*, теорію, когда онъ заявляетъ нѣсколько разъ объ этомъ вполнѣ опредѣленно?

Какъ увидимъ ниже, все это *теперь* отрицаетъ, не смотря на очевидность, не кто иной какъ самъ же г. Патонъ!

Это результатъ замѣтокъ моихъ и инженера Матросова [1]).

Это теперь, а тогда приведенная здѣсь теорія и побудила насъ доказывать, что формула сложнаго сопротивленія не примѣнима для равномѣрно растянутой полосы. И если ужъ создавать на почвѣ *равномѣрной* работы полосы теоріи сопротивленія полосъ

---

[1]) Извѣстія Собр. Инж. П. С. за 1904 г. № 8.

съ дырами, то проще всего предложить такую, какъ я предложилъ въ концѣ своей статьи: «Формула сложнаго сопротивленія въ случаѣ изгиба» и т. д. [1]).

Г. Патонъ сдѣлалъ азбучный, какъ онъ самъ выражается, промахъ. Неловкій, конечно, случай, для профессора, но выходъ одинъ для серьезнаго человѣка: скорѣе взять свою теорію назадъ.

Инженеръ Матросовъ, напр., заканчиваетъ свою замѣтку о теоріи г. Патона (и идеѣ проф. Соловьева) слѣдующимъ заключеніемъ: «на авторахъ, широко опубликовавшихъ свои выводы въ четырехъ отдѣльныхъ изданіяхъ лежитъ нравственная обязанность открыть и свои ошибки».

Но г. Патонъ ошибокъ не дѣлаетъ и хочетъ замаскировать смыслъ своего невѣрнаго шага. Онъ старается показать, что ошибался не онъ, а я.

Теперь г. Патонъ смотритъ на вещи такъ.

Сопротивленіе полосы съ дырами «настолько сложно, что оно не укладывается въ рамку простой формулы, и, конечно, примѣняя одну (?!) формулу сложнаго напряженія, *нельзя разсчитывать на полученіе точныхъ результатовъ*» (стр. 146). А на стр. 151 г. Патонъ еще разъ говоритъ:

«*Я далекъ отъ мысли*, что примѣненной мною формулы достаточно *для точнаго разсчета* напряженій въ растянутой полосѣ, ослабленной дырами».

Это уже нѣчто совершенно противоположное тому, что говорилось въ курсѣ для учащихся. Это уже требуетъ исправленія курса.

Какое же основаніе имѣетъ *теперь* г. Патонъ для того, чтобы примѣнять формулу сложнаго сопротивленія (для обыкновеннаго случая изгиба) къ полосѣ съ дырами? А очень простое.

Для этого теперь достаточно, по его мнѣнію, того общаго обстоятельства, что полоса съ дырами «*испытываетъ неравномѣрное растяженіе, сводящееся какъ извѣстно* (и все-то г. Патону извѣстно!) *къ совмѣстному дѣйствію изгиба и растяженія*. А разъ имѣется налицо изгибъ и растяженіе, *то не можетъ быть сомнѣнія*, (но только для профессора Патона), *въ возможности* примѣненія формулы сложнаго напряженія».

Разъ напряженіе неравномѣрное, значитъ беремъ формулу сложнаго сопротивленія для *изгиба* и будемъ подставлять въ нее $n$ и $t$,

---

[1]) Журн. Мин. П. С. за 1905 г., книга третья.

взятые для *равномѣрно растянутой* полосы. Въ томъ, что это такъ — «не можетъ быть сомнѣнія».

Какъ ни неудачно скомбинировалъ г. профессоръ это изумительное измышленіе, но все же и это не то, что напечатано въ курсѣ, тамъ ясно сказано: «Отъ *совмѣстнаго дѣйствія* силъ $N$ и $T$ элементъ испытываетъ сложное напряженіе $\sigma$», которое, затѣмъ и берется по формулѣ сложнаго сопротивленія.

Мои замѣтки доказали, что отъ совмѣстнаго дѣйствія $N$ и $T$ никакого сложнаго сопротивленія не получится, а будетъ только простое растяженіе. Теперь это для г. Патона стало «азбучной» истиной, тѣмъ лучше.

Но и новое толкованіе не выдерживаетъ самой легонькой критики.

Во-первыхъ, хотя неравномѣрное растяженіе и можно разсматривать какъ изгибъ и растяженіе, но вся бѣда въ томъ, что изгибъ въ этомъ случаѣ на основаніи теорій современной строит. механики будетъ *чистымъ*, т.-е. *безъ скалывающихъ напряженій* $t$, ибо поперечная сила равна нулю. А чистый изгибъ сводится *только* къ растяженію и сжатію. Прибавляя еще равномѣрное растяженіе, мы и получимъ только неравномѣрное растяженіе, будемъ имѣть только $n$. Для $t$ будемъ получать нуль, и формулу сложнаго сопротивленія нельзя будетъ примѣнить.

Въ этомъ безусловно «не можетъ быть сомнѣнія».

Во-вторыхъ, если бы это и былъ случай сложнаго сопротивленія въ одномъ изъ тѣхъ видовъ, для которыхъ строительная механика даетъ формулы, то все же является вопросъ: почему берется формула сложнаго сопротивленія для совмѣстнаго дѣйствія растяженія (на одной площадкѣ) и скалыванія?

Какъ опредѣлить для этойформулы $n$ и $t$?

А вотъ примѣръ непринужденности г. Патона. «Не могу не выразить удивленія, что, ознакомившись своевременно съ опытами инж. Велихова и зная о важныхъ опытахъи инженера Моберли,... инж. Передерій вынесъ изъ этого цѣннаго матеріала настолько мало, что рѣшается еще теперь настаивать (!) на равномѣрности растяженія ослабленной полосы, сводя свою критику къ ненужному доказательству... азбуки теоріи сложнаго сопротивленія».

Надо было г. Патону показать «почтеннѣйшей публикѣ» красивую фигуру «удивленія», и онъ нашелъ случай для этого.

Если человѣкъ удивляется слабости своего оппонента, то значитъ онъ силенъ.

Вмѣсто того, чтобы объяснить, почему онъ въ формулу сложнаго сопротивленія для изгиба вставляетъ $n$ и $t$, взятые для полосы, разсматриваемой равномѣрно растянутой, несмотря на то, что ему доподлинно извѣстно, что полоса работаетъ *неравномѣрно*, онъ мѣняетъ роли и удивляется, что я «настаиваю» на равномѣрной работѣ полосы съ дырами.

«Почтеннѣйшая публика» не замедлитъ резюмировать наши двѣ статьи въ томъ родѣ, что г. Передерій неудачно доказываетъ, что полоса съ дырами работаетъ равномѣрно на растяженіе, а проф. Патонъ указываетъ, что инж. Передерій мало вынесъ изъ опытовъ, изъ которыхъ непреложно слѣдуетъ, что полоса работаетъ неравномѣрно, и что вопросъ столь сложенъ, что для его рѣшенія *одной* формулы сложнаго сопротивленія не достаточно, а надо *двѣ* или *три*...

Чтобы знать о неравномѣрной работѣ полосы съ дырами, не надо быть знакомымъ съ «послѣднимъ словомъ науки» — еще къ тому же неопубликованнымъ, съ необработанными еще опытами инж. Велихова; для этого достаточно посмотрѣть стр. 387 *учебника* Феппля, тамъ могъ бы г. Патонъ найти очень много для себя интереснаго. Напр.:

«Когда діаметръ отверстія, по сравненію съ шириною сѣченія, незначителенъ»..., то «для этого случая, *распредѣленіе напряженій*, какъ то показалъ Kirsch, можетъ быть получено *точно по методамъ математической теоріи упругости*». Приводятся формулы для деформаціи, указываются формулы для перехода къ *напряженіямъ*. «Выясняется, что вытягивающее напряженіе на краю отверстія въ *три раза больше* напряженія $p$» (напряж. для равномѣрнаго случая).

«Но лишь только нагрузка стержня, ослабленнаго отверстіемъ, возрастетъ на столько, что въ наиболѣе напряженной части будетъ превзойдена граница пропорціональности, распредѣленіе напряженій *сейчасъ же измѣнится* и притомъ тѣмъ больше, чѣмъ большія получатся удлиненія наиболѣе напряженныхъ частей. Въ сильно растяжимомъ матеріалѣ распредѣленіе напряженій въ сѣченіи, проходящемъ черезъ центръ отверстія, въ концѣ концовъ *не слишкомъ отличается отъ равномѣрнаго* и потому при разрушающей нагрузкѣ вліяніе отверстія едва сказывается».

Довольно, однако. Мы не имѣемъ въ виду говорить по существу вопроса.

Что касается «азбуки», то у г. Патона мы находимъ еще такую вещь: онъ говоритъ, что я «затратилъ много пороха на совершенно

излишнее доказательство неоспоримой истины, что формула *сложнаго* сопротивленія не примѣнима для случая *простого* растяженія, что ясно безъ всякихъ доказательствъ» (стр. 141). Онъ подчеркиваетъ слова «сложнаго» и «простого» и изъ ихъ сопоставленія находитъ «ясность безъ доказательствъ». Любопытный пріемъ дѣтскаго анализа.

Что это истина «неоспоримая»—это г. Патонъ позналъ на горькомъ опытѣ, что это «азбука» — это г. Патонъ увидѣлъ изъ курсовъ строительной механики. Но что неоспоримая азбучная истина была ему ясна безъ всякихъ доказательствъ, когда онъ, будучи профессоромъ, «созидалъ» свою теорію и писалъ ее въ курсѣ — *это невѣрно.*

Г. Патонъ, очевидно, разсчитываетъ на мою скромность, выражаясь на счетъ пороху и ясности безъ всякихъ доказательствъ. Я дѣйствительно много потратилъ пороху, словесно доказывая г. Патону «неоспоримую истину», имѣя въ виду удержать его отъ напечатанія его «теоріи» въ курсѣ мостовъ, что какъ разъ тогда происходило. Я помню, какъ по моему совѣту г. Патонъ обращался къ проф. Чаплыгину съ вопросомъ: будетъ ли въ растянутой полосѣ эллипсъ напряженій или прямая линія вмѣсто него, такъ какъ я ему сказалъ, что если будетъ эллипсъ, то его «теорія» вѣрна, а если прямая линія, то невѣрна. Помню также поразившій меня возгласъ г. Патона, когда ясная безъ доказательствъ истина стала ему уясняться: «Куда же я дѣну свой курсъ, въ печку его бросить, что ли?»

Но лучше оставить сферу воспоминаній, хотя г. Патонъ упоминаніемъ о томъ, что неопубликованные опыты инж. Велихова были мнѣ «своевременно» извѣстны, и даетъ мнѣ возможность обратиться къ ней.

Никакими пріемами г. Патонъ не сотретъ то, что напечатано въ § 70 его курса, и никакими способами не удастся ему истолковать содержаніе § 70 въ смыслѣ приближенности теоріи, какъ того онъ теперь хочетъ. Единственный достойный выходъ—поставить крестъ надъ неудачнымъ измышленіемъ и обосноваться въ этомъ вопросѣ на данныхъ опытовъ, къ увеличенію числа которыхъ и направить усилія. Лучше предложить эмпирическую формулу, чѣмъ заднимъ числомъ подгонять подъ опыты какую-то вздорную теорію.

Цѣль затраты мною пороха достигнута. Не говоря о читателяхъ, которымъ дана была возможность судить о «теоріи» г. Патона, и самъ авторъ ея такъ или иначе долженъ былъ признать ее несостоятельной, и печатно далъ возможность судить о томъ.

Теперь онъ опирается на опыты, стараясь придать своей «теоріи» видъ чего-то приближеннаго. Но г. Патону всякій студентъ можетъ задать вопросъ: почему же, г. профессоръ, примѣняя формулу сложнаго сопротивленія вы изволите брать величины $n$ и $i$ по формуламъ для равномѣрно работающей полосы?

Большое удовольствіе доставилъ я г. Патону своимъ предложеніемъ учесть сопротивленіе растянутой полосы по косому сѣченію, введя въ разсмотрѣніе скалываніе. Конечно, защищать свое предложеніе я не стану. Я сдѣлалъ его только въ видѣ элементарныхъ соображеній, напрашивающихся само собой съ точки зрѣнія разсмотрѣнія полосы съ дырами равномѣрно-работающей, на которой г. Патонъ стоялъ въ предложенной имъ теоріи, и отъ которой онъ теперь открещивается, несмотря на улики въ курсѣ. Съ этой точки зрѣнія оно разумно въ противоположность нелѣпой во всѣхъ отношеніяхъ «теоріи» г. Патона, хотя, конечно, и не вѣрно. Я не для студентовъ писалъ, а потому могъ и не дѣлать оговорокъ, понятныхъ уже грамотному человѣку.

Очень радъ, что кромѣ невольныхъ огорченій доставилъ почтенному «ученому» и нѣкоторое удовольствіе.

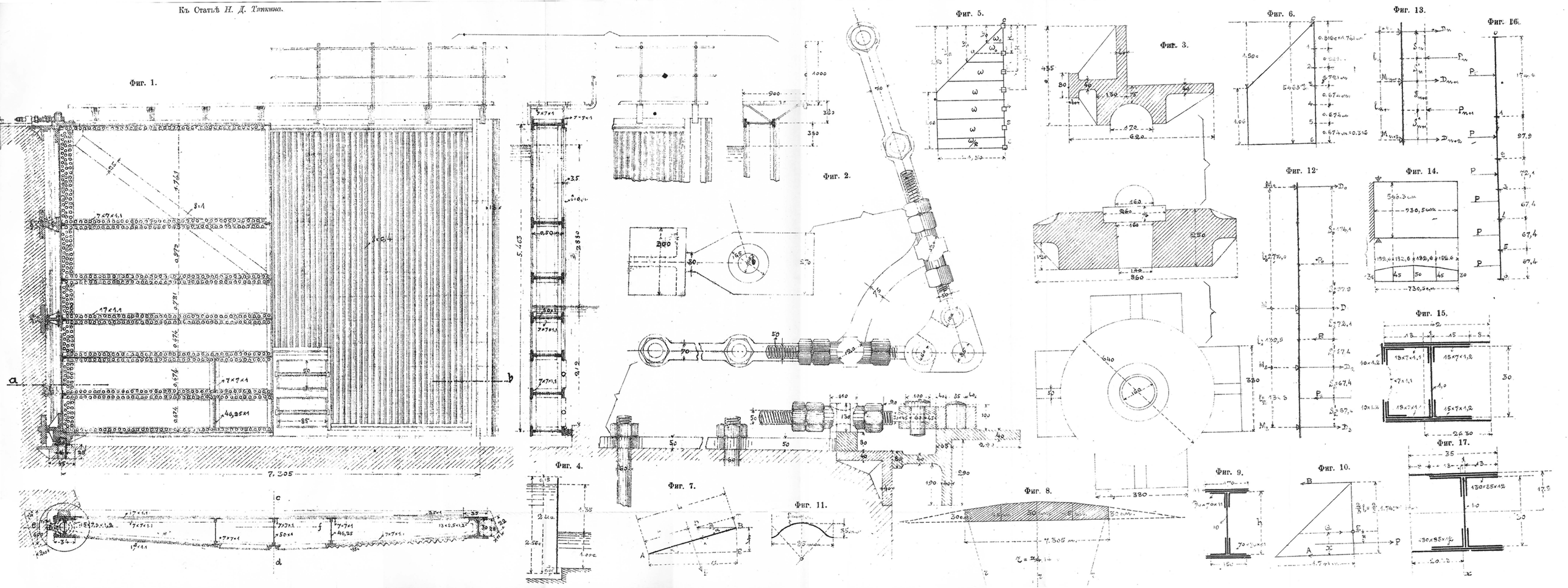
Да и вообще «полемика» наша съ нимъ заканчивается, повидимому, къ обоюдному удовольствію. И я доволенъ, что рѣшеніе научнаго спора г. Патонъ перенесъ изъ области «дипломатіи» на страницы журналовъ. Возможно, что онъ не такъ хорошо разсчиталъ печатное воздѣйствіе, какъ было разсчитано полицейское воздѣйствіе; это послѣднее, хотя и является несовершеннымъ методомъ выясненія истины, можетъ дать иному уязвленному «ученому» полное душевное удовлетвореніе. Главное несовершенство этого метода заключается въ томъ, что онъ требуетъ нѣкоторыхъ спеціальныхъ условій общежитія, которыя даже для Россіи не вѣчны. Скоро у насъ будетъ академическая свобода, профессорскіе суды. Есть возможность предполагать, что даже Инженерное училище получитъ возможность соблюдать достоинство при разрѣшеніи столкновеній на научной почвѣ между членами его личнаго состава. Не хорошее это будетъ время для ученыхъ, владѣющихъ полицейскимъ методомъ, но что подѣлаешь, останется примириться и приспособиться къ новымъ условіямъ. Можетъ быть печатныя возраженія г. Патона и являются его первыми шагами въ новомъ направленіи.

*Г. Передерій.*

16 іюня 1905 г.
Москва.

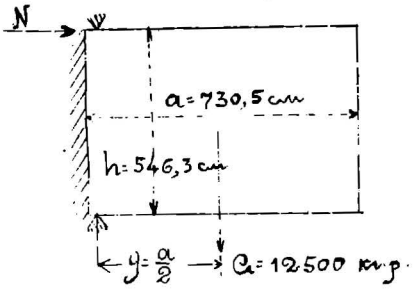
Отвѣтственный редакторъ Г. Передерій

Къ Статьѣ *Н. Д. Тяпкина.*

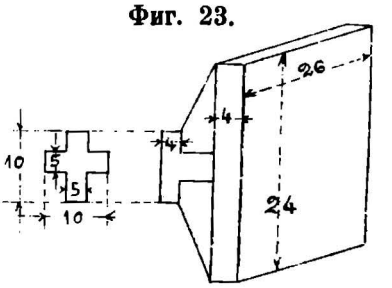


Къ Статьѣ *Н. Д. Тяпкина.*

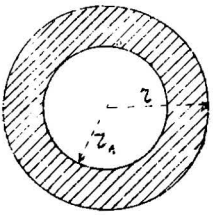
**Фиг. 18.**



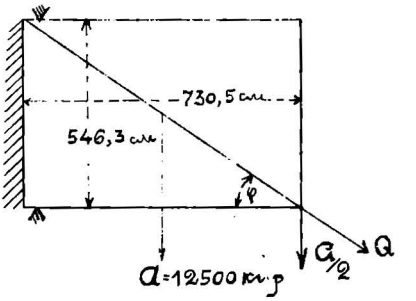

**Фиг. 23.**



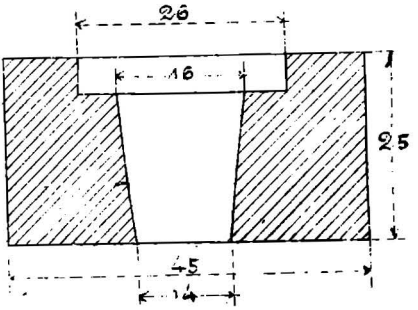

**Фиг. 19.**



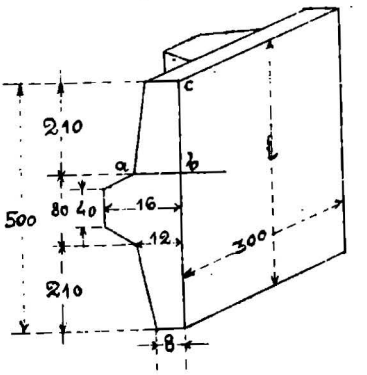

**Фиг. 21.**



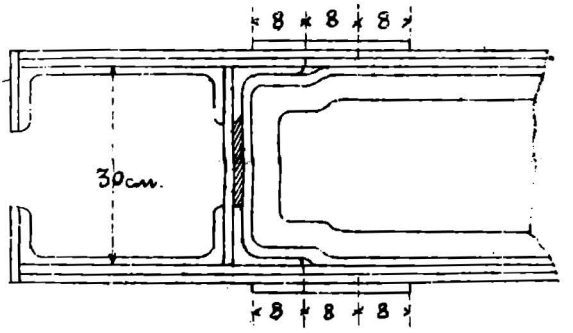

**Фиг. 20.**



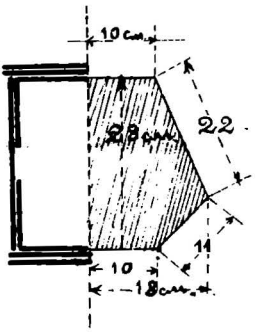

**Фиг. 22.**

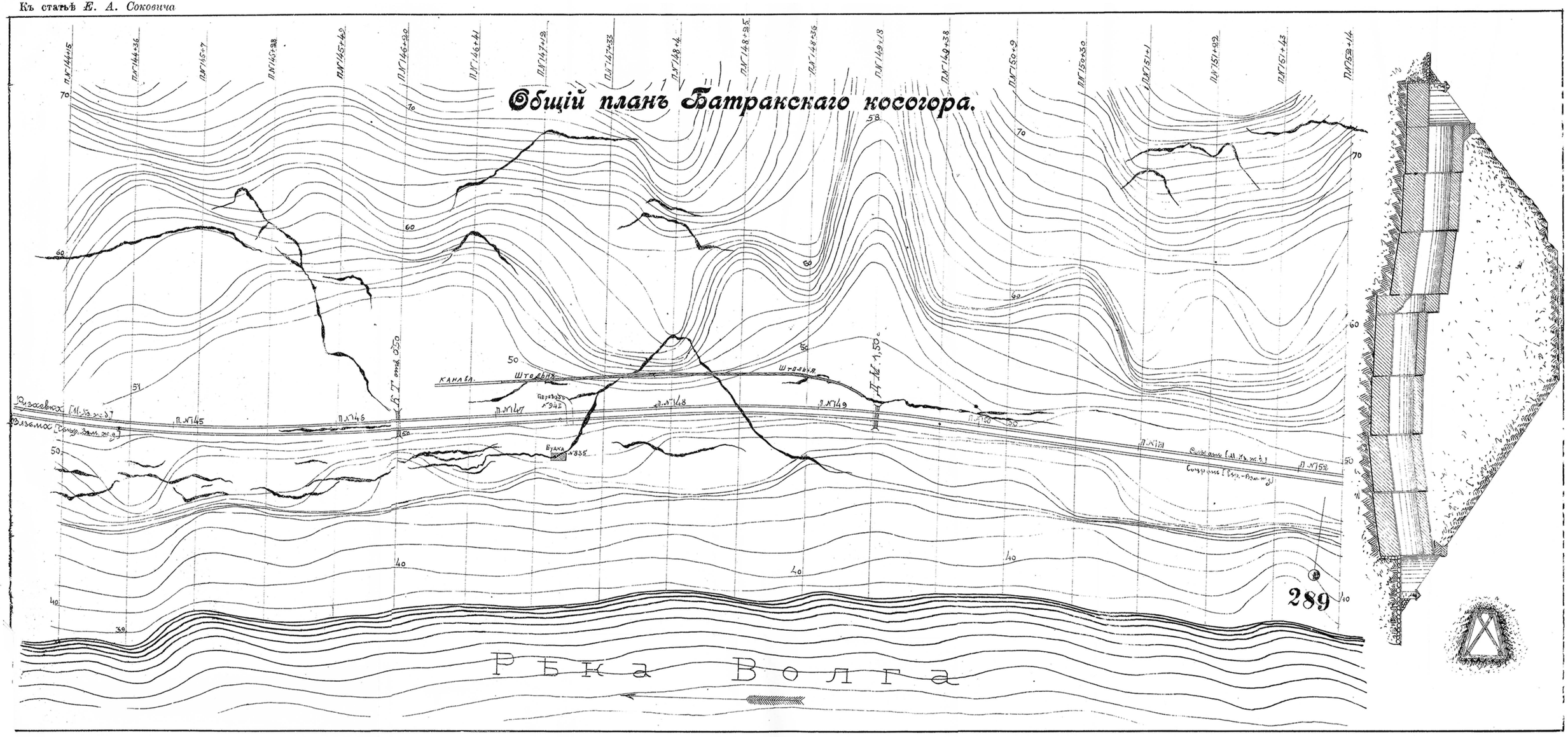



**Фиг. 24,**

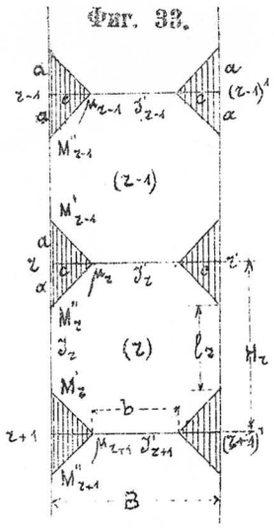



**Фиг. 25.**

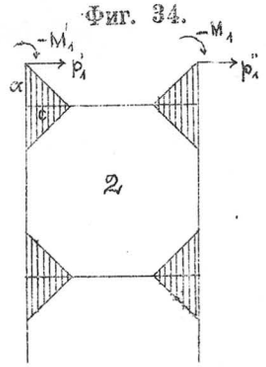



Общій планъ Батракскаго косогора.
П.№144+15
П.№144+36
П.№145+7
П.№145+38
П.№145+42
П.№146+20
П.№146+41
П.№147+12
П.№147+33
П.№148+4
П.№148+25
П.№148+36
П.№149+13
П.№149+38
П.№150+9
П.№150+30
П.№151+1
П.№151+92
П.№151+43
П.№152+14
Б.Т. отм. 0,50
Д.М. 1,50
Канавка
Штольня
Штольня
Перевязь №342
Будка №355
П.№145
П.№146
П.№147
П.№148
П.№149
П.№150
П.№151
П.№152
Рѣка Волга
289

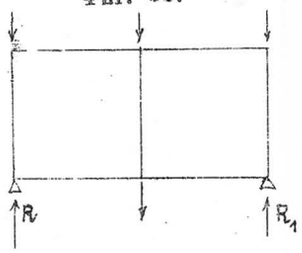
Фиг. 33.



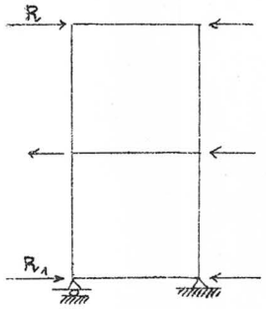
Фиг. 34.



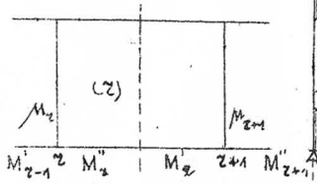
Фиг. 35.



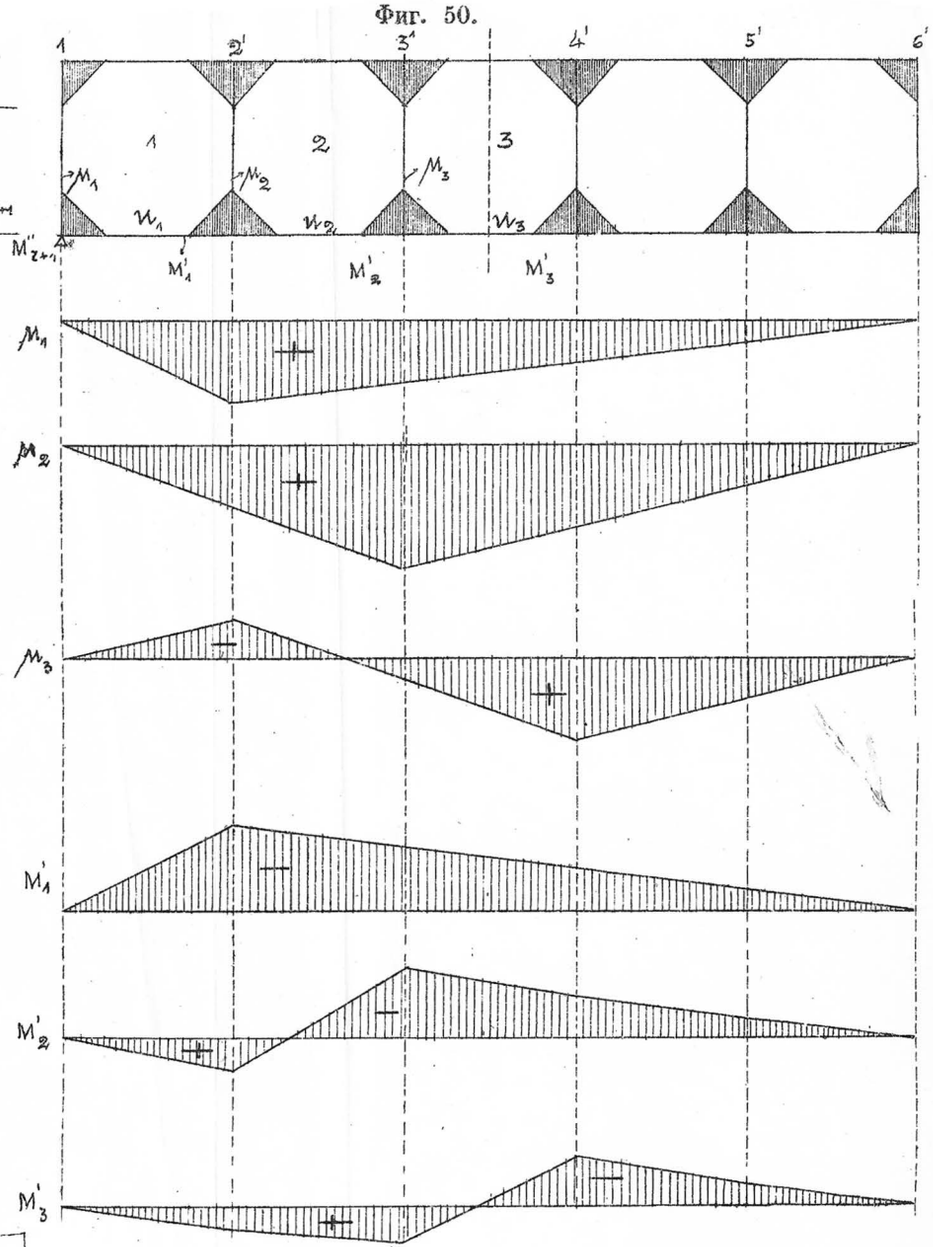
Фиг. 36.



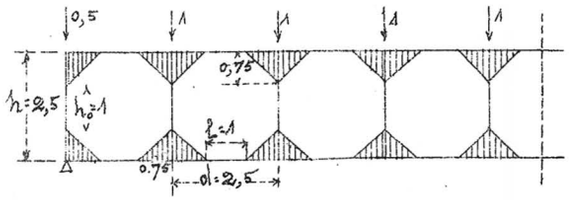
Фиг. 37.



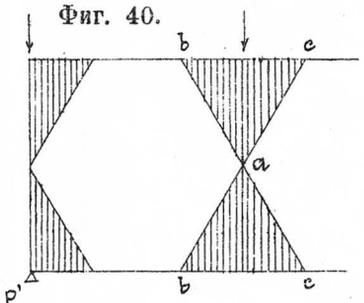
Фиг. 50.



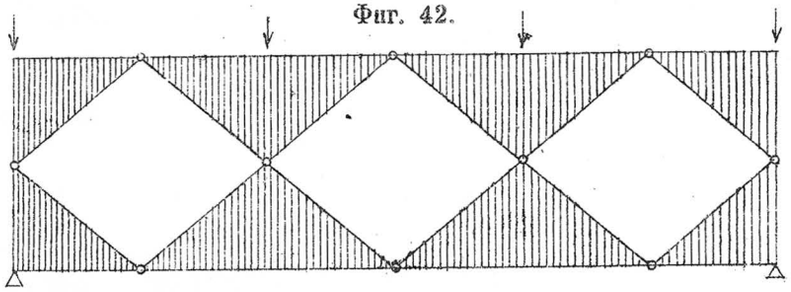
Фиг. 39.



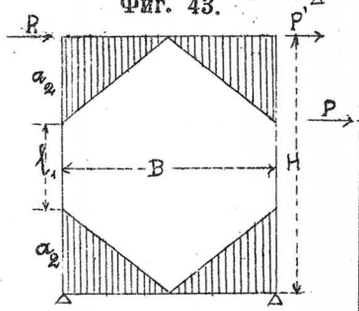
Фиг. 40.



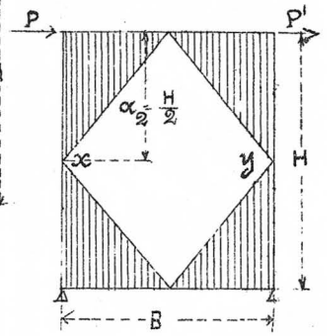
Фиг. 42.



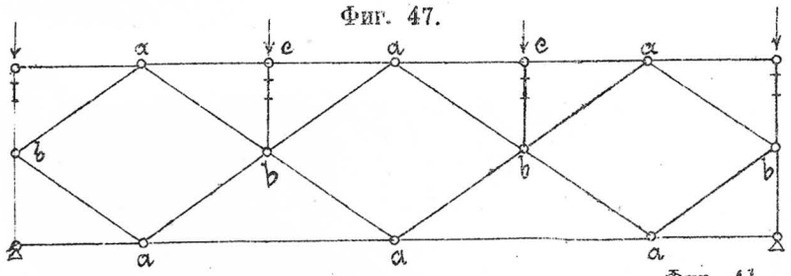
Фиг. 43.



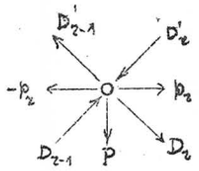
Фиг. 44.



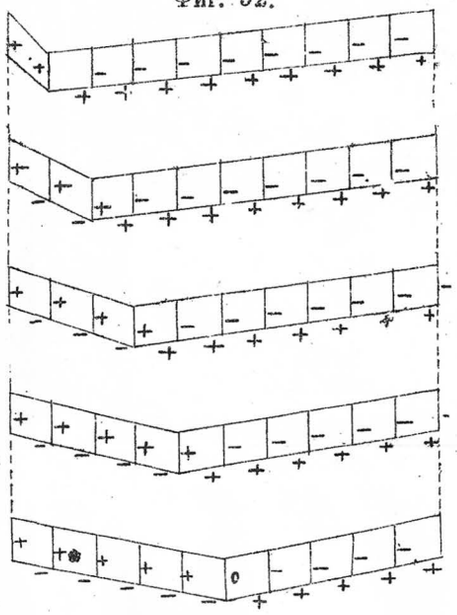
Фиг. 47.



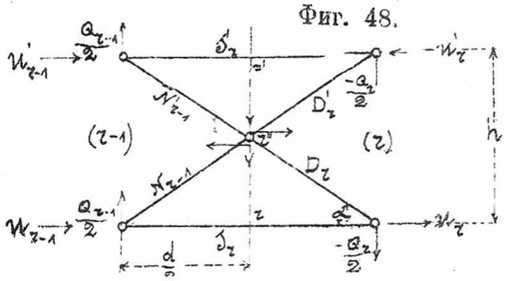
Фиг. 49.



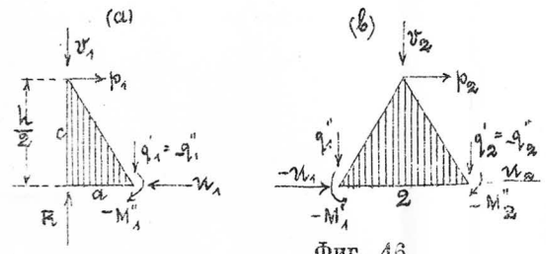
Фиг. 52.



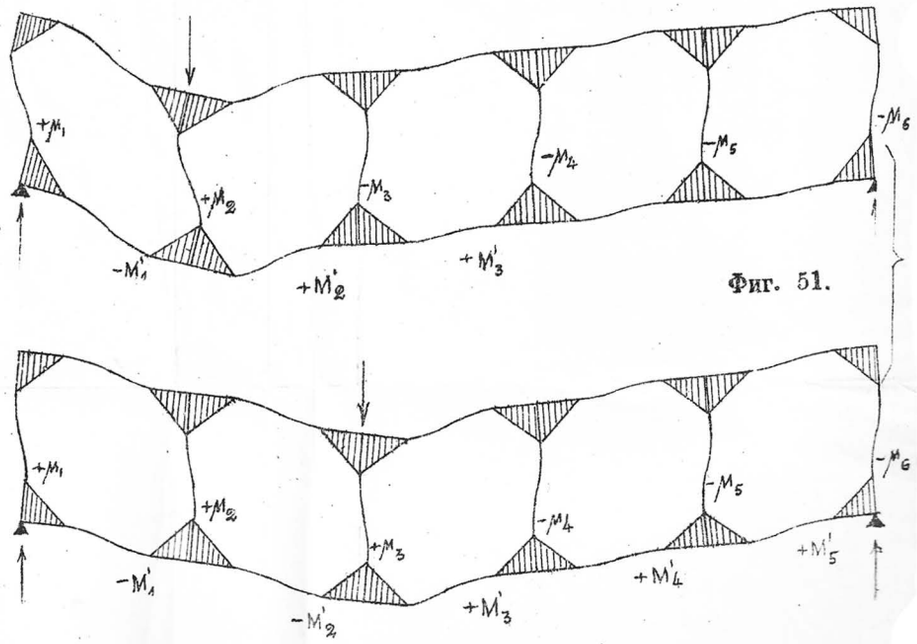
Фиг. 48.



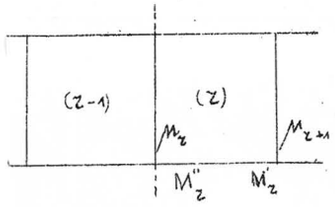
Фиг. 41.



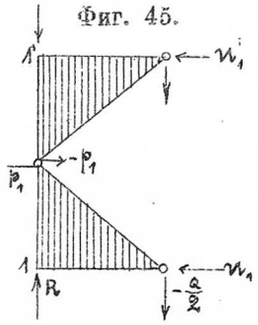
Фиг. 51.



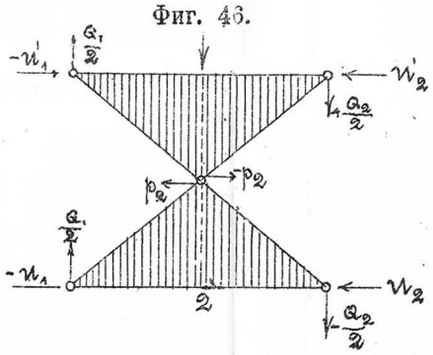
Фиг. 38.



Фиг. 45.



Фиг. 46.



Сканировал Журавлев Е. А.