6

Д. П. Рузскій

Ордин. профессоръ Кіевскаго Политехническаго Института.

ТЕОРІЯ СТРУЙНЫХЪ АППАРАТОВЪ.

Составлено по **Цейнеру**.

КІЕВЪ

ИЗДАНІЕ Г. К. ТАЦЕНКО.

1903.

Д. П. Рузскій

Ордин. профессоръ Кіевскаго Политехническаго Института.

ТЕОРІЯ

СТРУЙНЫХЪ АППАРАТОВЪ.

Составлено по **Цейнеру**.

КІЕВЪ.

ИЗДАНІЕ Г. К. ТАЦЕНКО.

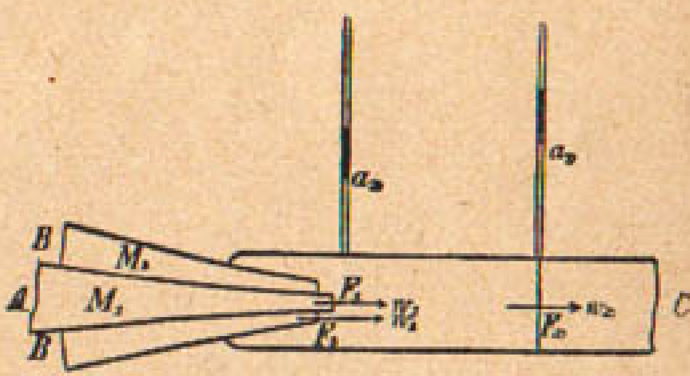
1903.

Печатано съ разрѣшенія Директора Кіевскаго Политехническаго Института.
Кіевъ, 25 Сентября 1902 года.

Кіевъ. Типографія М. М. Фиха, Большая Васильковская, № 10-й.

§ 1. Соединеніе или смѣшеніе нѣсколькихъ струй жидкостей

Положимъ, что изъ трубы или конуса A (черт. 1) вытекаетъ жидкость со скоростью w_1 чрезъ отверстіе поперечнаго сѣченія F_1 и одновременно черезъ кольцеобразный промежутокъ между трубами A и B, имѣющій въ поперечномъ сѣченіи площадь F_2, вытекаетъ изъ трубы B со скоростью w_2 и подъ другимъ давленіемъ другая жидкость. Обѣ струи поступаютъ въ замкнутую трубу C, соединяются и смѣшиваются здѣсь и, наконецъ, отъ нѣкотораго поперечнаго сѣченія F_x продолжаютъ течь уже съ общею скоростью w_x.



Черт. 1.

Пространство C между отверстіями конусовъ и поперечнымъ сѣченіемъ F_x будемъ называть *пространствомъ смѣшенія*, полагая, что на всемъ своемъ протяженіи оно представляетъ изъ себя призму.

Пусть давленіе передъ конусами будетъ равно p_x и измѣряется пьезометрической высотой a_x, а въ сѣченіи F_x p_y и измѣряется пьезометрической высотой a_y.

Задача состоитъ въ томъ, чтобы выяснить явленія въ пространствѣ смѣшенія, т. е. опредѣлить зависимость между пьезометрическими высотами a_x и a_y, скоростями w_1, w_2 и w_x и сѣченіями F_1, F_2 и F_x.

Съ отвѣтомъ на этотъ вопросъ будетъ найдено основное положеніе, при помощи котораго, въ связи съ простѣйшими уравненіями движенія жидкостей въ сосудахъ, можно будетъ изслѣдовать явленія въ цѣломъ рядѣ различныхъ аппаратовъ, извѣстныхъ подъ именемъ *струйныхъ аппаратовъ*. Вытекающая изъ конуса A струя жидкости идетъ изъ провода высокаго давленія, въ то время какъ конусъ B обыкновенно образуетъ верхній конецъ трубы, погруженной въ сосудъ съ жидкостью, которая всасывается и нагнетается первой струей.

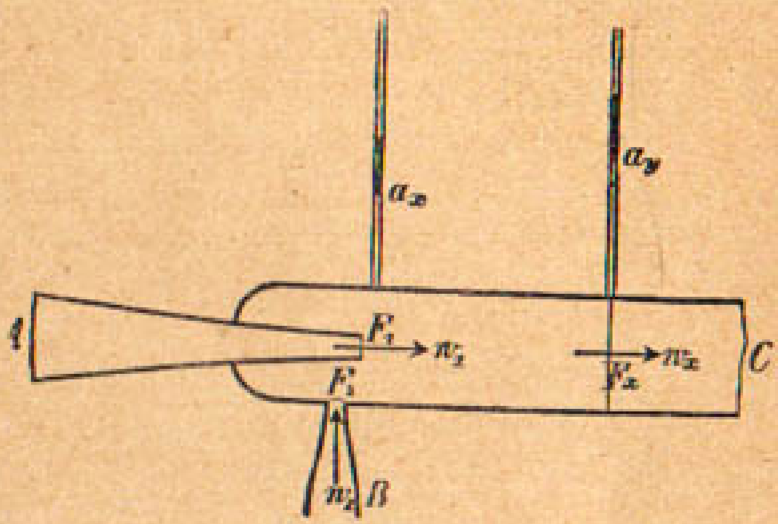
При этомъ однако слѣдуетъ имѣть въ виду два различныхъ рода смѣшенія:

Въ представленномъ на черт. 1 случаѣ оси обоихъ конусовъ и пространства смѣшенія лежатъ на одной прямой, между тѣмъ какъ у нѣкоторыхъ другихъ струйныхъ аппаратовъ оси расположены взаимно перпендикулярно и струя конуса B, слѣдовательно, поступаетъ въ пространство смѣшенія сбоку (ср. черт. 2).

Оба случая должны быть отличаемы другъ отъ друга; но и въ томъ и другомъ случаѣ изслѣдованія должны вестись въ томъ предположеніи, что жидкости передъ и послѣ смѣшенія имѣютъ точно или, по меньшей мѣрѣ, приблизительно одинаковые удѣльные объемы; слѣдовательно, никакія измѣненія плотности не имѣютъ здѣсь мѣста.

§ 2. Смѣшеніе перваго рода.

Если p_x будетъ давленіе на единицу площади въ пространствѣ смѣшенія непосредственно передъ обоими конусами, то давленіе по направленію движенія будетъ $F_x p_x$; полное давленіе въ сѣченіи F_x равно $F_x p_y$. Если масса жидкости, вытекающей изъ конуса A въ секунду будетъ M_1 и масса жидкости, вытекающей въ секунду изъ конуса B будетъ M_2, то по теоремѣ количествъ движенія легко найдемъ:



Черт. 2.

$$F_x(p_y - p_x) = M_1(w_1 - w_x) + M_2(w_2 - w_x).$$

При удѣльномъ вѣсѣ смѣси γ въ сѣченіи F_x и давленіи p_y имѣетъ мѣсто соотношеніе:

$$(M_1 + M_2)g = F_x w_x \gamma,$$

и потому изъ вышестоящаго равенства слѣдуетъ:

$$\frac{p_y - p_x}{\gamma} = \frac{w_x}{g}\left[\frac{M_1 w_1 + M_2 w_2}{M_1 + M_2} - w_x\right] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

Необходимо замѣтить, что пока γ имѣетъ упомянутое значеніе, это равенство справедливо для того случая, когда во время смѣшенія наступаютъ измѣненія плотности; поэтому оно можетъ быть примѣнено для изслѣдованія инжектора Жиффара.

Но мы будемъ здѣсь и въ дальнѣйшемъ пренебрегать такими измѣненіями плотности; вслѣдствіе этого лѣвую часть этого равенства можно просто замѣнить черезъ $a_y - a_x$, т. е черезъ приращенie пьезометрической высоты.

Такимъ образомъ, имѣемъ:

$$a_y - a_x = \frac{w_x}{g}\left[\frac{M_1 w_1 + M_2 w_2}{M_1 + M_2} - w_x\right] \dots \dots (2).$$

При одной струѣ, полагая, напримѣръ, $M_2 = 0$, найдемъ:

$$a_y - a_x = \frac{w_x (w_1 - w_x)}{g}$$

Отсюда мы легко получимъ ур—iе Борда.

Если смѣшиваются нѣсколько струй, то равенство (2) даетъ непосредственно:

$$a_y - a_x = \frac{w_x}{g}\left[\frac{\Sigma (Mw)}{\Sigma (M)} - w_x\right] \dots \dots (2').$$

Для встрѣчающихся на практикѣ случаевъ имѣетъ интересъ только равенство (2). Если γ—удѣльный вѣсъ также и каждой отдѣльной струи, то вслѣдствie того что

$$M_1 g = F_1 w_1 \gamma,\ M_2 g = F_2 w_2 \gamma \text{ и } (M_1 + M_2) g = F_x w_x \gamma,$$

изъ равенства (1) слѣдуетъ:

$$a_y - a_x = \frac{1}{g}\left[\frac{F_1}{F_x} w_1^2 + \frac{F_2}{F_x} w_2^2 - w_x^2\right] \dots \dots (3).$$

Соединенie струй въ пространствѣ смѣшенiя сопровождается потерей работы, величина которой, отнесенная къ единицѣ времени (секундѣ) выразится такъ:

$$L = \frac{M_1 (w_1 - w_x)^2}{2} + \frac{M_2 (w_2 - w_x)^2}{2} \dots \dots (4).$$

При смѣшеніи нѣсколькихъ струй будемъ имѣть:

$$L = \Sigma \left[\frac{M(w - w_x)^2}{2} \right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

и для одной струи при $M_2 = 0$ получимъ для единицы вѣса

$$L = \frac{(w_1 - w_x)^2}{2g} = h'$$

Это и есть уравненіе Борда.

§ 3. Смѣшеніе второго рода.

Въ данномъ случаѣ второй конусъ B, какъ было уже упомянуто, входитъ въ пространство смѣшенія сбоку; обѣ оси конусовъ расположены перпендикулярно другъ къ другу.

При одинаковыхъ обозначеніяхъ съ предыдущимъ случаемъ потерянная работа при смѣшеніи находится здѣсь слѣдующимъ образомъ. Потерянная работа L_1 для первой струи будетъ, какъ и раньше:

$$L_1 = \frac{M_1 (w_1 - w_x)^2}{2}$$

Потерянная же работа L_2 для второй струи находится посредствомъ слѣдующаго соображенія: при вступленіи струи въ пространство смѣшенія теряется скорость w_2 и вмѣстѣ съ тѣмъ работа $\frac{M_2 w_2^2}{2}$; переходъ массы M_2 изъ покоя въ движеніе со скоростью w_x требуетъ расхода работы $\frac{M_2 w_x^2}{2}$, и потому имѣемъ:

$$L_2 = \frac{M_2 (w_2^2 + w_x^2)}{2};$$

слѣдовательно, вся потеря работы $L = L_1 + L_2$

или

$$L = \frac{M_1 (w_1 - w_x)^2}{2} + \frac{M_2 (w_2^2 + w_x^2)}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (6),$$

что можно также написать иначе:

$$L = \frac{M_1 (w_1 - w_x)^2}{2} + \frac{M_2 (w_2 - w_x)^2}{2} + M_2 w_2 w_x$$

Сравненіе съ равенствомъ (4) указываетъ на то, что при второмъ родѣ смѣшенія имѣетъ мѣсто бо́льшая потеря работы, нежели при первомъ.

По теоремѣ количествъ движенія мы получимъ для даннаго случая:

$$F_x (p_y - p_x) = M_1 (w_1 - w_x) - M w_x$$

и, какъ въ предыдущемъ случаѣ,

$$a_y - a_x = \frac{w_x}{g} \left[\frac{M_1 w_1}{M_1 + M_2} - w_x \right] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

$$a_y - a_x = \frac{1}{g} \left[\frac{F_1}{F_x} w_1^2 - w_x^2 \right] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (8)$$

Оба уравненія (3) и (8) являются основными уравненіями въ теоріи нашедшихъ себѣ примѣненіе на практикѣ струйныхъ аппаратовъ. Чтобы не выводить основныхъ формулъ, отдѣльно для каждаго изъ обоихъ различныхъ родовъ смѣшенія, можно воспользоваться равенствомъ (3) въ слѣдующей формѣ:

$$a_y - a_x = \frac{1}{g} \left[\frac{F_1}{F_x} w_1^2 + \varphi \frac{F_2}{F_x} w_2^2 - w_x^2 \right] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (9)$$

Если представляется первый случай смѣшенія (черт. 1), то слѣдуетъ положить $\varphi = 1$, между тѣмъ какъ въ другомъ случаѣ (черт. 2) надо подставить $\varphi = 0$.

Потерянная работа въ пространствѣ смѣшенія, отнесенная къ секундѣ, выразится:

$$L = \frac{1}{2}\Big[M_1 w_1^2 + M_2 w_2^2 + (M_1 + M_2) w_x^2 -$$

$$- 2w_x (M_1 w_1 + \varphi M_2 w_2)\Big] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Положивъ $\varphi = 1$, придемъ къ рав. (4) и $\varphi = 0$, — къ равенству (6).

Если вмѣсто массъ жидкостей ввести, какъ это было сдѣлано выше, поперечныя сѣченія и скорости, то изъ рав. (10) получится для L выраженіе:

$$L = \frac{\gamma}{2g}\Big[(F_1 w_1^3 + F_2 w_2^3 + F_x w_x^3) - 2w_x (F_1 w_1^2 + \varphi \cdot F_2 w_2^2)\Big] \ldots (10'),$$

въ которомъ опять таки, смотря по роду смѣшенія, $\varphi = 1$ или $\varphi = 0$, а γ означаетъ удѣльный вѣсъ до и послѣ смѣшенія.

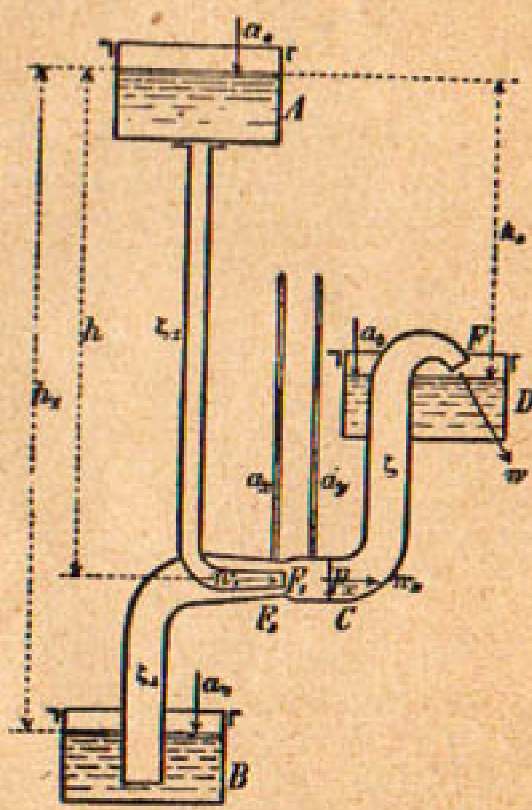
Пользуясь выведенными уравненіями разсмотримъ такого рода случай, изъ котораго легко можно было бы вывести цѣлый рядъ другихъ случаевъ.

Въ виду такой цѣли лучше всего остановиться на струйномъ насосѣ Томсона, если его представить себѣ въ одно и тоже время какъ всасывающимъ, такъ и нагнетательнымъ.

§ 4. Теорія Томсоновскаго водоструйнаго насоса.

Положимъ, что изъ сосуда A (черт. 3), въ которомъ вода находится подъ атмосфернымъ давленіемъ a_0, вода эта течетъ по трубѣ внизъ и изъ конуса съ поперечнымъ сѣченіемъ отверстія F_1 поступаетъ со скоростью w_1 въ пространство смѣшенія C; этотъ конусъ окруженъ вторымъ конусомъ, изъ котораго вода черезъ кольцеобразное отверстіе съ площадью поперечнаго сѣченія F_2 вытекаетъ со скоростью w_2 и который находится на верхнемъ концѣ всасывающей трубы, погруженной внизу въ сосудъ B.

Отъ пространства смѣшенія C, попер. сѣченіе котораго опять можно обозначить черезъ F_x и въ которомъ вода протекаетъ, послѣ смѣшенія со скоростью w_x, простирается вертикально вверхъ нагнетательная труба; изъ этой трубы вода поступаетъ черезъ отверстіе съ поп. сѣченіемъ F со скоростью w въ сливной сосудъ D. Пусть уровень воды въ сосудѣ A лежитъ на высотѣ h_1 надъ уровнемъ воды въ сосудѣ B, на высотѣ h_2 надъ уровнемъ воды въ сосудѣ D и на высотѣ h надъ осью пространства смѣшенія.



Черт. 3.

Зависимость между пьезометрическими высотами a_x и a_y въ пространствѣ смѣшенія опредѣлена выше; черт. 3 сдѣланъ въ томъ предположеніи, что имѣетъ мѣсто смѣшеніе перваго рода, какъ въ черт. 1; но слѣдующіе выводы годны и для второго рода смѣшенія (черт. 2), — нужно лишь представить себѣ черт. 3 измѣненнымъ такимъ образомъ, что конусъ F_2 открывается въ пространство смѣшенія перпендикулярно конусу F_1.

Пусть коэффиціенты сопротивленія будутъ:

для входящей трубы ζ_1,

для всасывающей трубы ζ_2 и

для нагнетательной трубы ζ;

кромѣ того, предположимъ, что высоты h_1, h_2 и h, какъ и поперечныя сѣченія F_1, F_2, F_x и F, даны и что аппаратъ дѣйствуетъ правильно, именно, что вытекающей изъ A водой подсасывается вода изъ сосуда B, соединенная водяная масса втечетъ по нагнетательной трубѣ и изливается въ сосудъ D.

Теорія должна намъ разъяснить, какія условія должны быть при этомъ соблюдены и можно ли этотъ аппаратъ при какихъ-либо обстоятельствахъ рекомендовать для практическихъ приложеній.

По предыдущимъ изслѣдованіямъ надъ движеніемъ жидкостей по трубамъ можно написать слѣдующія формулы:

Для движенія воды въ сосудѣ A до пространства смѣшенія имѣемъ:

$$2g(a_0 - a_x + h) = (1 + \zeta_1) w_1^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (11)$$

для движенія по всасывающей трубѣ:

$$2g(a_0 - a_x + h - h_1) = (1 + \zeta_2) w_2^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (12)$$

и для движенія по нагнетательной трубѣ:

$$2g[a_y - a_0 - (h - h_2)] = (1 + \zeta) w^2 - w_x^2 \quad \ldots \ldots \quad (13)$$

Для теченія при смѣшеніи мы имѣемъ:

$$2g(a_y - a_x) = 2\frac{F_1}{F_x} w_1^2 + 2\zeta \frac{F_2}{F_x} w_2^2 - 2w_x^2$$

Если возьмемъ разность двухъ послѣднихъ уравненій и примемъ во вниманіе при этомъ равенство

$$Fw = F_x w_x,$$

то легко найдемъ:

$$g\,(a_0 - a_x + h - h_2) = \frac{F_1}{F_x} w_1{}^2 + \varphi \frac{F_2}{F_x} w_2{}^2 -$$
$$- \frac{1}{2} \left[1 + (1 + \zeta) \frac{F_x{}^2}{F^2} \right] w_x{}^2$$

Но

$$F_x w_x = F_1 w_1 + F_2 w_2$$

или

$$w_x = \frac{F_1}{F_x} w_1 + \frac{F_2}{F_x} w_2$$

и если введемъ обозначенія:

$$\frac{F_x}{F_1} = m, \quad \frac{F_2}{F_1} = n, \text{ слѣд., } \frac{F_x}{F_2} = \frac{m}{n},$$

а также

$$\frac{1}{2} \left[1 + (1 + \zeta) \frac{F_x{}^2}{F^2} \right] = \lambda \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (14),$$

то получимъ:

$$m^2 g \left(\frac{a_0 - a_x + h - h_2}{w_1{}^2} \right) = (m - \lambda) - (\lambda n^2 - \varphi m n) \left(\frac{w^2}{w_1} \right)^2 -$$
$$- 2\lambda n \left(\frac{w_2}{w_1} \right) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (15)$$

Три равенства (11), (12) и (15) ведутъ къ разрѣшенію предложенной задачи.

Исключая изъ равенства (15) $(a_0 - a_x + h)$, мы найдемъ:

$$\left[\frac{(1 + \zeta_2) m^2 h_2}{2h_1} + (\lambda n^2 - \varphi m n) \right] \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2 + 2\lambda n \left(\frac{w_2}{w_1} \right) =$$
$$= (m - \lambda) \quad \frac{(1 + \zeta_1) m^2}{2} \left(1 - \frac{h_2}{h_1} \right) \; . \; . \; . \; . \; . \; (16)$$

Изъ разности равенствъ (11) и 12) получаемъ:

$$w_1 = \sqrt{\frac{2gh_1}{(1+\zeta_1) - (1+\zeta_2)\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (17)$$

и затѣмъ изъ равенства (11):

$$a_0 - a_x + h = (1+\zeta_1)\frac{w_1^2}{2g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (18)$$

Ходъ вычисленій простъ. Изъ равенства (16) легко опредѣлить, принявъ въ соображеніе равенство (14), отношеніе $\left(\frac{w_2}{w_1}\right)$; потомъ изъ рав. (17) находится w_1, затѣмъ $w_2 = \left(\frac{w_2}{w_1}\right) w_1$, и, наконецъ, пьезом. высота a_x въ пространствѣ смѣшенія, изъ рав. (18).

Если аппаратъ дѣйствуетъ какъ насосъ, то вѣсъ G_1 израсходованнаго количества воды равенъ

$$G_1 = F_1 w_1 \gamma$$

и вѣсъ G_2 поднятаго количества воды равенъ

$$G_2 = F_2 \gamma\, w_2$$

Высота паденія есть h_2 и *высота поднятія* $(h_1 - h_2)$, почему затраченная работа будетъ $G_1 h_2$, а полезная работа $G_2(h_1 - h_2)$, такъ что коэффиціентъ полезнаго дѣйствія η равенъ:

$$\eta = \frac{G_2(h_1 - h_2)}{G_1 h_2} = n\frac{(h_1 - h_2)}{h_2}\left(\frac{w_2}{w_1}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (19)$$

Какъ видимъ теорія сравнительно простого аппарата приводитъ къ очень сложнымъ уравненіямъ. Этими уравненіями, какъ мы говорили выше, можно воспользоваться для изслѣдованія цѣлаго ряда различныхъ другихъ аппаратовъ.

Если имѣется детальный чертежъ изображеннаго схематически на чертежѣ 3 аппарата или если аппаратъ этотъ выполненъ, то нѣтъ никакой трудности произвести по даннымъ формуламъ вычисленіе и узнать, можетъ ли дѣйствительно аппаратъ поднять жидкость и какой при этомъ будетъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія; но чрезвычайно трудно при помощи тѣхъ же формулъ вывести наивыгоднѣйшія отношенія поперечныхъ сѣченій, при которыхъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія η достигаетъ максимальнаго значенія.

Формулы, повторяемъ, годны для обоихъ родовъ смѣшенія (черт. 1 и черт. 2), слѣдуетъ лишь въ рав. (16) подставить $\varphi = 1$ или $\varphi = 0$; случай $\varphi = 1$—болѣе выгодный, потому что здѣсь, какъ показано выше, потеря работы въ пространствѣ смѣшенія меньше.

Мы разсматривали аппаратъ какъ водяной насосъ, но формулы годны и для воздушнаго насоса; въ этомъ случаѣ аппаратъ дѣйствуетъ какъ вентиляторъ и высоты h_1 и h_2 должны быть замѣнены высотами столбовъ воздуха.

Несмотря на сложность послѣднихъ равенствъ, изъ нихъ можно вывести и нѣкоторыя важныя общія заключенія. Прежде всего слѣдуетъ замѣтить, что основныя формулы (16), (17) и (19) не содержатъ величины h, т. е. высоты A надъ пространствомъ смѣшенія C; значеніе h по равенству (18) имѣетъ вліяніе лишь на величину a_x.

На основаніи этого можно мѣнять произвольно положеніе пространства смѣшенія, не измѣняя тѣмъ значительно дѣйствія аппарата, ибо при этомъ измѣняются только значенія коэффиціентовъ ζ_1 ζ_2 и ζ.

Такимъ образомъ можно ось пространства смѣшенія C (черт. 3) расположить на высотѣ пріемника D; въ этомъ случаѣ насосъ дѣйствуетъ лишь какъ всасывающій насосъ,— вмѣсто h имѣемъ $h = h_2$.

Съ другой стороны можно также пространство смѣшенія расположить въ нижнемъ сосудѣ B; тогда всасывающая труба отсутствуетъ, и насосъ дѣйствуетъ исключительно какъ нагнетательный. Это устройство, при которомъ $h = h_1$, является лучшимъ и примѣняется Нагелемъ для выкачиванія воды изъ ямъ при постройкахъ. Возвращаясь къ общему случаю (черт. 3), особенно важно замѣтить, что въ рав. (16) w_2 должно быть положительно, если рѣчь идетъ о дѣйствительномъ поднятіи воды.

При наименьшемъ возможномъ значеніи $w_2 = 0$ вода стоитъ во всасывающей трубѣ спокойно, и поступающая изъ входящей трубы вода просто поднимается по нагнетательной трубѣ. Если подставить въ равенство (16) $w_2 = 0$, то для этого *состоянія равновѣсія* получится:

$$\frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{2(m - \lambda)}{(1 + \zeta_1)\, m^2}$$

и если должно имѣть мѣсто дѣйствительное поднятіе воды, то должно быть выполнено условіе:

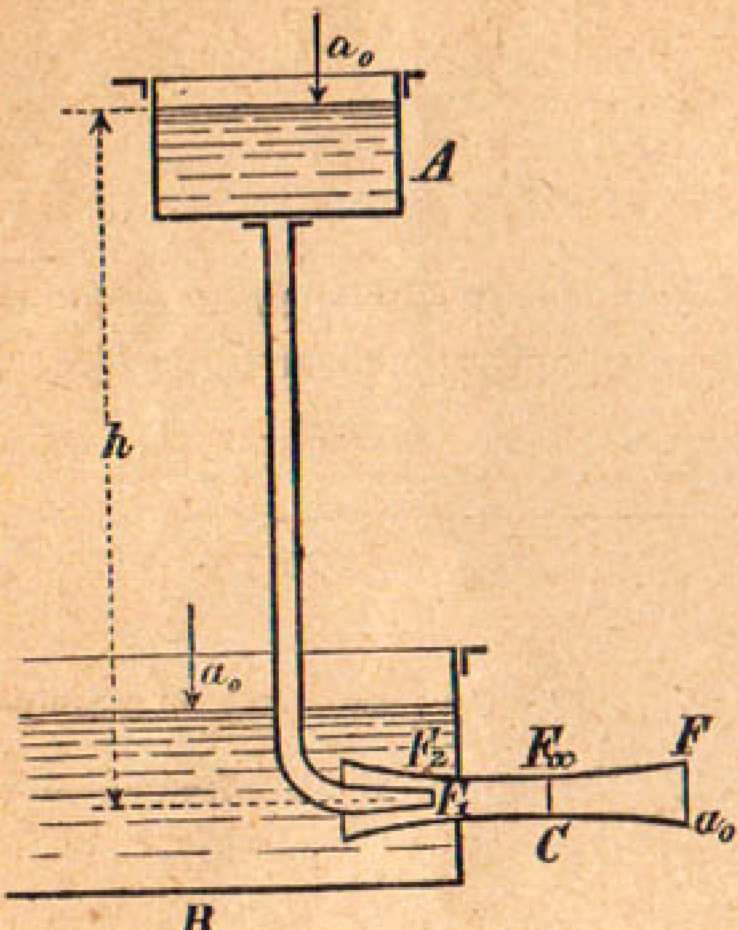
$$\frac{h_1 - h_2}{h_1} < \frac{2(m - \lambda)}{(1 + \zeta_1)\, m^2},$$

при чемъ m и λ имѣютъ данныя въ рав. (14) значенія. Болѣе близкія изслѣдованія случаевъ практики указываютъ, что высота поднятія $h_1 - h_2$ всегда составляетъ лишь малую часть высоты h_1 и что рав. (19) постоянно приводитъ къ очень невыгодному коэффиціенту полезнаго дѣствія η. Уже одно это обстоятельство указываетъ, что дальнѣйшее изслѣдованіе задачи въ заданномъ направленіи должно быть оставлено; подобные подъемные аппараты, благодаря своей простой конструкціи, примѣнимы лишь тогда, когда нагнетающая вода обходится дешево и когда работа нагнетенія производится временно.

Невыгодное дѣйствіе объясняется происходящей въ пространствѣ смѣшенія потерей работы, если, какъ мы здѣсь предположили, смѣшеніе совершается безъ измѣненій плотности; потерянная работа превращается въ данномъ случаѣ въ теплоту.

Совершенно иначе обстоитъ дѣло при инжекторѣ Жиффара, который также можетъ быть причисленъ къ классу водоподъемныхъ аппаратовъ, ибо здѣсь питающая вода поднимается съ атмосфернаго давленія на давленіе въ паровомъ котлѣ. Вызванное внезапными измѣненіями скорости и конденсаціей пара развитіе теплоты производитъ то, что питающая вода поступаетъ въ котелъ сильно нагрѣтая, а въ этомъ заключается такая выгода, что инжекторъ долженъ быть разсматриваемъ, какъ очень совершенный аппаратъ.

До сихъ поръ о струйныхъ аппаратахъ говорилось какъ о насосахъ, какъ о подъемныхъ аппаратахъ; но еще заслуживаетъ вниманія тотъ случай, когда подсасываемая жидкость просто перегоняется изъ одного пространства въ другое при постоянномъ давленіи.



Черт. 4.

Черт. 4 представляетъ этотъ случай. Стекающая изъ сосуда A по входящей трубѣ жидкость всасываетъ вторую жидкость изъ сосуда B въ пространство смѣшенія C, и смѣшавшіяся струи текутъ тогда черезъ отверстіе F наружу.

Здѣсь просто, какъ показываетъ сравненіе съ черт. 3, $h_1 = h_2 = h$ и потому изъ рав. (16) слѣдуетъ:

$$\left[\frac{(1+\zeta_2)}{2} m^2 + \lambda n^2 - \varphi mn\right]\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2 + 2\lambda n\left(\frac{w_2}{w_1}\right) = m - \lambda \; . \; . \; . \; (20),$$

при чемъ для представленнаго на черт. 4 случая надо подставить $\varphi = 1$; сливная труба изображена въ видѣ расходящагося конуса, и поэтому въ данной для λ формулѣ (14) $F > F_x$, при чемъ, если пренебречь коэффиціентомъ сопротивленія ζ, какъ величиной очень малой, $\lambda < 1$; для призматической трубы было бы $F = F_x$ и вмѣстѣ съ тѣмъ $\lambda = 1$.

Вмѣсто рав. (17) надо написать:

$$w_1 = \sqrt{\frac{2gh}{(1+\zeta_1) - (1+\zeta_2)\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2}},$$

и это равенство вмѣстѣ съ равенствомъ (18) даетъ:

$$\frac{a_0 - a_x}{h} = \frac{\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2}{\frac{1+\zeta_1}{1+\zeta_2} - \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2} \quad \ldots \ldots \quad (21)$$

Вѣсъ протекающей въ секунду изъ сосуда A жидкости будетъ $G_1 = F_1 w_1 \gamma$ и вѣсъ „всосанной“ жидкости $G_2 = F_2 w_2 \gamma$, а потому

$$\frac{G_2}{G_1} = n \cdot \frac{w_2}{w_1} \quad \ldots \ldots \quad (22)$$

Должно замѣтить, что равенство (20) не содержитъ высоты h, поэтому отношеніе $\frac{w_2}{w_1}$ и вмѣстѣ съ тѣмъ $\frac{G_2}{G_1}$ независимо отъ величины h.

Данныя формулы также годны, если вмѣсто воды нагнетаніе производится воздухомъ; тогда сосудъ A надо представить замѣненнымъ замкнутымъ пространствомъ, въ которомъ находится воздухъ подъ давленіемъ высоты столба воздуха эквивалентной высотѣ h воды; вытекая отсюда, этотъ воздухъ всасываетъ изъ замкнутаго пространства B воздухъ, находящійся подъ атмосфернымъ давленіемъ, чтобы отвести его посредствомъ выходной трубы C наружу.

Если представить себѣ, что сосудъ A замѣненъ паровымъ котломъ, то воздухъ выкачивался бы изъ пространства B струей пара, и мы получили бы паровой вентиляторъ.

Въ этомъ случаѣ формулы приведутъ лишь къ приблизительному рѣшенію, ибо всасываемый холодный воздухъ имѣетъ другой удѣльный вѣсъ сравнительно съ паромъ, слѣдовательно, въ пространствѣ смѣшенія имѣетъ мѣсто измѣненія плотности, а для такого случая, какъ было упомянуто выше, строгое разрѣшеніе задачи еще не оказывается возможнымъ. Но если принять, что выходящій изъ пространства B воздухъ нагрѣтъ до 300°—500°, то наступаетъ почти равенство удѣльныхъ вѣсовъ высасываемаго воздуха и выходящаго изъ конуса пара, который обладаетъ почти атмосфернымъ давленіемъ; для такого случая снова, слѣдовательно, формулы (20) до (22) будутъ вѣрны.

Этотъ случай встрѣчается въ одномъ изъ самыхъ важныхъ и наиболѣе распространенныхъ изъ струйныхъ аппаратовъ, именно въ пароструйномъ аппаратѣ паровоза, служащемъ для усиленія тяги; но здѣсь приходится имѣть дѣло со вторымъ случаемъ смѣшенія (черт. 1), ибо надо представить себѣ черт. 4 измѣненнымъ въ томъ смыслѣ, что всасывающій воздухъ поступаетъ въ пространство смѣшенія C сбоку; вслѣдствіе этого здѣсь $\varphi = 0$ и рав. (20) напишется такъ:

$$\left[\frac{1+\zeta_2}{2} m^2 + \lambda n^2\right]\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2 + 2\lambda n\left(\frac{w_2}{w_1}\right) = m - \lambda \ldots (20'),$$

въ то время какъ рав. (21) и (22) остаются неизмѣненными.

При этомъ въ формулахъ (14), именно:

$$\frac{F_1}{F_x} = m, \quad \frac{F_2}{F_1} = n, \quad \frac{1}{2}\left[1 + (1+\zeta)\frac{F_x^2}{F^2}\right] = \lambda,$$

означаютъ:

F_1—поперечн. сѣч. отверстія конуса,

F_2—сумма поп. сѣченій всѣхъ дымогарныхъ трубъ,

F_x—нижнее и F—верхнее поперечн. сѣченіе дымовой трубы,

w_1—скорость пара въ устьѣ конуса,

w_2—скорость раскален. газовъ, съ которой они поступаютъ въ простр. смѣш. (дым. коробку),

ζ_2—коэффиціентъ „сопротивленія“ для прохожденія воздуха сквозь слой горючаго вещества и по дымогарнымъ трубамъ и ζ—коэффиціентъ „сопротивленія“ движенія въ дымовой трубѣ, которымъ обыкновенно можно пренебречь.

Опредѣливъ изъ рав. (20′) значеніе $\frac{w_2}{w_1}$, можно вычислить по рав. (22) отношеніе $\frac{G_2}{G_1}$, т. е. вѣсъ количества воздуха всасываемаго единицей вѣса пара.

Эти отношенія, на что слѣдуетъ обратить вниманіе, не зависятъ отъ давленія въ котлѣ, которое обыкновенно постоянно измѣняется. Если вставить значеніе $\frac{w_2}{w_1}$ въ рав. (21), то вычислится значеніе $a_0 - a_x$; при этомъ a_0 есть атм. давленіе, a_x—давленіе въ дымовой коробкѣ и $a_0 - a_x$ такъ называемая депрессія въ дымовой коробкѣ, которая здѣсь при нормальныхъ условіяхъ является пропорціональной величинѣ h и можетъ быть опредѣлена наблюденіемъ; она измѣняется періодически, какъ h.

Для простоты при вычисленіяхъ можно пренебречь вторымъ членомъ лѣвой части уравненія (20′): оказывается, что это не ведетъ къ большой ошибкѣ.

Тогда

$$\frac{w_2}{w_1} = \sqrt{\frac{2(m-\lambda)}{(1+\zeta_2)m^2 + 2\lambda n^2}}$$

Въ этихъ формулахъ можно полагать $\zeta = 0{,}11$, $\zeta = 0{,}12$.

Но для большей точности, разсчетъ можно вести по форм. (20′).