

В. А. УЛЬЯНИЦКИЙ проф.—доктор техн. наук

РАСЧЕТ АППАРАТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЯГИ В ПАРОВОЗНОМ КОТЛЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопрос о расчете паровозных конусов до настоящего времени не разрешен. Основной причиной этого обстоятельства является недостаточная освещенность явлений, сопровождающих истечение пара из конуса в дымовой коробке паровоза. Существует теория действия конуса Цейнера—Грове, первоначально развитая в дальнейшем Штралем, относящаяся только к конусам с круглым выходным сечением. Однако эта теория не охватывает полностью всей картины истечения пара из конуса, смешения его с дымовыми газами и удаления парогазовой смеси наружу. Поэтому попытки применить эту теорию к расчету паровозных конусов с круглым выходным сечением, даже с введением дополнений, предложенных Штралем, приводили к неудовлетворительным результатам; вследствие этого на практике для расчета нормальных конусов применялись многочисленные эмпирические формулы. Обилие этих формул свидетельствует о том, что они также мало удовлетворяли целям практического расчета конусов.

Сложение еще более осложнилось с момента применения конусов с фигурным выходным сечением (прямоугольным, крестообразным, звездчатым, многодырным и т. п.). Опыт применения подобных фигурных конусных насадков показал лучшую работу их по сравнению с насадками круглого сечения.

Между тем, теория Цейнера—Грове—Штраля не может объяснить причин лучшей работы этих насадков сравнительно с нормальными круглыми. Эмпирических формул для расчета подобных насадков совершенно не имеется.

Поэтому целью настоящей работы является исправление теории конуса Цейнера—Грове—Штраля с тем, чтобы при помощи ее можно было выяснить весь комплекс явлений, сопровождающих истечение пара из конусных насадков с любым очер-

танцем выходного сечения и тем самым дать возможность производить расчет всевозможных типов конусных насадков, прибегая к случайно составленным эмпирическим зависимостям. Попутно эта исправленная теория применена к действию сифона, о работе которого в паровозной литературе совсем никаких указаний.

Наконец, в связи с применением на паровозах дымососных установок дан расчет подобной установки с турбиной мятого пара.

Ввиду отсутствия в паровозной литературе ясных указаний об определении сопротивлений протеканию газов в паровозных котлах, особенно специальных типов, в введении к настоящей работе дан обзор формул для расчета сопротивлений паровозных котлов нормальной и специальных конструкций.

ВВЕДЕНИЕ

РАСЧЕТ ТЯГИ В ПАРОВОЗНОМ КОТЛЕ

Подведение воздуха в топку паровозного котла и отвод продуктов сгорания наружу возможны только при условии преодоления сопротивлений протеканию воздуха и газов в различных частях котла, а именно: сопротивления поддувала, колосниковой решетки с слоем топлива, топки, цилиндрической части котла и дымовой коробки. Величина этих сопротивлений обуславливает необходимость создания того или иного разрежения в дымовой коробке.

Для определения потребного разрежения в дымовой коробке обозначим наибольшее количество топлива, сжигаемого в час на колосниковой решетке, через B кг/час, теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива при нормальных условиях—через $V_{теор}$ нм³/кг., коэффициент избытка воздуха в топке через α_T , скорость прохода воздуха через клапан поддувала—через W_1 м/сек. и площадь открытия клапана для прохода воздуха в поддувале через $F_{1подд}$.

Обычно площадь открытия клапана поддувала

$$F_{1подд} = (0,07 - 0,11) R_m^2,$$

где R — площадь колосниковой решетки в кв.м., сам же клапан выполняется площадью:

$$F_{подд} = (0,14 - 0,2) R_m^2.$$

Скорость протекания воздуха через клапан поддувала W_1 очевидно, равна:

$$W_1 = \frac{\alpha_T V_{теор} B}{3600 F_{1подд}} \cdot \frac{T_{возд. абс.}}{273,2} = \frac{\alpha_T V_{теор}}{3600(0,07-0,11)} \left(1 + 1,00366 t_{возд.} \right) \left(\frac{B}{R} \right) = \frac{\alpha_T V_{теор}}{3600(0,07-0,11)} \left(1 + 0,00366 t_{возд.} \right) u \text{ м/сек.}$$

при чем u — напряжение колосниковой решетки в кг/м². час.

Для возможности протекания воздуха через клапан поддувала со скоростью W_1 , необходимо, чтобы разность давлений по обе стороны клапана поддувала удовлетворяла уравнению Бернулли:

$$\frac{P_{атм.} - P_{подд}}{\gamma_{возд.}} = \frac{W_1^2}{2g} + h'_1$$

при чем $P_{атм.}$ — давление наружного воздуха, $P_{подд.}$ — давление в поддувале — оба в $кг/м^2$; $\gamma_{возд.}$ — уд. вес воздуха в $кг/м^3$, W_1 — высота сопротивлений при проходе воздуха через клапан поддувала в $м.$ воздушного столба. При подсчете высоты сопротивлений

$$h'_1 + \frac{W_1^2}{2g}$$

удобнее выражать ее в $мм.$ $мм$ водяного столба, после чего перевод ее в $м.$ воздушного столба легко осуществить, пользуясь соотношением

$$h_1 \text{ мм. вод. ст.} = \gamma_{возд.} \left(h'_1 + \frac{W_1^2}{2g} \right),$$

при чем

$$\gamma_{возд.} = \frac{1,293}{1 + 0,00366 t_{возд.}} \text{ кг/м}^3;$$

для различных открытий клапана поддувала h_1 можно выразить уравнением, предложенным инж. Русвурм (см. „Круглые дымовые трубы, расчет и сооружение их“)

$$h_1 = \left[\left(\frac{F_{1подд}}{\vartheta F'_1} - 1 \right) + 1,5 \right] \frac{W_1^2 \gamma_{возд.}}{2g} \text{ мм. вод. ст.};$$

где коэффициент 1,5 учитывает затрату энергии на создание скорости W_1 и на поворот воздуха из поддувала к колосниковой решетке,

ϑ — коэффициент сжатия = 0,67 — 0,75,

$F_{1подд.}$ — полная площадь открытия клапана и

F'_1 — площадь открытия клапана поддувала при данной его установке.

Обозначим вес воздуха, потребного для сжигания 1 кг топлива через $\alpha_T G_{теор.}$ и вес дымовых газов — через $G_{д. з.}$

Очевидно, что

$$\alpha_T G_{теор.} = \alpha_T V_{теор.} \gamma_{возд.} = \alpha_T V_{теор.} \frac{1,293}{1 + 0,00366 t_{возд.}} \text{ кг./кг.}$$

вес дымовых газов от сжигания 1 кг топлива равен

$$G_{д. з.} = \alpha_T G_{теор.} - 0,01 q_1 \% \frac{Q_n^p}{8100} - 0,01 A_p \% + 1^{кг} | кг:$$

где $A_p\%$ количество золы в $\frac{0}{0}$ в одном кг топлива, $q_4\%$ потеря тепла от мех. неполноты горения в $\frac{0}{0}$ от теплотворной способности топлива Q_n^p .

Поэтому

$$\alpha_T G_{теор.} = G_{д.з.} - \left(1 - 0,01A_p\% - 0,01q_4\% \frac{Q_n^p}{8100} \right) \text{кг./кг.}$$

Следовательно, скорость воздуха

$$W_1 = \frac{B}{3600} \cdot \frac{\left[G_{д.з.} - \left(1 - 0,01A_p\% - 0,01q_4\% \frac{Q_n^p}{8100} \right) \right]}{F_1 \text{ подд. } \gamma_{возд.}}$$

Обозначив

$$\frac{Bg_{д.з.}}{3600} \text{ через } H,$$

имеем:

$$W_1 = \left[H - \frac{B}{3600} \left(1 - 0,01A_p\% - 0,01q_4\% \frac{Q_n^p}{8100} \right) \right] \frac{1}{F_1 \text{ подд. } \gamma_{возд.}}$$

Тогда

$$h_1 = \left[\left(\frac{F_1 \text{ подд.}}{\vartheta F_1'} - 1 \right) + 1,5 \right] \left[H - \frac{B}{3600} \left(1 - 0,01q_4\% \frac{Q_n^p}{8100} \right) \right] \frac{1}{F_1^2 \text{ подд. } \gamma_{возд.}^2} \cdot \frac{\gamma_{возд.}}{2g} = \left[\left(\frac{F_1 \text{ подд.}}{\vartheta F_1'} - 1 \right) + 1,5 \right] \frac{1}{\gamma_{возд.} 2g} \left[\frac{H}{F_1 \text{ подд.}} - \frac{B}{3600 F_1 \text{ подд.}} \left(1 - 0,01A_p\% - 0,01q_4\% \frac{Q_n^p}{8100} \right) \right]^2 \approx a_1 \left(\frac{H}{F_1 \text{ подд.}} \right)^2 \text{ мм вод. ст.}$$

По данным Штраля коэффициент $a_1 = 0,08$ для заднего клапана поддувала и $a_1 = 0,07$ для переднего клапана поддувала при ходе паровоза трубой вперед (для обратного хода — тем же вперед — значения коэффициентов будут соответственно 0,07 и 0,08 для заднего и переднего клапана поддувала); по данным Локомотивпроекта для паровозов ФД и ИС $a_1 = 0,2$ ввиду применения узких длинных боковых подводов воздуха и крутых поворотов воздушного потока при подходе его к середине колосниковой решетки.

Обозначим скорость прохода воздуха через колосниковую решетку через W_0 м/сек и площадь зазоров между колосниками для прохода воздуха через $m_0 R$, где m_0 — коэффициент живого сечения решетки, равный: для дров

$$m_0 = 0,3 - 0,5,$$

и торфа

$$m_o = 0,4 - 0,5,$$

и каменного угля

$$m_o = 0,3 - 0,4,$$

и кокса

$$m_o = 0,4 - 0,5,$$

и антрацита

$$m_o = 0,05 - 0,16,$$

и этом скорость

$$\begin{aligned}
 W_o &= \frac{B}{3600} \frac{\alpha_r V_{теор}}{m_o R} \cdot \frac{T_{возд. \text{ в } \bar{c}}}{273,2} = \\
 &= \frac{\alpha_r \cdot V_{теор}}{3600 m_o} (1 + 0,00663 t_{возд.}) \left(\frac{B}{R} \right) = \\
 &= \frac{\alpha_r V_{теор.}}{3600 m_o} (1 + 0,00366 t_{возд.}) y^{1/4} / \text{с} \bar{c} \bar{r}.
 \end{aligned}$$

столба

$$y = \frac{3600 m_o W_o}{\alpha_r V_{теор} (1 + 0,00366 t_{возд.})}^{1/4} / \text{м. час.}$$

и, напряжение колосниковой решетки пропорционально скорости протекания воздуха через нее.

Для получения скорости воздуха W_o необходимо, чтобы разность давлений по обе стороны колосниковой решетки удовлетворяла уравнению Бернулли:

$$\frac{p_{подд}}{\gamma_{возд.}} - \frac{p_{мон}}{\gamma_{мон. з.}} = \frac{W_o^2 - W_1^2}{2g} + h'_2$$

h'_2 — высота сопротивлений при проходе воздуха через колосниковую решетку и слой топлива в топке в m воздушного столба. Выражая это сопротивление в мм. вод. ст., можно написать для h'_2 уравнение:

$$h_2 = \gamma_{возд.} \left(h'_2 + \frac{W_o^2 - W_1^2}{2g} \right) = h_{2p} + h_{2CB} + h_{2T}.$$

При этом сопротивление колосниковой решетки и слоя топлива на ней

$$h_{2p} = (2 + \alpha_2) \frac{W_o^2 \cdot \gamma_{возд.}}{2g} \text{ мм. вод. ст.};$$

коэффициент 2 соответствует повороту газов при выходе из топки \sim на 90° , а коэффициент α_2 по данным Штраля и Лотвирироекта имеет следующие значения:

дров

$$\alpha_2 = 10 - 15,$$

торфа

$$\alpha_2 = 15 - 20,$$

для брикета, кокса

$$\alpha_2 = 20 - 35,$$

для каменных углей

$$\alpha_2 = 35 - 45,$$

для антрацита

$$\alpha_2 = 45 - 65 (\text{до } 100)$$

На величину сопротивления топке оказывает влияние глина ее и наличие в ней сводов. При неправильно поставленном своде сопротивление топке может настолько возрасти, что паровозный котел не сможет работать с достаточной для эксплуатации форсировкой. Сопротивление течению газов, представляемое сводом, можно оценить уравнением:

$$h_{2CB} = \frac{2W_{m.z.}^2 \gamma_{m.z.}}{2g} \text{ мм. вод. ст.}$$

при чем $W_{m.z.}$ — скорость движения газов в топке и $\gamma_{m.z.}$ — удельный вес дымовых газов при средней температуре топки. Коэффициент 2 учитывает поворот газов у свода \sim на 90° .

Добавочное сопротивление от трения при протекании газов, оказываемое глубиной топки можно приближенно оценить уравнением

$$h_{2T} = (0 \div 1) \frac{W_{m.z.}^2 \gamma_{m.z.}}{2g} \text{ мм. вод. ст.}$$

Несмотря на увеличение сопротивления, присутствие свода в топке и достаточная глубина ее желательны, так как обеспечивают более равномерную тягу, предохраняя топливо (особенно слабо спекающиеся угли) от уноса в дымовую коробку при сильных выхлопах из конуса, способствуя повышению температуры в топке и более полному сгоранию топлива и т. д. Для большей равномерности разрежения в топке, вообще желательно делать глубокие топку и поддувало, а также увеличивать объем дымовой коробки; при этом резкие выхлопы из конуса гораздо менее влияют на правильность процесса горения в топке, так как добавочные сопротивления, представляемые сводом, глубокой топкой и т. д., в значительной степени умеряют тягу, создаваемую конусом.

Таким образом, сопротивление топки

$$h_2 = h_{2p} + h_{2CB} + h_{2T} = (2 + \alpha_2) \frac{\gamma_{\text{возд.}} W_o^2}{2g} + \left[2 + (0 \div 1) \right] \frac{\gamma_{T.z.} W_{T.z.}}{2g}.$$

Так как сопротивление h_2 зависит от W_o и $W_{m.z.}$, то для уменьшения его необходимо принимать малые значения для W_o . Обычно

$$W_o = (3 - 5) \text{ м/сек. (до } 10 \text{ м/сек.)}$$

при температуре воздуха

$$t_{\text{возд.}} = (-30^\circ) - (+30^\circ) \text{ Ц.}$$

в виде, что

$$W_o = \frac{\alpha_T V_{теор}}{3600 \cdot m_p} \cdot \frac{T_{вод. обр.}}{273,2} y = a' \cdot y$$

$$W_{m.z.} \cong \frac{BG_{д.з.}}{3600 \gamma_{m.z.} \psi R} = \frac{G_{д.з.}}{3600 \cdot \gamma_{m.z.} \psi} y = a'' \cdot y$$

где ψ — коэффициент, зависящий от конфигурации топки (наличие сводов, повороты и сужения для газового потока и т. п.)
 получаем для сопротивления топки h_2 выражение:

$$h_2 = \left\{ (2 + a_2) \frac{\gamma_{возд.}}{2g} (a')^2 + \right.$$

$$\left. \left[2 + (0 \div 1) \right] \frac{\gamma_{m.z.}}{2g} (a'')^2 \right\} y^2 = A_o \cdot y^2 \text{ мм. вод. ст.} \quad (2-a)$$

Коэффициент A_o по данным котельн. лабор. М. В. Т. У., полученным на основании опытов с стационарными котлами, имеет следующие значения: для дров:

$$A_o = \frac{0,002}{(CO_1\%)^2}$$

для торфа

$$A_o = \frac{0,003 \div 0,004}{(CO\%)^2}$$

для шахтных дровяных топок

$$A_o = \frac{0,007}{(CO_2\%)^2}$$

для торфа при наличии сводов в топке

$$A_o = \frac{0,007}{(CO_2\%)^2}$$

для неспекающихся углей

$$A_o = \frac{0,03}{(CO_2\% + SO_2\%)^2}$$

для тех же углей при наличии сводов в топке

$$A_o = \frac{0,035}{(CO_2\% + SO_2\%)^2}$$

для спекающихся углей

$$A_o = \frac{0,05}{(CO_2\% + SO_2\%)^2}$$

при наличии сводов в топке

$$A_o = \frac{0,055}{(CO_2\% + SO_2\%)^2}$$

для подмосковных углей

$$A_o = \frac{0,07 \div 0,1}{(CO_2\% + SO_2^0/0)^2}$$

для антрацита

$$A_o = 0,00055 - 0,0011$$

при тугоплавких шлаках и

$$A_o = 0,0011 - 0,0022$$

при легкоплавких шлаках.

Проф. Мухачев рекомендует определять h_2 по формуле:

$$h_2 = a'_2 y, \quad (2-а)$$

при чем a'_2 имеет следующие значения:

для дров

$$a'_2 = 0,005 - 0,01,$$

для нефтяных остатков и пылевидного топлива

$$a'_2 = 0,005 - 0,01,$$

для торфа

$$a'_2 = 0,01 - 0,025,$$

для кокса

$$a'_2 = 0,025 - 0,07,$$

для неспекающихся углей

$$a'_2 = 0,07 - 0,09,$$

для спекающихся углей

$$a'_2 = 0,09 - 0,12,$$

для антрацита

$$a'_2 = 0,12 - 0,25.$$

Однако, имея в виду, что сопротивление h_2 зависит от a не от y , пользоваться формулой (2-а) не целесообразно.

Выражая W_o и $W_{m.z.}$ через H , имеем:

$$W_o = \left[H - \frac{B}{3600} \left(1 - 0,01A_p^0/0 - 0,01q_4^0/0 \frac{Q_n^p}{8100} \right) \right] \frac{1}{m_o R \gamma_{возд.}}$$

и

$$W_{m.z.} = \frac{H}{\psi R \gamma_{m.z.}}^{m/cвк.}$$

а потому сопротивление топки h_2 может быть выражено уравнением:

$$h_2 = (2 + a_2) \frac{\gamma_{возд.}}{2g} \left[H - \frac{B}{3600} \cdot \left(1 - 0,01A_p^0/0 - 0,01q_4^0/0 \frac{Q_n^p}{8100} \right) \right] \frac{1}{(m_o R)^2 \gamma_{возд.}^2} + \left[2 + (0 \div 1) \right] \frac{\gamma_{m.z.}}{2g} \frac{H^2}{(\psi R)^2 \gamma_{m.z.}^2} \cong a_2 \left(\frac{H}{R} \right)^2$$

Коэффициент a_2 , принимая во внимание данные опытов Штраля и Локомотивпроекта, полученные для паровозов угольного отопления, может быть выражен для различных топлив следующим образом:

для дров

$$a_2 = 5 - 7,$$

торфа

$$a_2 = 7 - 10,$$

для кокса, брикета, домбровских и английских углей

$$a_2 = 10 - 15,$$

для каменных углей

$$a_2 = 15 - 20,$$

для антрацитов

$$a_2 = 20 - 30, \text{ (до 50),}$$

для нефтяных остатков и угольной пыли, учитывая сопротивление сводов

$$a_2 = 2 - 5,$$

для торфяной пыли

$$a_2 = 15,$$

для сводов в угольных топках

$$a_2 = 0,5 - 1.$$

Обозначим среднюю скорость выхода дымовых газов из дымогарных и жаровых труб котла через $W_{cp. тр.}$, число дымогарных труб — через m , числа жаровых труб через n и средний эквивалентный диаметр труб котла через d_{cp} , при чем

$$d_{cp} = \sqrt{\frac{md_{дым.}^2 + n \left[d_{1жс}^2 \cdot \frac{l_1}{l} + (d_{2жс}^2 - kd_{не}^2) \frac{l_2}{l} \right]}{m + n}}$$

где $d_{1жс}$ и l_1 диаметр в длину обжатой части жаровых труб, $d_{2жс}$ и l_2 — диаметр и длина жаровых труб в области расположения элементов пароперегревателя, k — число трубок пароперегревателя в одной жаровой трубе и $d_{не}$ — диаметр трубок пароперегревателя, $d_{дым.}$ — диаметр дымогарных труб. При этом скорость газов при выходе из труб котла

$$W_{cp. тр.} = \frac{H}{\gamma_{д. г. вх} (m + n) \cdot \frac{\pi}{4} d_{cp}^2} \text{ м/сек.}$$

Для возможности выхода дымовых газов из труб котла со скоростью $W_{cp. тр.}$ необходимо, чтобы разность давлений по обе стороны труб удовлетворяла уравнению Бернулли:

$$\frac{p_{мон.}}{\gamma_{мон. г.}} - \frac{p_x}{\gamma_{д. г. вх.}} = \frac{W_{cp. тр.}^2 - W_0^2}{2g} + h_s$$

где h'_3 — высота сопротивлений протеканию дымовых газов через дымогарные и жаровые трубы и через дымовую коробку в м. газового столба.

Выражая

$$\frac{W^2_{\text{ср. тр.}} - W_0^2}{2g} + h'_3 \text{ в мм. вод. ст.}$$

и имея в виду, что

$$h_3 \text{ мм. вод. ст.} \cong \gamma_{\text{д. г. ух.}} \left(\frac{W^2_{\text{ср. тр.}} - W_0^2}{2g} + h'_3 \right)$$

можно для h_3 написать следующее выражение:

$$h_3 = h_{3 \text{ тр.}} + h_{3 \text{ м. с.}} + h_{\text{д. к.}} \text{ мм. вод. ст.}$$

При этом

$$h_{3 \text{ тр.}} = 1,7\beta \frac{l}{d_{\text{ср. тр.}}} \cdot \gamma_{\text{д. г. ух.}} W^2_{\text{ср. тр.}} \quad (3)$$

где

$$\beta = \frac{9,4}{10^4} \cdot \frac{1}{(\gamma w)_{\text{д. г. ух.}}^{0,148} \cdot d_{\text{ср. тр.}}^{0,269}} = \frac{9,07}{10^4} \cdot \frac{d_{\text{ср. тр.}}^{0,027}}{H^{0,148}}$$

коэффициент сопротивления по Фритцше, отнесенный к 1 м длины труб; 1,7 — поправочный коэффициент, учитывающий большую шероховатость дымогарных труб по сравнению с лабораторными трубами, для которых выведено значение β (см АЕГ. Mitteilungen—Das Kraftwerk-Oktober 1931)

Заменяя $W_{\text{ср. тр.}}$ его значением и обозначая

$$(m+n) \frac{\pi}{4} d_{\text{ср. тр.}}^2 \text{ через } \Omega_{\text{дым}} + \Omega_{\text{жар.}}$$

где $\Omega_{\text{дым}}$ — площадь сечения всех дымогарных труб $\Omega_{\text{жар.}}$ — живая площадь сечения всех жаровых труб, имеем:

$$\begin{aligned} h_{3 \text{ тр.}} &= \frac{1,7 \cdot \beta}{\gamma_{\text{д. г. ух.}}} \frac{l}{d_{\text{ср. тр.}}} \left(\frac{H}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}} \right)^2 = a_3^1 \left(\frac{H}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}} \right)^2 = \\ &= a_3^1 \left(\frac{R}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}} \right)^2 \left(\frac{H}{R} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \\ h_{3 \text{ м. с. сопр.}} &\cong 3 \frac{\gamma_{\text{д. г. ух.}} W^2_{\text{ср. тр.}}}{2g} = \frac{3}{2g \gamma_{\text{д. г. ух.}}} \left(\frac{H}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}} \right)^2 = \\ &= \frac{3}{2g \gamma_{\text{д. г. ух.}}} \left(\frac{R}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}} \right)^2 \left(\frac{H}{R} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \end{aligned}$$

Обозначим сумму коэффициентов a_3^1 и $\frac{3}{2g \gamma_{\text{д. г. ух.}}}$ через a_3 .

Следовательно

$$a_3 = a_3^1 + \frac{3}{2g\gamma_{yx. z.}} = \frac{1,7 \cdot \beta \cdot l}{\gamma_{д. з. ух.}} + \frac{3}{2g\gamma_{yx. z.}}$$

$$h_{зтр.} + h_{з.м.с.} = a_3 \left(\frac{R}{\Omega_{дым.} + \Omega_{жар.}} \right)^2 \left(\frac{H}{R} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (4)$$

По данным Штраля коэффициент a_3 имеет значение:

$$a_3 = \left(0,04 + 0,005 \frac{l}{d_{дым.}} \right) \left[\mu^1 + \frac{(1 - \mu^1) d_{дым.}^2 l}{d_{1ж.}^2 l_1 + (d_{2ж.}^2 - kd_{не.}^2) l_2} \right]$$

Здесь μ^1 — доля газов, идущая в дымогарные трубы, а $(1 - \mu^1)$ — доля газов, идущая в жаровые трубы, причем весь член, зависящий от μ^1 , может быть по данным Штраля принят равным $2/3$. Однако из сопоставления формулы Штраля с исправленной формулой Фритцше и нижеприведенной формулой проф. Щеголева, проверенных многочисленными испытаниями котлов с протеканием газов вдоль труб, следует, что формула Штраля не оценивает сопротивления цилиндрической части котла и, следовательно, не может быть рекомендована для расчетов.

Для ориентировочных расчетов значение сопротивления h_3 для паровозных котлов нормальной конструкции можно приблизительно определить по формуле проф. Щеголева (см. проф. Щеголев „Топливо, топки и котельные установки“):

$$h_{зтр.} + h_{з.м.с.} \cong 0,03 (Z_{ж.} \alpha_{т.})^2 \quad (6)$$

где $Z_{ж.}$ — напряжение испаряющей поверхности нагрева котла в кг/кв м. ч.

$\alpha_{т.}$ — коэффициент избытка воздуха.

Таким образом, полная разность давлений между атмосферой и давлением в дымовой коробке, потребная для создания тяги в котле, должна быть равна;

$$\frac{p_{атм.}}{\gamma_{под.}} - \frac{p_{под.}}{\gamma_{вод.}} + \frac{p_{под.}}{\gamma_{вод.}} - \frac{p_{тон.}}{\gamma_{тон. з.}} + \frac{p_{тон.}}{\gamma_{тон. з.}} - \frac{p_x}{\gamma_{д. з. ух.}} =$$

$$= \frac{W_1^2}{2g} + h^1_1 + \frac{W_0^2}{2g} + h^1_2 + \frac{W_{сп.тр.}^2}{2g} - \frac{W_0^2}{2g} + h^1_3 - \frac{W_1^2}{2g}$$

или округленно:

$$\frac{p_{атм.} - p_x}{\gamma_{д. з. ух.}} = \frac{W_{сп.тр.}^2}{2g} + h^1_1 + h^1_2 + h^1_3 \cong \frac{1}{\gamma_{д. з. ух.}} \cdot$$

$$\cdot \left(h_1 + h_2 + h_{зтр.} + h_{з.м.с.} + h^1_{д.к.} \right) =$$

$$= \frac{1}{\gamma_{д. з. ух.}} \left[a_1 \left(\frac{H}{F_{под.}} \right)^2 + a_2 \left(\frac{H}{R} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + a_3 \left(\frac{R}{\Omega_{дым.} + \Omega_{жар.}} \right)^2 \left(\frac{H}{R} \right)^2 + a_4 \left(\frac{H}{R} \right)^2 \right] =$$

$$\frac{1}{\gamma_{д. з. ух.}} \left[a_1 \left(\frac{R}{F_{под.}} \right)^2 + a_2 + a_3 \left(\frac{R}{\Omega_{дым.} + \Omega_{жар.}} \right)^2 + a_4 \right] \left(\frac{H}{R} \right)^2 \quad (7)$$

причем здесь

$$h^1_{д. к.} = a_4 \left(\frac{H}{R} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (6)$$

сопротивление дымовой коробки и искроудержателя в ней $a_4 = 2-7$ до 17 при дефлекторных искроудержателях (по данным Локомотивпроекта).

Сопротивления протеканию газов в котлах специальных типов: Вуда, Ленца, Якобс-Суперта, Бротана, Мульфелда, Балдина, Шмидта определяются по тем же формулам, что и для котлов нормальной конструкции.

Для котлов Штрмана, Роберта, Гресли-Джероу, НИС ЛЭМИИТ'а, Винтертурского завода, Леффлера, Дobl, Бенсона и прямоточных сопротивления поддувала и топки определяют по вышеуказанному, как и для котлов нормальной конструкции сопротивление же котла (водотрубной части его и пароперегревателей) а также сопротивления водяных и воздушных экономайзеров определяются по следующим уравнениям:

а) для котла, пароперегревателей и водяных экономайзеров

1) по исправленной формуле Reiber'a при протекании газа перпендикулярно пучку труб и параллельном (корридорном) расположении:

$$h_{зтр. корр.} = 2,5 \cdot 0,0022 \frac{\gamma}{g} \frac{W^2}{d} \left(\frac{W \cdot d \cdot \gamma}{\mu \cdot g} \right)^{-0,0272} \cdot n =$$

$$= 0,0006 \frac{\gamma^{0,9728} W^{1,9728}}{d^{1,0272}} \mu^{0,9272} \cdot n \text{ мм вод. ст.}$$

где

$$g = 9,81 \text{ м/сек}^2;$$

n — число рядов труб в пучке в направлении движения газов

μ — коэффициент вязкости дымовых газов (или воздуха) при средней температуре их между температурой газов и стеной труб, имеющий значения:

при

$$t_{ср} \text{ } ^\circ\text{C} = 100^\circ; 200^\circ; 300^\circ; 400^\circ; 500^\circ; 600^\circ; 700^\circ; 800^\circ;$$

$$\mu \frac{\text{кг сек}}{\text{м}^2} = \frac{2,2}{10^6}; \frac{2,6}{10^6}; \frac{2,9}{10^6}; \frac{3,2}{10^6}; \frac{3,6}{10^6}; \frac{3,8}{10^6}; \frac{4,1}{10^6}; \frac{4,3}{10^6}.$$

Коэффициент 2,5 введен в формулу Reiber'a на основании опытов над котельными установками (см. AEG. Mitteilungen, Die Kraftwerk Okt. 1931). Необходимость введения этого поправочного коэффициента объясняется неправильной структурой формулы.

Правильная формула должна иметь вид зависимости между критериями механического подобия Eu (критерия Эйлера, характеризующего величину гидродинамического сопротивления

и Re (числа Рейнальда, характеризующего турбулентность течения газов). Так как

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho W^2}, \text{ а } Re = \frac{W \cdot d \cdot \rho}{\mu},$$

где ρ — плотность газа, то зависимость между Eu и Re принимает вид: $Eu = f(Re)$ (10)

или

$$\frac{\Delta p}{\rho W^2} = f\left(\frac{Wd\rho}{\mu}\right) = C\left(\frac{W \cdot d\rho}{\mu}\right)^{-n} = C\left(\frac{Wd\gamma}{\mu g}\right)^{-n}$$

Таким образом, получаем:

$$\Delta p = C\left(\frac{Wd\gamma}{\mu \cdot g}\right)^{-n} \cdot \rho W^2 = C \frac{\gamma}{g} W^2 \left(\frac{Wd\gamma}{\mu \cdot g}\right)^{-n} \quad (11)$$

На основании этого ВИТГЭО предлагает вычислять $h_{зтр. корр.}$ из формулы:

$$\begin{aligned} h_{зтр. корр.} &= 0,1466 \frac{\gamma}{g} W^2 \left(\frac{Wd\gamma}{\mu \cdot g}\right)^{-0,03} n = \\ &= 0,016 \cdot \mu^{0,03} \cdot \frac{\gamma^{0,97} \cdot W^{1,97}}{d^{0,03}} \cdot n \text{ мм вод. ст.} \end{aligned} \quad (12)$$

здесь

$$g = 9,81 \text{ м/сек}$$

2) Исправленной формуле Reihel'a (см. AEG. Mitteilungen. Das Kraftwerk Okt. 1931) при протекании газов перпендикулярно пучку труб и шахматном их расположении:

$$\begin{aligned} h_{з шахм.} &= 2,5 \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{W^2}{d} \left(\frac{Wd\gamma}{\mu \cdot g}\right)^{-0,24} n = \\ &= 0,01235 \frac{\gamma^{0,76} W^{1,76}}{d^{1,24}} \mu^{0,24} n \text{ мм вод. ст.} \end{aligned} \quad (13)$$

здесь

$$g = 9,81 \text{ м/сек}^2.$$

Ввиду неправильной структуры формулы Reihel'a лучше пользоваться формулой ВИТГЭО, выведенной из зависимости между критериями механического подобия Eu и Re :

$$\begin{aligned} h_{з шахм.} &= 1,88 \frac{\gamma}{g} W^2 \left(\frac{Wd\gamma}{\mu \cdot g}\right)^{-0,24} n = \\ &= 0,3315 \mu^{0,24} \frac{\gamma^{0,76} W^{1,76}}{d^{0,24}} n \text{ мм. вод. ст.} \end{aligned} \quad (14)$$

здесь

$$g = 9,81 \text{ м/сек}^2.$$

Формулы Райера и полученные из них формулы ВИГЭО не выявляют влияния геометрических параметров пучков на сопротивление протеканию дымовых газов и, кроме того, эти формулы выведены при небольших числах Рейнольдса, что не дает уверенности в правильности расчетов при $Re > 10000$.

Поэтому инж. Антуфьевым и Козаченко (ЦКТИ) на основании ряда опытов предложены следующие формулы для подсчета сопротивления пучков труб с поперечным омыванием их дымовыми газами при различных температурных факторах и геометрических параметрах:

а) для шахматного расположения труб

$$\begin{aligned} \lambda_{2 \text{ тр. шахм.}} &= c_1 c_2 (n + 1) \rho \cdot w^2 \cdot Re_{(ст.)}^{-0,27} = \\ &= c_1 c_2 (n + 1) \frac{\mu_{ст.}^{0,27}}{g^{0,73}} \cdot \frac{\gamma^{0,73} W^{1,73}}{d^{0,27}} \left[\frac{0,5(T_1 + T_2)_{абс.}}{t_{ст. абс.}} \right]^{0,37} = \\ &= 0,208 \cdot c_1 c_2 (n + 1) \mu_{ст.}^{0,27} \frac{\gamma^{0,73} W^{1,73}}{d^{0,27}} \\ &\quad \left[\frac{0,5(T_1 + T_2)_{абс.}}{t_{ст. абс.}} \right]^{0,27} \text{ мм вод. ст.} \end{aligned} \quad (15)$$

где C_1 и C_2 — коэффициенты, зависящие от шага труб по ширине и глубине, — равные

$$\text{при } \frac{S_1}{d} = 1,25, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 1,0,$$

$$c_1 = 2,9, 2,1, 1,7, 1,53, 1,4, 1,3, 1,2$$

$$\text{при } \frac{S_2}{d} = 1,25, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0$$

$$c_2 = 0,75, 0,9, 1,05, 1,08, 1,1, 1,1, 1,1$$

n — число рядов труб пучка в глубину.

Коэффициент вязкости $\mu_{ст.}$ и число Рейнольдса $Re_{(ст.)}$ подсчитываются при температуре стенки; ρW^2 — при средней температуре дымовых газов в дымоходе

$$\left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right)^\circ \text{Ц}$$

в) для корридорных пучков

$$\begin{aligned} \lambda_{1 \text{ корр.}} &= (u + 0,057) \text{ см} \rho W^2 = (u + 0,057) \text{ см} \frac{\gamma W^2}{g} = \\ &= 0,102 (u + 0,057) \text{ см} \gamma W^2 \text{ мм вод. ст.} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\bar{u} = 0,136 \lg \frac{\frac{s_2}{d}}{\frac{s_1}{d} - 1}$$

где s_2 — шаг труб по глубине пучка

$$C = \left(\frac{75000}{Re_{cm.}} \lg \frac{\frac{s_1}{d}}{\frac{s_1}{d} - 1} \right)^m = \left(\frac{735750 \mu_{cm.}}{\gamma_{cm.} W \cdot d} \lg \frac{\frac{s_1}{d}}{\frac{s_1}{d} - 1} \right)^m$$

где s_1 — шаг труб по ширине пучка.

Число Рейнольдса $Re_{cm.}$, $\gamma_{cm.}$ и $\mu_{cm.}$ подсчитываются при температуре стенки.

Показатель степени m равен:

$$m = 0,25 \lg \left(\frac{\frac{s_2}{d}}{\frac{s_1}{d} - 1} + 0,4 \right)$$

3) Исправленной фортуле Fritzsche (см. AEG. Mitteilungen. Das Kraftwerk Okt. 1931) при протекании газов параллельно оси труб длиной l_m внутри них или снаружи:

$$\begin{aligned} h_{3mp.} &= 1,7 \cdot 0,00094 \frac{\gamma^{0,852} \cdot W^{1,852}}{d^{1,269}} l = \\ &= 0,0016 \frac{\gamma^{0,852} \cdot W^{1,852}}{d^{1,269}} \text{ лмм вод. ст.} \end{aligned} \quad (17)$$

при протекании газов внутри труб, и

$$h_{3mp.} = 0,0016 \frac{\gamma^{0,852} \cdot W^{1,852}}{d_o^{1,269}} \text{ лмм вод. ст.} \quad (17)$$

при протекании газов снаружи труб,

здесь

$$d_o = \frac{4F}{m \cdot \pi \cdot d} = \frac{4 \left(s_1 s_2 - \frac{\pi d^2}{4} \right)}{\pi d} \quad (18)$$

эквивалентный диаметр, причем F — поперечное сечение газохода, m — число труб, расположенных в рассматриваемом сечении газохода, d — их диаметр, s_1 и s_2 — шаг труб в продольном и поперечном направлениях.

По вышеуказанным формулам $h_{3mp.}$ определяется в случае движения газов без поворотов по дымоходу, заполненному

трубами; если же газы поворачивают из одного дымохода в другой (черт. 1), то сопротивление в месте поворота газов $h_{\text{повор.}}$ равно:
черт. 1.

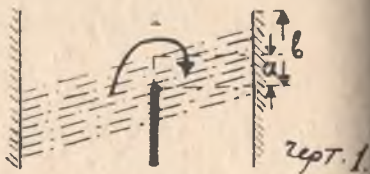
$$h_{\text{повор.}} = 3 \frac{\gamma_{\text{сп.}} W_{\text{сп.}}^2}{2g} \left(1 + 2,5 \frac{a}{b} \right) \text{ мм вод. ст.} \quad (19)$$

где a — высота дымохода, занятая трубами, b — полная высота дымохода (см. черт. 1). В среднем потеря тяги от местных сопротивлений:

$$\xi_{\text{з.л. с.}} = 3 \frac{\gamma_{\text{сп.}} W_{\text{сп.}}^2}{2g} \text{ мм вод. ст.} \quad (19-a)$$

а для котлов Штрмана:

$$\xi_{\text{з.л. с.}} = 12 \frac{\gamma_{\text{сп.}} W_{\text{сп.}}^2}{2g} \text{ мм вод. ст.} \quad (19-b)$$



При направлении газов сверху вниз сопротивление от самотяги

$$h_{\text{с. м.}} = a \cdot \left(1,2 - \frac{365}{T_{\text{сп. обс.}}} \right) \text{ мм вод. ст.} \quad (20)$$

(см. проф. Щеголев „Топливо, топки и котельн. установки“), где a — высота газохода в m .

в) Сопротивление протеканию газов в пластинчатых воздушных экономайзерах определяется по исправленной формуле Фритцше (см. AEG. Mitteilungen Das Kraftwerk Okt. 1931).

$$h_{\text{пр. в. эк.}} = 0,00125 \frac{\gamma^{0,852} \cdot W^{1,852}}{S^{1,269}} \cdot l \text{ мм вод. ст.} \quad (21)$$

причем $S(m)$ — зазор между пластинами, l — высота пластин в m . Сопротивление протеканию воздуха в пластинчатом воздушном экономайзере ввиду чистоты стенок газоходов определяется по формуле Фритцше:

$$h_{\text{I подд.}}^1 = 0,000593 \frac{\gamma_{\text{возд.}}^{0,852} \cdot W_{\text{возд.}}^{1,852}}{S_{\text{I}}^{1,269}} l_1 \text{ мм вод. ст.} \quad (22)$$

причем $l_1 m$ — представляет полную длину канала для протекания воздуха в воздушном экономайзере, $S_{\text{I}}(m)$ — зазор между пластинами. Кроме того, потеря тяги от местных сопротивлений при протекании воздуха в пластинчатом воздушном экономайзере составляет:

$$h_{\text{I подд.}}^{\text{II}} = \sum k_1 \frac{\gamma_{\text{возд.}} W_{\text{возд.}}^2}{2g} \quad (23)$$

где k_1 — коэффициент сопротивления от поворота на угол 90° равный 2 — 1.

Оба сопротивления $h_{\text{I подд.}}^1$ и $h_{\text{I подд.}}^{\text{II}}$ включаются при наличии воздушного экономайзера в сопротивление поддувала.

Сопротивление воздушных экономайзеров трубчатых (типа Коштрема) определяется по формуле Фритzsche:

$$h_{I\text{подд.}}^I + h_{I\text{подд.}}^{II} = 0,00094 \frac{\gamma_{\text{возд.}}^{0,862} W_{\text{подд.}}^{1,053}}{d^{1,397}} l_1 + 2 \frac{\gamma_{\text{возд.}} W_{\text{возд.}}^2}{2g} \text{ мм. вод. ст.} \quad (24)$$

По этой же формуле находим сопротивление трубы, подводящей воздух из воздушного экономайзера в поддувало

$$h_{I\text{подд.}}^{III} + h_{I\text{подд.}}^{IV}$$

Наконец, $h_{д.к.}$ — сопротивление дымовой коробки и искроуловителя в ней подсчитываются по вышеуказанному.

Таким образом, полная потребная тяга в котле специального типа равна:

$$h = \sum h_1 = h_1 + h_{I\text{подд.}}^I + h_{I\text{подд.}}^{II} + h_{I\text{подд.}}^{III} + h_{I\text{подд.}}^{IV} + h_2 + h_3 + h_{не} + h_{э.к.} + h_{э.к.} + h_{д.к.}^I \quad (25)$$

Для нормального паровозного котла потребная тяга равна:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_{д.к.} = \left[a_1 \left(\frac{R}{F_{I\text{подд.}}} \right)^2 + a_2 + a_{2\text{св.}} + a_3 \left(\frac{R}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}} \right)^2 + a_4 \right] \left(\frac{H}{R} \right)^2 \quad (26)$$

По данным Олтунской испытательной станции величина h для мощных паровозов нормальной конструкции с пароперегревателями в широких жаровых трубах равна:

1) при отоплении жирными углями $h=0,31$ у мм вод. ст. (27)

2) при отоплении тощими углями и антрацитами в смеси с жирными углями $h=0,45$ у мм вод. ст. (28)

причем $u = \frac{B}{R}$ — напряжение колосниковой решетки в кг/кв м. ч.

Первая из этих формул дает преуменьшенные значения для паровозов СССР; пригодной для ориентировочных расчетов для паровозов с перегревателями в широких жаровых трубах (Шмидта, Чусова) является формула (20).

Пример 1-й. Определим полное сопротивление паровозного котла нормальной конструкции по следующим данным: расход пара по машине

$$U_m = 11500 \text{ кг/час.},$$

количество топлива, сжигаемое в час

$$B = 2412,77 \text{ кг/час.}$$

вес дымовых газов на 1 кг топлива:

$$G_{д.г.} = 13,89 \text{ кг/кг.}$$

Объем уходящих газов при нормальных условиях:

$$V_{д. з.} = 10,552 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

температура уходящих газов

$$T_{у.г.} = 350^\circ \text{Ц}$$

средняя скорость уходящих газов

$$W_2 = W_{у.г.} = 16,76 \text{ м/сек.}$$

средняя скорость газов в дымогарных трубах

$$W_{ср. дым.} = 28,36 \text{ м/сек.}$$

средний удельный вес газов в дымогарных трубах

$$\gamma_{дым.} = 0,386 \text{ кг/м}^3$$

средняя скорость газов в жаровых трубах

$$W_{ср. жар.} = 27,73 \text{ м/сек.}$$

средний удельный вес газов в жаровых трубах

$$\gamma_{жар.} = 0,381 \text{ кг/м}^3$$

коэффициент разделения газов между жаровыми и дымогарными трубами — $\mu^1 = 0,5$.

Площадь колосниковой решетки $R = 7,31 \text{ м}^2$

длина труб

$$l = 6,36 \text{ м}$$

средний диаметр труб

$$d_{ср.} = \sqrt{\frac{m d_{дым.}^2 + n (d_{жар.}^2 - \frac{4}{\pi} \sum f_{пе})}{m + n}} = 0,06 \text{ м.}$$

$$\frac{l}{d_{ср.}} = 106; (\Omega_{дым.} + \Omega_{жар.})_{ср.} = 0,898 \text{ м}^2; f_r =$$
$$= (\Omega_{дым.} + \Omega_{жар.})_{вых.} = 0,962 \text{ м}^2;$$

$$d_{жар.}^2 - \frac{4}{\pi} \sum f_{пе} = 0,011 \text{ м}^2; d_{жар.}^2 = 0,0121 \text{ м}^2; d_{дым.}^2 = 0,002116$$

число цилиндров $n_1 = 4$.

Напряжение испаряющей поверхности нагрева котла

$$Z_k = 31 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{ час}}$$

коэффициент избытка воздуха $\alpha_r = 1,766$; напряжение колосковой решетки $y = 350 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$

Удельный вес уходящих газов

$$\gamma_{д. з.} = \frac{G_{д. з.}}{V_{д. з.}} \cdot \frac{273,2}{T_{пл. абс.}} = \frac{13,89}{10,552} \cdot \frac{273,2}{350 + 273,2} = 0,58 \text{ кг/м}^3$$

Средний удельный вес газов в жаровых и дымогарных трубах

$$\begin{aligned} \gamma_{ср.} &= \mu^1 \gamma_{ср. \text{ дым.}} + (1 - \mu^1) \gamma_{ср. \text{ ж.}} = \\ &= 0,5 \cdot 0,386 + 0,5 \cdot 0,381 = 0,383 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Средняя скорость газов в жаровых и дымогарных трубах:

$$\begin{aligned} W_{ср.} &= \mu^1 W_{ср. \text{ дым.}} + (1 - \mu^1) W_{ср. \text{ ж.}} = \\ &= 0,5 \cdot 28,36 + 0,5 \cdot 27,73 \cong 28 \text{ м/сек.} \end{aligned}$$

Секундное количество пара, вытекающее из конуса:

$$D = \frac{U_{м.}}{3600} = \frac{11500}{3600} = 3,2 \text{ кг/сек.}$$

Секундное количество дымовых газов, уходящих в дымовую трубу:

$$H = \frac{BG_{д. з.}}{3600} = \frac{2412,77 \cdot 13,89}{3600} = 9,31 \text{ кг/сек.}$$

Отношение:

$$\frac{H}{D} = \frac{9,31}{3,2} = 2,9$$

Полное необходимое разрежение для котла по формуле (26) равно:

$$p_a - p_x = \left(\frac{H}{R}\right)^2 \left[a_1 \left(\frac{R}{F_{1\text{подд.}}}\right)^2 + a_2 + a_3 \left(\frac{R}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}}\right)^2 + a_4 \right]$$

при чем $a_1 = 0,08$, $F_{\text{подд.}} = 0,09R$, $a_2 = 20$, $a_4 = 4$; коэффициент a_3 по формуле (5) Штраля равен:

$$\begin{aligned} a_3 &= \left(0,04 + 0,005 \frac{l}{d_{\text{дым.}}}\right) \left[\mu^1 + \frac{(1 - \mu^1) d_{\text{дым.}}^2 l}{d_{1\text{ж.}}^2 l_1 + \left(d_{2\text{ж.}}^2 - \frac{4}{\pi} \sum f_{\text{не}}\right) l_2} \right] = \\ &= \left(0,04 + 0,005 \frac{6,36}{0,046}\right) \left[0,5 + \frac{0,5 \cdot 0,046^2 \cdot 6,36}{0,0121 \cdot 0,865 + 0,011 \cdot 5,495} \right] = \\ &= 0,73(0,5 + 0,095) = 0,435 \end{aligned}$$

При этом сопротивление цилиндрической части котла

$$h_{\text{ж. с.}} + h_{\text{ж. с.}} = a_3 \left(\frac{H}{\Omega_{\text{дым.}} + \Omega_{\text{жар.}}}\right)^2 = 0,435 \left(\frac{9,31}{0,898}\right)^2 = 47 \text{ мм. вод. ст.}$$

Также коэффициент a_3 по формуле Фритцше равен:

$$\begin{aligned} a_3 &= 1,7\beta \frac{l}{d_{ср.}} \cdot \frac{1}{\gamma_{ср.}} + \frac{3}{2g} \frac{1}{\gamma_{ср.}} = \\ &= 1,7 \frac{14,1}{10^4} \frac{6,36}{0,06} \cdot \frac{1}{0,383} + \frac{3}{2 \cdot 9,81} \frac{1}{0,383} = 0,664 + 0,399 = 1,063 \end{aligned}$$

причем коэффициент β равен по формуле (3-а):

$$\beta = \frac{9,4}{10^4} \frac{1}{(\gamma_{ср.} W_{ср.})^{0,148} a_{ср.}^{0,269}} = \frac{9,4}{10^8} \frac{1}{(0,383 \cdot 28)^{0,148} \cdot 0,06^{0,269}} =$$

При этом значении коэффициента a_3 сопротивление цилиндрической части котла равно:

$$h_{3_{ср.}} + h_{3_{м.с.}} = a_3 \left(\frac{H}{\Omega_{д.м.} + \Omega_{ж.ср.}} \right)^2 = 1,063 \left(\frac{9,31}{0,898} \right)^2 = 115 \text{ мм вод. ст.}$$

То-же сопротивление по формуле проф. Щоголева (6):

$$h_{3_{ср.}} + h_{3_{м.с.}} = 0,03(z_{\kappa} a)^2 = 0,03(31 \cdot 1,766)^2 = 91 \text{ мм. вод. ст.}$$

Принимая коэффициент a_3 равным 1,063, как более достоверный, чем коэффициент a_3 по данным Штраля, находим полное разрежение в дымовой коробке:

$$\begin{aligned} h = p_a - p_x &= \left(\frac{9,31}{7,31} \right)^2 \left[0,08 \left(\frac{7,31}{0,09 \cdot 7,31} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 20 + 1,063 \left(\frac{7,31}{0,898} \right)^2 + 4 \right] = \\ &= 1,62 [10 + 20 + 70 + 4] = 170 \text{ мм. вод. ст.} \end{aligned}$$

То-же разрежение по формуле (28) Олтунской испытательной станции равно:

$$h = 0,45u = 0,45 \cdot 350 \cong 158 \text{ мм. вод. ст.}$$

Что близко к вышенайденному $h = 170 \text{ мм. вод. ст.}$

Пример—2-й. Определим полное сопротивление котла Мюллера по следующим данным: Расход пара по машине

$$U_{м.} = 9000 \text{ кг/час.}$$

расход топлива

$$B = 1419,26 \text{ кг/час.}$$

вес дымовых газов на 1 кг. топлива

$$G_{д.г.} = 13,89 \text{ кг/кг.}$$

объем уходящих газов при нормальных условиях

$$V'_{д.г.} = 10,552 \text{ нм}^3/\text{кг.}$$

температура уходящих газов

$$T_{yx} = 150^\circ \text{Ц}$$

средняя скорость дымовых газов в перегревателе высокого давления

$$W_{1не} = 19,3 \text{ м/сек. и } t_{1ср.} = 660^\circ \text{Ц}$$

средний удельный вес дымовых газов в перегревателе высокого давления

$$\gamma_{1не} = 0,33 \text{ кг/м}^3$$

линии скорость дымовых газов в перегревателе низкого давлени

$$W_{2ne} = 13,7 \text{ м/сек и } t_{2cp.} = 460^\circ\text{Ц}$$

линии удельный вес дымовых газов в перегревателе низкого давлени

$$\gamma_{1nc.} = 0,165 \text{ кг/м}^3$$

линии скорость дымовых газов в водяном экономайзере

$$W_{эк.} = 10,8 \text{ м/сек и } t_{эк. ср.} = 325^\circ\text{Ц}$$

линии удельный вес дымовых газов в водяном экономайзере

$$\gamma_{эк.} = 0,59 \text{ кг/м}^3$$

линии скорость дымовых газов в воздушном экономайзере

$$W_{вэ.к.} = 8,5 \text{ м/сек и } t_{вэ.к. ср.} = 150^\circ\text{Ц}$$

ко рядов трубок перегревателя высокого давления

$$n_{1ne} = 20$$

ко рядов трубок перегревателя низкого давления

$$n_{2ne} = 16$$

ко рядов трубок водяного экономайзера

$$n_{э.к.} = 52$$

ко рядов трубок воздушного экономайзера

$$n_{вэ.к.} = 23$$

линии удельный вес воздуха

$$\gamma_{возд.} = 1,06 \text{ кг/м}^3$$

диаметр труб перегревателей и водяного экономайзера

$$d = 30/38 \text{ мм}$$

диаметр трубок воздушного экономайзера

$$d_{вэ.к.} = 30/33 \text{ мм}$$

линии скорость воздуха в воздушном экономайзере

$$W_{возд.} = 10 \text{ м/сек.}$$

линии трубок воздушного экономайзера

$$l_{вэ.к.} = 1,2 \text{ м.}$$

площадь колосниковой решетки

$$R = 4,3 \text{ м}^2.$$

линии скорость воздуха в трубе, подводящей воздух в подду

$$W'_{возд.} = 11,7 \text{ м/сек.}$$

линии удельный вес воздуха в трубе

$$\gamma'_{возд.} = 0,91 \text{ кг/м}^3$$

диаметр трубы

$$d_{тр} = 0,56 \text{ м.}$$

длина трубы

$$l = 9 \text{ м.}$$

число труб — две.

Секундное количество дымовых газов, уходящих в дымовую трубу:

$$H = \frac{BG_{\text{д.г.}}}{3600} = \frac{1419,26 \cdot 13,89}{3600} = 5,47 \text{ кг сек.}$$

Секундное количество пара, вытекающее из конуса

$$D = \frac{U_{\text{м.}}}{3600} = \frac{9000}{3600} = 2,5 \text{ кг/сек.}$$

Сопротивление поддувала и топки определяем из формул (1) (2—в)

$$h_1 = a_1 \left(\frac{H}{F_1 \text{ подд.}} \right)^2 = 0,08 \left(\frac{5,47}{0,09 \cdot 4,3} \right)^2 = 16 \text{ мм вод ст.}$$

$$h_2 = a_2 \left(\frac{H}{R} \right)^2 = 20 \left(\frac{5,47}{4,3} \right)^2 = 32,4 \text{ мм. вод. ст.}$$

здесь

$$F_1 \text{ подд.} = 0,09 R \text{ м}^2$$

Сопротивление протеканию воздуха в воздушном экономайзере и трубе, подводящей воздух в поддувало, находим из формулы (24)

$$\begin{aligned} & h_1 \text{ подд.} + h_1^{\text{II}} \text{ подд.} + h_1^{\text{III}} \text{ подд.} + h_1^{\text{IV}} \text{ подд.} = \\ & = 0,00094 \frac{\gamma_{\text{возд.}}^{0,852} W_{\text{возд.}}^{1,852}}{d^{1,269}} l_{\text{век.}} + 2 \frac{\gamma_{\text{возд.}} W_{\text{возд.}}^2}{2g} + \\ & + 0,00094 \frac{\gamma_{\text{возд.}}^{0,852} (W_{\text{возд.}}^1)^{1,852}}{d_{\text{тр}}^{1,269}} l_{\text{тр}} + 2 \frac{\gamma_{\text{возд.}} (W_{\text{возд.}}^1)^2}{2g} = \\ & = 0,00094 \frac{1,06^{0,852} \cdot 10^{1,852}}{0,03^{1,269}} \cdot 1,2 + 2 \frac{1,06 \cdot 10^2}{2 \cdot 9,81} + \\ & + 0,00094 \frac{0,91^{0,852} \cdot 11,7^{1,852}}{0,56^{1,269}} \cdot 9 + \frac{2 \cdot 0,91 \cdot 11,7^2}{2 \cdot 9,81} = 7,3 + \\ & + 10,8 + 1,6 + 12,7 = 32,4 \text{ мм. вод. ст.} \end{aligned}$$

Сопротивление пароперегревателя высокого давления определяем из формулы (13):

$$\begin{aligned} h'_{\text{з шах.}} & = 0,01235 \frac{\gamma_{\text{не}}^{0,76} W_{\text{не}}^{1,76}}{d^{1,24}} \nu_{\text{не}}^{0,24} \cdot n = \\ & = 0,01235 \left(\frac{4}{10^6} \right)^{0,24} \frac{0,33^{0,76} \cdot 19,3^{1,76}}{0,038^{1,24}} \cdot 20 = 55,5 \text{ мм. вод. ст.} \end{aligned}$$

то же сопротивление по формуле (14) равно:

$$h_{\text{з}}^{\text{I}} \text{ шах.м.} = 0,3315 \mu_1^{0,24} \frac{\gamma_{1\text{не}}^{0,76} W_{1\text{не}}^{1,76}}{d^{0,24}} n_1 =$$

$$= 0,3315 \left(\frac{4}{10^6} \right)^{0,24} \frac{0,33^{0,76} \cdot 19,3^{1,76}}{0,038^{1,24}} 20 = 59,5 \text{ мм. вод. ст.}$$

Сопротивление при входе в пароперегреватель

$$h_{\text{з}}^{\text{II}} = \frac{\gamma_{1\text{не}} \cdot W_{1\text{не}}^2}{2g} = \frac{0,33 \cdot 19,3^2}{2 \cdot 9,81} = 6,3 \text{ мм. вод. ст.}$$

Сопротивление пароперегревателя низкого давления находим по формулы (14)

$$h_{\text{з}}^{\text{II}} \text{ шах.м.} = 0,3315 \mu_2^{0,24} \frac{\gamma_{2\text{не}}^{0,76} \cdot W_{2\text{не}}^{1,76}}{d^{0,24}} \cdot n_2 =$$

$$= 0,3315 \frac{0,465^{0,76} \cdot 13,7^{1,76}}{0,038^{0,24}} \left(\frac{3,45}{10^6} \right)^{0,24} 16 = 31,8 \text{ мм. вод. ст.}$$

Сопротивление водяного экономайзера определяем из той же формулы (14):

$$h_{\text{з}}^{\text{III}} \text{ шах.м.} = 0,3315 \mu_{\text{эж.}}^{0,24} \frac{\gamma_{\text{эж.}}^{0,76} W_{\text{эж.}}^{1,76}}{d_{\text{эж.}}^{0,24}} n_{\text{эж.}} =$$

$$= 0,3315 \frac{0,59^{0,76} \cdot 10,8^{1,76}}{0,038^{0,24}} \left(\frac{3}{10^6} \right)^{0,24} 52 = 79 \text{ мм. вод ст.}$$

Сопротивление воздушного экономайзера протеканию газов находим по той же формуле (14).

$$h_{\text{з}}^{\text{IV}} \text{ шах.м.} = 0,3315 \mu_{\text{вэж.}}^{0,24} \frac{\gamma_{\text{вэж.}}^{0,76} W_{\text{вэж.}}^{1,76}}{d_{\text{вэж.}}^{0,24}} n_{\text{вэж.}} =$$

$$= 0,3315 \left(\frac{2,4}{10^6} \right)^{0,24} \frac{0,75^{0,76} \cdot 8,5^{1,76}}{0,033^{0,24}} 23 = 26,8 \text{ мм. вод. ст.}$$

Сопротивление при выходе в дымовую коробку:

$$h_{\text{з}}^{\text{V}} = \frac{\gamma_{\text{вэж.}} W_{\text{вэж.}}^2}{2g} = \frac{0,75 \cdot 8,5^2}{2 \cdot 9,81} = 2,8 \text{ мм. вод. ст.}$$

Сопротивление дымовой коробки определяем из формулы (8)

$$h_{\text{з}}^{\text{VI}} = a_1 \left(\frac{H}{R} \right)^3 = 2 \left(\frac{5,47}{4,3} \right)^3 = 3,2 \text{ мм. вод. ст.}$$

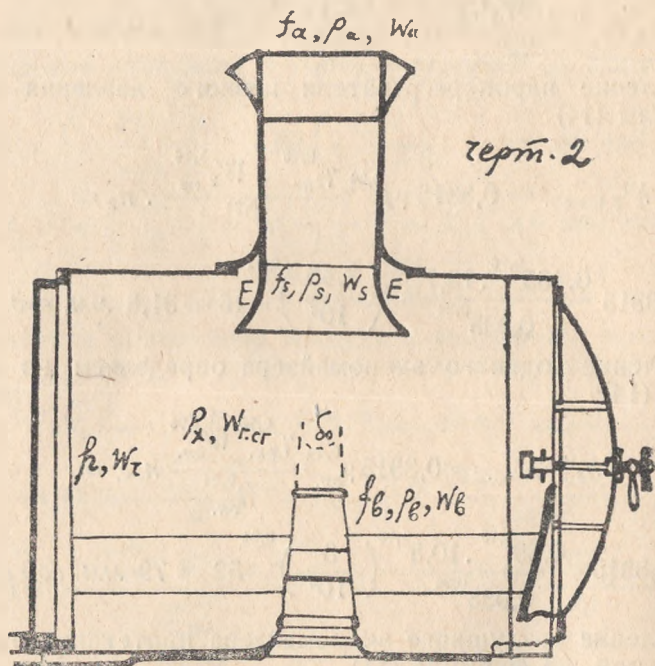
Полная тяга, потребная для котла, по формуле (25) равна:

$$h = \Sigma h' = 16 + 32,4 + 32,4 + 59,5 + 6,3 + 31,8 + 79 + 26,8 + 2,8 + 3,2 = 290,2 \cong 290 \text{ мм. вод. ст.}$$

РАСЧЕТ КОНУСА И ДЫМОВОЙ ТРУБЫ.

Примем следующие обозначения (черт. 2):

W_6 — средняя скорость пара в выходном сечении конуса



W_7 — скорость продуктов горения при выходе из котла в дымовую коробку в м/сек.,

$W_{д.г.}$ — средняя скорость продуктов сгорания в дымовой пробке в м/сек.,

W_s — средняя скорость смеси пара и продуктов сгорания в узком сечении трубы EE , совершенно ими заполненном в м/сек.,

W_a — средняя скорость смеси пара и продуктов сгорания в выходном сечении трубы в м/сек.,

ρ_a — давление в конусе в кг/м²., ρ_x — давление в дымовой коробке в кг/м².,

ρ_n — давление в узком сечении дымовой трубы EE в кг/м².,

ρ_n — давление наружной атмосферы в выходном сечении трубы в кг/м².,

α'_0 — коэффициент сжатия струи пара в выходном сечении конуса

φ — коэффициент скорости истечения пара из конуса,

$\mu'_0 = \alpha'_0 \varphi$ — коэффициент расхода пара из конуса,

δ_0 — угол конусности головки конуса, равный $\delta_0 = 6^\circ \div 20^\circ$, наиболее часто применяются углы $\delta_0 = 11,5^\circ \div 14^\circ$.

f_0 — площадь конуса выходного сечения в m^2 , f_r — сумма площадей выходных сечений из котла в дымовую коробку (для выхода продуктов сгорания) в m^2 ; f_s — площадь сечения дымовой трубы в наиболее узком сечении ее EE в m^2 ; f_a — площадь выходного сечения дымовой трубы в m^2 .

$D_{маш.}$ — вес пара, вытекающего из конуса в $кг/сек.$ Для паровозов с водоподогревателями или с инжектором мягого пара вместо $D_{маш.}$ необходимо принимать:

$D_{маш.} (1 - \mu_1)$ —, причем μ_1 — коэффициент отвода мягого пара в водоподогреватель или инжектор.

H — вес продуктов сгорания, увлекаемых паром в $кг/сек.$

ψ — коэффициент скорости для дымовых газов, учитывающий сопротивление, которые воздух и продукты сгорания испытывают на пути от поддувала до дымовой коробки. На величину коэффициента ψ оказывают влияние: степень открытия дверей поддувала, величина промежутков между колосниками, состояние огня в топке, поперечное сечение и длина дымогарных и жаровых труб и пр. Для средних условий $\psi = 0,15 \div 0,3$, при прикрывании дверей поддувала величина его может быть произвольна уменьшена. С другой стороны, коэффициент ψ увеличивается при широко открытом поддувале, тонком и рыхлом слое топлива, большой свободной площади колосниковой решетки, широких и коротких дымогарных трубах и т. д. Поэтому величина коэффициента ψ должна быть определена расчетом в каждом конкретном случае.

$d_{дым.}$ — диаметр дымогарных труб в m ; $d_1_{ж.}$ и $d_2_{ж.}$ — диаметр суженной части жаровых труб и соответственно диаметр в месте расположения пароперегревателя, $d_{не}$ — диаметр трубок пароперегревателя в m , k — число их в одной жаровой трубе, l — длина труб в m .

γ_0 — удельный вес пара, вытекающего из конуса, в $кг/m^3$,

$\gamma_{г.}$ — удельный вес дымовых газов, выходящих из котла в дымовую коробку в $кг/m^3$; $\gamma_{см.}$ — удельный вес смеси из пара и дымовых газов вытекающих из дымовой коробки в дымовую трубу, в $кг/m^3$.

По данным Штраля для паровозов, работающих насыщенным паром, можно считать, что удельный объем пара, вытекающего из конуса, V_0 равен уд. объему дымовых газов, вытекающих из котла в дымовую коробку $V_{д.к.}$ и равен уд. объему смеси газов и пара $V_{см.}$ при входе в дымовую трубу т. е.

$$V_0 = V_{д.к.} = V_{см.} = V.$$

Для паровозов, работающих перегретым паром, по тем же указаниям Штраля $V_n = 1,15 V_{см.}$ Указанные данные Штраля равносильны для насыщенного пара принятию равенства:

$$\gamma_n = \gamma_{д. з.} = \gamma_{см.}$$

а для перегретого пара — равенства

$$\gamma_{см.} = 1,15 \gamma_n$$

Однако данные Штраля являются весьма приближенными. Поэтому гораздо точнее определять уд. вес из уравнений: для пара:

$$\gamma_n = \frac{1}{V_n} = \frac{1}{x \cdot v_s + (1-x)\sigma} \quad (2)$$

при чем

$$V_n = X \cdot V_s + (1-X)\sigma = X(V_s - \sigma) + \sigma \frac{нм^3}{кг.}$$

где X — паросодержание пара при вытекании из конуса; по данным проф. Сыромятникова, для паровозов, работающих насыщенным паром $X_{ср.} = 0,8$ (во время предварения выпуска $X = 0,6 - 0,7$, в конце выпуска $X = 0,9 - 1$ за счет притока тепла к пару от стенок цилиндра); V_s и σ — уд. объем сухого насыщенного пара и жидкости из таблиц Моллье для соответствующего давления в устье конуса.

Для паровозов, работающих перегретым паром γ_n можно приближенно определить из формулы:

$$\gamma_n \cong \frac{1}{V_s}$$

считая пар, уходящий из конуса сухим насыщенным; точнее в этом случае γ_n определить по формуле Тумлирца:

$$\gamma_n \cong \frac{1}{47,1 (t_{yx.} + 273,2)} \frac{кг м^3}{10000 p_{в.}} - 0,016 \quad (3)$$

где $t_{yx.}$ — температура пара, уходящего из конуса, имеющего значения:

При температуре $t_{не}$ — пара в золотниковой коробке:
 $t_{не.} = 275^\circ C, 309^\circ C, 325^\circ C, 336^\circ C, 375^\circ C, 405^\circ C$ температура $t_{yx.}$ равна соответственно: $114^\circ C, 121^\circ C, 131^\circ C, 148^\circ C, 176^\circ C, 200^\circ C$, (см. справочник ИТС „паровоз“ 1934 г.)

$p_{в.}$ — давление в устье конуса в атм. абс. Для нормальной конуса с круглым выходным сечением имеем следующие значения $p_{в.}$:

При разрежении в дымовой коробке:

$h = 50 \text{ мм. вод. ст.}; 100 \text{ мм. вод. ст.}; 150 \text{ мм. вод. ст.}; 200 \text{ мм. вод. ст.}$

$p_{в.} = 1,15 \text{ атм. абс.}; 1,25 \text{ атм. абс.}; 1,4 \text{ атм. абс.}; 1,6 \text{ атм. абс.}$

Удельный вес дымовых газов

$$\gamma_{d.z.} = \frac{G_{d.z.}}{V_{d.z.}} \cdot \frac{273,2}{T_{yx. abs.}} \cdot \frac{10333 - h}{10333} \text{ кг/м}^3 \quad (31)$$

при чем $g_{d.z.}$ и $V_{d.z.}$ — вес дымовых газов и объем их (при нормальных условиях), полученных при сжигании 1 кг топлива.

Удельный вес смеси пара и газов

$$\gamma_{см.} \approx \frac{\gamma_{d.z.} H + \gamma_n \cdot D}{H + D}$$

Что же касается скорости движения продуктов сгорания $W_{d.z.}$ в дымовой коробке, сечение которой гораздо больше сечения дымогарных и жаровых труб, то при скоростях выхода их из передней трубчатой решетки, равных $W_r = 15 - 25 \text{ м/сек.}$, скорость их по направлению к узкому сечению трубы (без учета ускоряющего воздействия паровой струи, вытекающей из конуса) равна: $1,5 - 7,5 \text{ м/сек.}$ причем

$$\frac{W_{d.z.}}{W_r} = K_o = 0,1 - 0,3.$$

Перейдем теперь к рассмотрению работы конуса и дымовой трубы.

Скорость W_a пара, вытекающего из конуса, вследствие удара и взаимного трения паровых и газовых частиц быстро убывает, пока в сечении трубы EE не сделается равной W_s . Под влиянием указанных явлений живая сила паровой струи изменяется по теореме Борда-Карно на величину:

$$\frac{D(W_a - W_s)^2}{2g}$$

Те же явления имеют место и для газовой струи, причем живая сила газовой струи изменяется на величину

$$H \frac{(W_{d.z.} - W_s)^2}{2g}$$

При переходе из дымовой коробки в узкое сечение дымовой трубы смесь газов и пара имеет объем

$$\frac{D + H}{\gamma_{см.}}$$

и подвергается давлению со стороны дымовой коробки p_a , со стороны узкого сечения трубы — p_s .

Поэтому работа, затраченная паром на сжатие смеси, равна —

$$- (D + H) \frac{p_s - p_a}{\gamma_{см.}}$$

Наконец, часть энергии паровой струи, потерянной на удар, восстанавливается, а именно: вследствие трения паровых и га-

зовых частиц возникает тангенциальная сила, направленная в сторону движения парогазовой смеси, работу которой в $кг/сек.$ можно определить из следующих соображений кинетической теории газов (см. Эйкен „Основные начала физической химии“, Блох „Кинетическая теория газов“):

Обозначим среднюю квадратичную скорость молекул пар в струе смеси через ω_n $м/сек.$; число их в единице объема через „ n_n “, среднюю квадратичную скорость молекул дымовых газов — через $\omega_{д.г.}$ $м/сек.$ и число их в единице объема — через $n_{д.г.}$. Эти молекулы двигаются в различных направлениях и различными скоростями, но, как показал Больцманн, все они могут быть заменены тремя потоками молекул, двигающимися по трем взаимно перпендикулярным направлениям с средней скоростью соответственно ω_n $м/сек.$ и $\omega_{д.г.}$ $м/сек.$ причем в каж-

дом потоке имеется соответственно $\frac{n_n}{3}$ и $\frac{n_{д.г.}}{3}$ молекул.

Рассмотрим потоки молекул $\frac{n_n}{3}$ и $\frac{n_{д.г.}}{3}$, движущиеся перпендикулярно к поверхности раздела обоих газов; так как число молекул огромно, то можно принять, что $\frac{n_n}{6}$ и $\frac{n_{д.г.}}{6}$ молекул двигается справа налево и столько же направо. При этом через единицу поверхности раздела струи парогазовой смеси и дымовых газов пройдет в течение секунды $\frac{n_n \omega_{д.г.}}{6}$ молекул из струи внутрь объема, заполненного дымовыми газами, и $\frac{n_{д.г.} \omega_{д.г.}}{6}$ молекул дымовых газов войдет внутрь парогазовой струи. Молекулы парогазовой струи перенесут с себе-

количество движения: $\frac{n_n \omega_n}{6} m_n W_n$, а молекулы дымовых газов — количество движения $\frac{n_{д.г.} \omega_{д.г.}}{6} m_{д.г.} W_{д.г.}$, при чем

W_n $см/сек$ обозначает скорость движения струи парогазовой смеси в рассматриваемом ее сечении AB , $W_{д.г.}$ $м/сек$ — скорость движения дымовых газов в дымовой коробке, m_n и $m_{д.г.}$ — массы молекул парогазовой струи и дымовых газов. Вследствие различия обоих количеств движения возникает тангенциальная сила, равная:

$$dF = d\Omega \left(\frac{n_n \omega_n}{6} m_n W_n - \frac{n_{д.г.} \omega_{д.г.}}{6} m_{д.г.} W_{д.г.} \right)$$

где $d\Omega$ — поверхность раздела парогазовой струи и дымовых газов в сечении AB . Помножив и разделив первое количество движения на l_n , а второе на $l_{д.г.}$, где l_n к $l_{д.г.}$ — предель-

ляют свободные пробеги молекул парогазовой струи и дымовых газов, имеем:

$$dF = d\Omega \left(\frac{n_n \omega_n m_n l_n}{3} \cdot \frac{W_n}{2l_n} - \frac{n_{d.z.} \omega_{d.z.} m_{d.z.} l_{d.z.}}{3} \cdot \frac{W_{d.z.}}{2l_{d.z.}} \right);$$

но

$$\begin{aligned} \frac{n_n m_n \omega_n l_n}{3} &= \mu_n \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^2}, & a \frac{n_{d.z.} \omega_{d.z.} m_{d.z.} l_{d.z.}}{3} &= \\ & & &= \mu_{d.z.} \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^2} \end{aligned}$$

причем μ_n и $\mu_{d.z.}$ представляют коэффициенты вязкости парогазовой смеси и дымовых газов. Поэтому:

$$dF = d\Omega \left(\frac{\mu_n}{2l_n} W_n - \frac{\mu_{d.z.}}{2l_{d.z.}} W_{d.z.} \right) \text{ кг.}$$

Работа этой тангенциальной силы

$$dL_n = dF \cos \frac{\delta}{2} W_n \frac{\text{кг. м.}}{\text{сек.}};$$

здесь δ представляет угол при вершине конуса парогазовой струи, который является поверхностью раздела струи смеси от дымовых газов, заполняющих дымовую коробку, при чем тангенциальная сила вязкого трения dF приложена именно к этой поверхности.

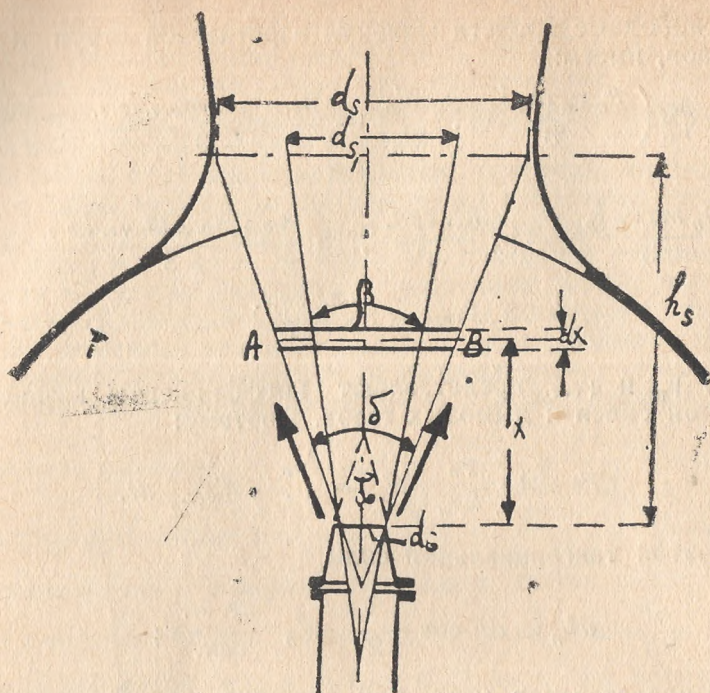
Для вычисления полной работы сил вязкого трения рассмотрим сечение парогазовой струи AB на расстоянии X от устья конуса d_0 . (черт. 3), причем выделим двумя параллельными плоскостями часть струи высотой dx . Обозначим, кроме того, через β угол при вершине того конуса паровой струи, который получился бы если бы струя пара, двигаясь в каждом сечении с теми же скоростями, с какими движется парогазовая струя, совсем не увлекала дымовых газов.

При этих обозначениях имеем: поверхность выделенного элемента парогазовой струи:

$$d\Omega = \pi \left(d_0 + 2tg \frac{\delta}{2} x \right) \frac{dx}{\cos \frac{\delta}{2}} \text{ м}^2$$

скорость парогазовой струи в сечении AB

$$W_n = \frac{AD}{\frac{1}{2} \pi \left(d_0 + 2tg \frac{\beta}{2} x \right)^2}$$



Чертеж 3.

Поэтому элементарная работа трения, выраженная в кгм/сек

$$dL_n = dF \cos \frac{\delta}{2} \cdot W_n = d\Omega \left(\frac{\mu_n}{2l_n} W_n - \frac{\mu_{\partial.2.}}{2l_{\partial.2.}} W_{\partial.2.} \right) \cos \frac{\delta}{2} \cdot W_n =$$

$$= \pi \left(d_s + 2tg \frac{\delta}{2} x \right) \frac{dx}{\cos \frac{\delta}{2}} \left[\frac{\mu_n}{2l_n} \cdot$$

$$\frac{4D}{\gamma_n \pi \left(d_s + 2tg \frac{\beta}{2} x \right)^2} - \frac{\mu_{\partial.2.}}{2l_{\partial.2.}} W_{\partial.2.} \right] \cos \frac{\delta}{2} \cdot$$

$$\frac{4D}{\gamma_n \pi \left(d_s + 2tg \frac{\beta}{2} x \right)^2} =$$

$$= \frac{\mu_n}{2l_n} \left(\frac{4D}{\gamma_n} \right)^2 \frac{1}{\pi} \cdot \frac{(d_n + 2tg \frac{\delta}{2} x) dx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^1} -$$

$$- \frac{\mu_{\delta. z.}}{2l_{\delta. z.}} W_{\delta. z.} \frac{4D}{\gamma_n} \cdot \frac{(d_n + 2tg \frac{\delta}{2} x) dx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^2}$$

Отсюда полная работа сил вязкого трения в секунду равна

$$L_n = \int_0^{h_s} \frac{\mu_n}{2l_n} \cdot \left(\frac{4D}{\gamma_n} \right)^2 \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{(d_n + 2tg \frac{\delta}{2} x) dx^4}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^4} -$$

$$- \int_0^{h_s} \frac{\mu_{\delta. z.}}{2l_{\delta. z.}} W_{\delta. z.} \frac{4D}{\gamma_n} \frac{(d_n + 2tg \frac{\delta}{2} x) dx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^2}$$

Внося постоянные за знак интеграла, получаем:

$$L_n = \frac{\mu_n}{2l_n} \left(\frac{4D}{\gamma_n} \right)^2 \cdot \frac{1}{\pi} \left[d_n \int_0^{h_s} \frac{dx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^4} + \right.$$

$$\left. + 2tg \frac{\delta}{2} \int_0^{h_s} \frac{xdx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^4} \right] -$$

$$- \frac{\mu_{\delta. z.}}{2l_{\delta. z.}} W_{\delta. z.} \frac{4D}{\gamma_n} \left[d_n \int_0^{h_s} \frac{dx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^2} + \right.$$

$$\left. + 2tg \frac{\delta}{2} \int_0^{h_s} \frac{xdx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^2} \right] =$$

$$= \frac{\mu_n}{2l_n} \left(\frac{4D}{\gamma_n} \right)^2 \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{h_s} - \frac{d_n}{3(2tg \frac{\beta}{2})} \cdot \frac{1}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^3} + \right.$$

$$\left. + \frac{2tg \frac{\delta}{2}}{2tg \frac{\beta}{2}} \int_0^{h_s} \frac{(2tg \frac{\beta}{2} x + d_n - d_n) dx}{(d_n + 2tg \frac{\beta}{2} x)^4} \right] -$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{\nu_{0,z}}{2 l_{0,z}} W_{0,z} \frac{4D}{\gamma_n} \left[\int_0^{h_s} - \frac{d_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1}{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x} + \right. \\
& \left. + \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \int_0^{h_s} \frac{(2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x + d_0 - d_0) dx}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^2} \right] = \\
& = \frac{\nu_n}{2 l_n} \left(\frac{4D}{\gamma_n} \right)^2 \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{h_s} - \frac{d_0}{6 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^2} + \right. \\
& \left. + \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left(\int_0^{h_s} \frac{dx}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^2} - \right. \right. \\
& \left. \left. - d_0 \int_0^{h_s} \frac{dx}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^4} \right) \right] - \frac{\nu_{0,z}}{2 l_{0,z}} W_{0,z} \frac{4D}{\gamma_n} \left[\int_0^{h_s} - \right. \\
& \left. - \frac{d_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1}{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x} + \right. \\
& \left. + \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left(\int_0^{h_s} \frac{dx}{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x} - d_0 \int_0^{h_s} \frac{dx}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^2} \right) \right] \\
& = \frac{\nu_n}{2 l_n} \cdot \left(\frac{4D}{\gamma_n} \right)^2 \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{h_s} - \frac{d_0}{6 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^3} \right. \\
& \left. - \int_0^{h_s} \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{4 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^2} + \int_0^{h_s} \frac{d_0 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{6 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \right. \\
& \left. \frac{1}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x)^3} \right] - \frac{\nu_{0,z}}{2 l_{0,z}} W_{0,z} \frac{4D}{\gamma_n} \left[\int_0^{h_s} - \right.
\end{aligned}$$

$$\frac{d_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1}{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x} + \int_0^{h_s} \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{2 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \ln \left(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x \right) +$$

$$\left. + \int_0^{h_s} \frac{d_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{2 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1}{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} x} \right];$$

Подставляя пределы интегрирования, окончательно получаем:

$$L_n = \frac{\nu_n}{2 l_n} \left(\frac{4D}{\gamma_n} \right)^2 \frac{1}{\pi} \left[\frac{d_0}{6 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - \right. \right.$$

$$\left. - 1 \right) \left(\frac{1}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s)^3} - \frac{1}{d_0^3} \right) - \frac{1}{4 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot$$

$$\cdot \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left(\frac{1}{(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s)^2} - \frac{1}{d_0^2} \right) \right] -$$

$$\frac{\nu_{0,2}}{2 l_{0,2}} W_{0,2} \frac{4D}{\gamma_n} \left[\frac{d_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(\frac{1}{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s} - \right. \right.$$

$$\left. - \frac{1}{d_0} \right) + \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \ln \frac{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s}{d_0} \right].$$

Обозначим

$$d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s$$

через d_{s1} и

$$d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} h_s$$

через d_{s2} , причем d_s представляет диаметр наиболее узкого сечения трубы, а h_s — расстояние от устья конуса до наиболее узкого сечения дымовой трубы. Подставляя эти обозначения

и производя необходимые преобразования в выражении д работы, L_n , получаем:

$$L_n = \frac{\nu_n}{2 l_n} \cdot \frac{4D}{\gamma_n} \left[\frac{1}{6 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(\frac{d_a 4D}{d_{s1} \gamma_n \pi d_{s1}^2} - \frac{4D}{\gamma_n \pi d_n^2} \right) - \frac{1}{4 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left(\frac{4D}{\gamma_n \pi d_{s1}^2} - \frac{4D}{\gamma_n \pi d_n^2} \right) \right] - \frac{\nu_{\partial. z.}}{2 l_{\partial. z.}} W_{\partial. z.} \cdot \frac{D}{\gamma_n \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left[2 \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(\frac{d_a}{d_s} - 1 \right) + \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \ln \frac{d_{s1}^2}{d_n^2} \right]$$

Заменяя $\frac{4D}{\gamma_n \pi d_{s1}^2}$ через W_s и $\frac{4D}{\gamma_n \pi d_n^2}$ через W_a и изменив знаки в скобках и перед ними на обратные, а также умножив и разделив под знаком логарифма $\frac{d_{s1}^2}{d_n^2}$ на $\gamma_n \pi 4D$, имеем:

$$L_n = \frac{\nu_n}{2 l_n} \cdot \frac{D}{\gamma_n \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} (W_a - W_s) - \frac{2}{3} \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(W_a - \frac{d_a}{d_{s1}} W_s \right) \right] - \frac{\nu_{\partial. z.}}{2 l_{\partial. z.}} w_{\partial. z.} \cdot \frac{D}{\gamma_n \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \ln \frac{\gamma_n \pi d_{s1}^2 4D}{4D \cdot \gamma_n \pi d_n^2} - 2 \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(1 - \frac{d_a}{d_{s1}} \right) \right] = \frac{\nu_n}{2 l_n} \cdot \frac{D}{\gamma_n \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} (W_s - W_a) \right]$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{2}{3} \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(W_e - \frac{d_0}{d_{s1}} W_s \right) \Bigg] - \\
 & - \frac{\mu_{0.2}}{2 l_{0.2}} W_{0.2} \cdot \frac{D}{\gamma_n \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \ln \frac{W_0}{W_s} - \right. \\
 & \left. - 2 \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(1 - \frac{d_0}{d_{s1}} \right) \right] \frac{\text{кг. м.}}{\text{сек.}} \quad (33).
 \end{aligned}$$

Так как

$$\frac{4D}{\gamma_n \pi (d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s)^2} = W_s = \frac{4(D+H)}{\gamma_{с.м.} \pi (d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} h_s)^2}$$

отсюда находим:

$$\frac{\left(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s \right)^2}{\left(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} h_s \right)^2} = \frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{с.м.}}{\gamma_n}$$

или

$$\frac{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s}{d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} h_s} = \sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{с.м.}}{\gamma_n}}$$

что дает

$$d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} h_s = d_{s1} = \sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{с.м.}}{\gamma_n}}$$

$$\cdot \left(d_0 + 2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} h_s \right) = \sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{с.м.}}{\gamma_n}} \cdot d_s$$

отсюда имеем:

$$2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{\sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{с.м.}}{\gamma_n}} \cdot d_s - d_0}{h_s} \quad (34)$$

С другой стороны:

$$d_s = d_a + 2tg \frac{\delta}{2} h_s \quad \text{или} \quad 2tg \frac{\delta}{2} = \frac{d_s - d_a}{h_s} \quad (35)$$

Поэтому

$$\begin{aligned} \frac{tg \frac{\delta}{2}}{tg \frac{\beta}{2}} &= \frac{d_s - d_a}{h_s} : \frac{d_s \sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{см}}{\gamma_n}} - d_a}{h_s} = \\ &= \frac{d_s - d_a}{d_s \sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{см}}{\gamma_n}} - d_a} \approx 2 \frac{2}{3} \div 3. \end{aligned} \quad (36)$$

Что же касается $tg \frac{\beta}{2}$, то на основании опытов Prüssmann's Grove нашел, что $tg \frac{\beta}{2} = 0,05 \div 0,061$, т. е. угол $\beta = 5^{\circ}45' \div 7'$ при углах конуса $\delta_0 = 11^{\circ}30' \div 14^{\circ}$; следовательно, угол $\beta = 0,5\delta_0$.

Таким образом $tg \frac{\delta}{2} = 0,15 \div 0,185$ т. е. угол $\delta = 17^{\circ} \div 21^{\circ}$ [см. также опыты проф. Шелеста (статья проф. Шелеста „Взбита свободно истекающей струи пара“ журнал Локомотивостроение № 6—1934 г.)].

Отношение

$$\frac{d_a}{d_{s1}} = \frac{d_a}{d_a + 2tg \frac{\beta}{2} h_s}$$

по данным Прандтля для круглых насадков может быть принято равным

$$\frac{d_a}{d_{s1}} = \frac{0,255 - 2tg \frac{\beta}{2}}{0,255} \approx 0,52 \div 0,61$$

Значения отношений $\frac{\mu_n}{2l_n}$ и $\frac{\mu_{д.з.}}{2l_{д.з.}}$ легко определить, вычислив в отдельности значения коэффициентов вязкости μ_n и $\mu_{д.з.}$ для длин свободных пробегов молекул l_n и $l_{д.з.}$.

Вычисление коэффициентов вязкости для пара и дымовых газов производится по формуле, предложенной Sutherland

$$\mu = \mu_0 \frac{1 + \frac{C_0}{273,2}}{1 + \frac{C_0}{T_{абс.}}} \sqrt{\frac{T_{абс.} \text{ кг/сек.}}{273,2 \text{ м}^2}}$$

причем μ_0 — коэффициент вязкости при 0°C и C_0 — коэффициент, зависящий от состава газов; μ_0 и C_0 определяются из следующей таблицы:

Г а з ы	μ_0	C_0
Кислород O_2	$1,84 \cdot 10^{-6}$	128
Азот	$1,63 \cdot 10^{-6}$	110
Оксид углер. CO	$1,66 \cdot 10^{-6}$	102
Углекислота CO_2	$1,40 \cdot 10^{-6}$	260
Сери, ангидр. SO_2	$1,40 \cdot 10^{-6}$	260
Водяные пары H_2O	$1,89 \cdot 10^{-6}$	673
Водород H_2	$1,85 \cdot 10^{-6}$	74
Воздух	$1,68 \cdot 10^{-6}$	114

Для определения μ_0 и C_0 для дымовых газов необходимо найти содержание CO_2 , H_2O и т. д. по весу в дымовых газах, после чего μ_0 и C_0 вычисляются из соотношений:

$$\mu_0 = 10^{-6} \cdot 0,01 (a \cdot 1,84 + b \cdot 1,63 + c \cdot 1,66 + e \cdot 1,4 + d \cdot 0,89).$$

$$C_0 = 0,01 (a \cdot 128 + b \cdot 110 + c \cdot 102 + e \cdot 260 + d \cdot 673).$$

Здесь a, b, c, e, d представляют % содержание по весу N_2, CO, CO_2, H_2O в дымовых газах.

Длина свободного пробега молекул определяется из следующей формулы:

$$l = \frac{22400 \frac{T_{абс.}}{273,2}}{\sqrt{2} N_0 \pi r^2} \text{ м},$$

$N_0 = 0,6062 \cdot 10^{24}$ мол/грмол — число Авогадро (число молекул в граммолекуле).

r — диаметр молекулы (радиус сферы действия атома) в м.

Диаметр молекулы $r_{д.з.}$ (см) можно определить исходя из теории Льюнса (исправленной теории Крюгера) следующим образом:

Рассмотрим сначала процесс диссоциации двухатомного газа. Пусть в 1 см^3 , имеется n_3 молекул газа AB . Таким образом, в каждом см^3 содержится n_3 атомов газа A и n_3 атомов газа B , входящих в состав молекул газа AB . Пусть ρ (см) — радиус сферы действия атома газа A , причем ρ есть в то же время диаметр и радиус сферы ограждения молекул газа AB . Представим себе слой газа толщиной в 1 см , имеющий поверхность равную поверхности сфер действия всех атомов газа A ,

содержащихся в 1 см^3 , т. е. $4\pi r^2 n_3$; объем сфер действия вс атомов газа A , содержащихся в 1 см^3 , равен $\frac{4}{3} \pi r^3 n_3$.

Так как в 1 см^3 содержится одновременно n_3 атомов газа то на 1 см^3 сфер действия атомов газа A приходится

$$\frac{n_3}{\frac{4}{3} \pi r^3 n_3} = \frac{3}{4\pi r^3}$$

атомов газа B . Это количество атомов газа B приходится следовательно, и на 1 см^3 выделенного нами слоя газа с площадью поверхности $4\pi r^2 n_3$. Но по теории Льюиса, способными к выходу из сфер действия атомов газа A являются не все атомы газа B , а только активные атомы, скорость которых превышает некоторую величину c . Поэтому прежде всего определим число этих атомов. Для этого найдем число атомов, скорость которых лежит в интервале от c до $c+dc$.

На основании теории вероятностей количество атомов в 1 см^3 газа, обладающих скоростями в пределах от c до $c+dc$ равно:

$$\frac{3}{4\pi r^3} \cdot \frac{h_0}{\sqrt{\pi}} e^{-c^2/h_0^2} dc,$$

где h_0 —коэффициент точности—в данном случае равен $\frac{1}{\alpha}$, при

чем α —есть наиболее вероятная скорость атомов газа B . Так как атомы газа B двигаются со скоростью $c \text{ см/сек}$, то через каждый см^2 поверхности слоя газа проходит в секунду

$$h_0 = \frac{1}{\alpha}$$

$$\frac{3}{4\pi r^3} \cdot \frac{1}{\alpha \sqrt{\pi}} c \cdot e^{-\frac{c^2}{\alpha^2}} dc$$

атомов газа B ; а через весь слой пройдет, очевидно, в $4\pi r^2 n_3$ больше атомов в т. е.

$$4\pi r^2 n_3 \frac{3}{4\pi r^3} c e^{-\frac{c^2}{\alpha^2}} dc = \frac{3n_3}{\rho} \cdot \frac{1}{\alpha \sqrt{\pi}} e^{-\frac{c^2}{\alpha^2}} c dc$$

атомов газа B в сек.

Так как способными к диссоциации являются те молекулы газа AB , в которых скорость атомов газа B превышает величину c , то, следовательно, число активных атомов газа B и значит, и число диссоциированных молекул газа AB будет

$$v_2 = \frac{3n_3}{\rho} \cdot \frac{1}{\alpha \sqrt{\pi}} \int_c^\infty c e^{-\frac{c^2}{\alpha^2}} dc.$$

полагая

$$-\frac{c^2}{\alpha^2} = y,$$

имеем:

$$-\frac{2c \, dc}{\alpha^2} = dy$$

или

$$c \, dc = -\frac{\alpha^2}{2} dy$$

поэтому

$$v_2 = \frac{3n_3}{\rho} \frac{1}{\alpha \sqrt{\pi}} \left(-\frac{\alpha^2}{2} \right)$$

$$\int_c^\infty e^y dy = -\frac{3n_3}{2\rho} \frac{\alpha}{\sqrt{\pi}} \Big|_c^\infty e^{-\frac{c^2}{\alpha^2}} = \frac{3n_3 \alpha}{2\sqrt{\pi} \rho} \cdot e^{-\frac{c^2}{\alpha^2}}.$$

подставляя значение

$$\alpha = \sqrt{\frac{2R T_{абс.}}{m_2}},$$

где m_2 — атомн. вес (масса гр. атом) газа B .

R — газовая постоянная = $0,8313 \cdot 10^8$ эрг./градус, а T абс. — температура газа, получаем:

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{3n_3}{2\sqrt{\pi} \rho} \sqrt{\frac{2R T_{абс.}}{m_2}} \cdot e^{-\frac{c^2 \cdot m_2}{2 R \cdot T_{абс.}}} = \\ &= \frac{3\sqrt{2} n_3}{2\sqrt{\pi} \rho} \sqrt{\frac{R T_{абс.}}{m_2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \frac{m_2 c^2}{R \cdot T_{абс.}}} = \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{2\sqrt{\pi} \rho} \sqrt{\frac{R \cdot T_{абс.}}{m_2}} \cdot e^{-\frac{E_2}{R T_{абс.}}} \cdot n_3 \frac{\text{Молек.}}{\text{см}^3/\text{сек.}} \end{aligned}$$

$$E_2 = \frac{1}{2} m_2 c^2 -$$

энергия активации атомов газа B , необходимая для диссоциации молекул газа AB . Переходя к концентрации в грмол/литр, несложно выразить это разделив на N_0 — число Авогадро (число молекул в граммол = $0,6062 \cdot 10^{24}$ мол/гр.мол.) и помножить на 10^3 (число см^3 в литре). Таким образом, окончательно получим:

$$v_2 = \frac{3\sqrt{2}}{2\sqrt{\pi} \rho} \sqrt{\frac{R T_{абс.}}{m_2}} \cdot e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}} \cdot \frac{n_3 \cdot 10^3}{N_0} \frac{\text{грмол.}}{\text{литр.сек.}}$$

Так как с другой стороны скорость диссоциации в гр. мол/литр сек. выражается через

$$v_2 = K_2 \frac{n_3 10^3}{N_0},$$

где K_2 —константа скорости диссоциации, то, следовательно имеем:

$$K_2 \frac{n_3 10^3}{N_0} = \frac{3\sqrt{2}}{2\sqrt{\pi\rho}} \sqrt{\frac{RT_{абс.}}{m_2}} e^{-\frac{E_0}{R \cdot Tabc.}} \frac{n_3 10^3}{N_0}$$

Таким образом:

$$K_2 = \frac{3\sqrt{2}}{2\sqrt{\pi\rho}} \sqrt{\frac{RT_{абс.}}{m_2}} e^{-\frac{E_0}{R \cdot Tabc.}} \text{ 1/сек.}$$

Для определения константы скорости соединения атомов газов A и B воспользуется той же теорией Льюиса, заключающейся в том, что каждое столкновение активных атомов газа A и B ведет к образованию молекулы газа AB .

Пусть в 1 см^3 содержится n_1 атомов газа A и n_2 атомов газа B . Пусть радиус сферы действия атомов газа A равен $\rho \text{ см}$.

Средняя скорость движения всех реагирующих атомов

$$W_0 = \sqrt{\frac{W_1^2 + W_2^2}{2}}$$

где W_1 и W_2 —средние скорости движения атомов газов A и B . Атом газа A , при своем движении со средней скоростью W_0 описывает в пространстве объем $\pi\rho^2 W_0$, имеющий вид зигзагообразной трубки сечения $\pi\rho^2$, получающейся вследствие столкновений данного атома с другими. Так как в каждом см^3 содержится n_2 атомов газа B , то в описанном объеме их будет

$$\pi\rho^2 W_0 n_2.$$

Принимая во внимание также и движение атомов газа B и притом по всем направлениям и с разными скоростями, число столкновений одного атома газа A с атомами B по данным Максвелла будет больше вышенайденного

$$\pi\rho^2 W_0 n_2$$

в $\sqrt{2}$ раз, т. е. равно

$$\sqrt{2} \pi\rho^2 W_0 n_2.$$

Для всех же n_1 атомов газа A число столкновений равно:

$$\sqrt{2} \pi\rho^2 W_0 n_1 n_2 \frac{\text{столкн.}}{\text{сек.}}$$

Так как столкновение активных атомов ведет к реакции образования молекул газа AB , необходимо определить число столкновений этих активных атомов. Такими активными ато-

мами являются по данным Аррениуса атомы, обладающие повышенной энергией, при чем опыт показывает, что в случае бимолекулярной реакции мы имеем дело с энергией поступательного движения, являющейся суммой компонентов кинетической энергии каждого атома вдоль линии их сближения, а это дает нам возможность ограничиться рассмотрением распределения скоростей движения атомов в плоскости (две степени свободы). Активными атомами при этом будут те атомы, поступательная скорость движения коих превышает некоторое значение u . Число атомов, скорости которых лежат в пределах от u до $u + du$, по данным Максвелла составляет от общего числа атомов n_0 часть равную:

$$\frac{dn}{n_0} = \frac{2}{\alpha^2} e^{-\frac{u^2}{\alpha^2}} u du,$$

где α —наиболее вероятная скорость атомов, равная

$$\sqrt{\frac{2R T_{абс.}}{m}} \frac{см.}{сек.}$$

при чем m есть атомный вес (масса граммом) рассматриваемого газа. Подставляя значение α в это выражение Максвелла, получаем:

$$\frac{dn}{n_0} = \frac{R T_{абс.}}{m} e^{-\frac{mu^2}{R T_{абс.}}} u du = \frac{m}{R T_{абс.}} e^{-\frac{1/2 mu^2}{R T_{абс.}}} u du.$$

Обозначая $\frac{1}{2} mu^2$ через J , где J —кинетическая энергия атома, имеем:

$$\frac{mu^2}{2} = J; u^2 = \frac{2J}{m}; u du = \frac{dJ}{m}.$$

Подставляя эти значения вместо $u du$ и $\frac{mu^2}{2}$ в выражение

$$\frac{dn}{n_0},$$

получаем:

$$\frac{dn}{n_0} = \frac{m}{R T_{абс.}} e^{-\frac{J}{R T_{абс.}}} \frac{dJ}{m} = \frac{1}{R T_{абс.}} e^{-\frac{J}{R T_{абс.}}} dJ.$$

Интегрируя это выражение в пределах от J до ∞ , получим:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{J}{R T_{абс.}}}$$

или

$$n = n_0 e^{-\frac{J}{R T_{абс.}}}$$

Так как в нашем случае мы имеем n_1 атомов газа A и n_2 атомов газа B , то число активных атомов, газов A и B соответственно равно:

$$n_1 e^{-\frac{J_1}{R T_{абс.}}} \quad \text{и} \quad n_2 e^{-\frac{J_2}{R T_{абс.}}},$$

а число столкновений активных атомов в 1 см^3 в сек. (а, значит, и число образовавшихся молекул газа AB) равно:

$$\nu_1 = \sqrt{2} \pi \rho^2 W_0 n_1 n_2 e^{-\frac{J_1 + J_2}{R T_{абс.}}} \frac{\text{МОЛЕК.}}{\text{см}^3 \text{ сек.}}$$

Обозначая $J_1 + J_2$ через E_1 , где E_1 — энергия активации атомов газов A и B , необходимая для реакции образования молекулы газа AB , и подставляя значение средней скорости реагирующих атомов:

$$\begin{aligned} W_0 &= \sqrt{\frac{W_1^2 + W_2^2}{2}} = \sqrt{\left(\frac{8 \cdot R T_{абс.}}{\pi m_1} + \frac{8 \cdot R T_{абс.}}{\pi m_2}\right) \frac{1}{2}} = \\ &= \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{R T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right)} = \\ &= \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{2m_1 m_2}} \sqrt{R T_{абс.}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{R T_{абс.}} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2}} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}} \end{aligned}$$

где m_1 и m_2 атомные веса (массы граммов) газов A и B получаем:

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \sqrt{2} \pi \rho^2 \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{R T_{абс.}} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2}} n_1 \cdot n_2 e^{-\frac{E}{R \cdot T_{абс.}}} = \\ &= 2\rho^2 \sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{R T_{абс.} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} n_1 n_2 e^{-\frac{E}{R T_{абс.}}} \end{aligned}$$

Переходя к концентрациям в грмол/литр, необходимо полученное выражение разделить на число Авогадро N_0 и умножить на 10^3 .

Тогда получим:

$$\nu_1 \frac{\text{грмол.}}{\text{литр. сек.}} = 2\rho^2 \sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{R T_{абс.} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} e^{-\frac{E_1}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{n_2 n_1 10^6}{N_0}$$

С другой стороны скорость реакции

$$\nu_1 \frac{\text{грмол.}}{\text{литр. сек.}} = K_1 \frac{n_1 n_2 10^6}{N_0^2},$$

где K_1 — константа скорости реакции образования молекул газа АВ. Таким образом, из сравнения обоих выражений для v_1 находим:

$$K_1 \frac{n_1 n_2}{N_0^2} 10^6 = 2\rho^2 \sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{R T_{абс.} (m_1 + m_2)}{m_1 m_2}} \cdot e^{-\frac{E_1}{R \cdot T_{абс.}}} \cdot \frac{n_1 n_2}{N_0} 10^3$$

$$K_1 = 2\rho^2 \sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{R T_{абс.} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} e^{-\frac{E_1}{R T_{абс.}}} \frac{N_0}{10^3} \frac{\text{литр.}}{\text{грмол. сек.}}$$

Так как константа равновесия

$$K = \frac{K_2}{K_1},$$

и для константы K (константы равновесия) получаем следующее значение:

$$K = \frac{\frac{3\sqrt{2}}{2\sqrt{\pi\rho}} \sqrt{\frac{R \cdot T_{абс.}}{m_2}} \cdot e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}}}{2\rho \sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{R \cdot T_{абс.} (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} \cdot e^{-\frac{E_1}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{N_0}{10^3}} =$$

$$= \frac{3}{4\pi\rho^3} \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}} e^{-\frac{E_2 - E_1}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{10^3 \text{ грмол.}}{N_0 \text{ литр.}}$$

$E_2 - E_1 = Q_0$ — тепловой эффект реакции в кал./грмол. с другой стороны для константы равновесия K реакций, идущих с изменением числа атомов $\Delta n = 1$, можно по данным Нернста получить приближенное значение:

$$K = \frac{10^{1,5} T_{абс.}^{0,75}}{0,08205} e^{-\frac{Q_0}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{\text{грмол.}}{\text{литр.}}$$

включая диссоциации на атомы.

Сравнивая оба выражения для K , получаем:

$$\sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}} \cdot \frac{10^3}{N_0} e^{-\frac{Q_0}{R \cdot T_{абс.}}} = \frac{10^{1,5} T_{абс.}^{0,75}}{0,08205} \cdot e^{-\frac{Q_0}{R \cdot T_{абс.}}}$$

$$\rho^3 = \frac{3 \cdot 10^{1,5}}{4\pi T_{абс.}^{0,75}} \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}} \cdot \frac{0,08205}{N_0}$$

$$\rho^3 = \frac{3^{1/2} 10^{1,5}}{4^{1/2} \pi^{1/2} T_{абс.}^{0,25}} \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}} \frac{0,08205^{1/3}}{N_0^{1/3}} \text{ см.}$$

Q_0 — тепловой эффект реакции в кал./грмол.

Диаметр молекулы ρ можно определить исходя из той же теории Льюиса-Крюгера следующим образом:

Пусть в 1 см^3 содержится n_3 молекул газа AB ; диаметр молекулы AB , являющийся радиусом сферы ее ограждения радиусом сферы действия атома газа A , входящего в состав молекулы газа AB обозначим через $\rho_{см}$. Молекула газа AB при движении со средней скоростью W описывает в пространстве цилиндрический объем

$$\pi \rho^2 W \frac{\text{см}^3}{\text{сек.}}$$

Так как в каждом *кб. см.* содержится n_3 молекул газа AB то в указанном объеме их будет

$$\pi \rho^2 W \cdot n_3;$$

таково же будет и число столкновений одной молекулы с остальными; принимая во внимание также и движение остальных молекул газа AB и при том по всем направлениям и с разными скоростями, необходимо вышеуказанное выражение для числа столкновений одной молекулы газа AB с остальными увеличить по данным Максвелла в $\sqrt{2}$ раз; таким образом, число столкновений одной молекулы газа AB с остальными молекулами равно

$$\sqrt{2} \pi \rho^2 W \cdot n_3,$$

а для всех n_3 молекул, содержащихся в 1 см^3 , число столкновений будет равно

$$\sqrt{2} \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot W \cdot n_3^2 \frac{\text{столкн.}}{\text{см}^3 \text{ сек.}}$$

Однако, способными к диссоциации являются не все молекулы газа AB , а только активные молекулы, обладающие повышенной кинетической энергией, число коих по вышенайденному равно

$$n_3 e^{-\frac{J}{R \cdot \text{Табс.}}},$$

где J —кинетическая энергия молекулы. Поэтому число столкновений активных молекул равно:

$$\sqrt{2} \cdot \pi \cdot \rho^2 W n_3^2 e^{-\frac{2J}{R \cdot \text{Табс.}}}$$

Обозначив $2J$ через E_2 , где E_2 энергия активации молекулы газа AB , необходимая для их диссоциации, получим для числа столкновений активных молекул выражение:

$$\sqrt{2} \pi \rho^2 W n_3^2 e^{-\frac{E_2}{R \cdot \text{Табс.}}}$$

Подставляя значение скорости

$$W = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot \text{Табс.}}{m_3}},$$

где m_3 — молекулярный вес (масса грмол) газа AB в граммах, окончательно получаем для числа столкновений:

$$\sqrt{2} \pi \rho^2 \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_{абс.}}{m_3}} \cdot e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}} =$$

$$= 2\sqrt{2} \rho^2 \sqrt{2\pi \cdot R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{m_3}} n^2_3 e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}}$$

Так как при каждом столкновении исчезают две молекулы газа AB , убылью концентрации которого выражается скорость реакции, то число исчезнувших молекул в 1 см^3 в сек. составляет:

$$\nu_2 = 2 \cdot 2\sqrt{2} \rho^2 \sqrt{2\pi R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{m_3}} n^2_3 e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}} =$$

$$= 4\sqrt{2} \rho^2 \sqrt{2\pi R T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{m_3}} n^2_3 e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{\text{мол.}}{\text{см}^3 \text{ сек.}}$$

Переходя к концентрации в грмол/литр получим:

$$\nu_2 = 4\sqrt{2} \rho^2 \sqrt{2\pi R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{m_3}} n^2_3 e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{10^3}{N_0} \frac{\text{грмол.}}{\text{литр. сек.}}$$

с другой стороны скорость реакции диссоциации

$$\nu_2 = K_2 \frac{n^2_3 \cdot 10^6}{N_0^2} \frac{\text{грмол.}}{\text{литр. сек.}}$$

равнявая оба выражения для ν_2 , имеем:

$$K_2 n^2_3 \frac{10^6}{N_0^2} = 4\sqrt{2} \rho^2 \sqrt{2\pi R T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{m_3}} n^2_3 e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{10^3}{N_0}$$

откуда

$$K_2 = 4\sqrt{2} \rho^2 \sqrt{2\pi R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{m_3}} e^{-\frac{E_2}{R \cdot T_{абс.}}} \frac{10^3}{N_0} \frac{\text{литр}}{\text{грмол. сек.}}$$

Процесс образования молекул газа AB из атомов газов A и B обуславливается числом тройных столкновений активных атомов A и B . Пусть в 1 см^3 содержится n_1 атомов газа A и n_2 атомов газа B . Радиус сферы действия атомов газа A обозначим через $r \text{ см}$; атом газа A при своем движении с средней скоростью W_0 захватывает

$$W_0 = \sqrt{\frac{2W_1^2 + W_2^2}{3}}$$

где W_1 — средняя скорость атомов газа A , а W_2 — средняя скорость атомов газа B , описывает в пространстве объем

$$\pi r^3 W_0 \text{ см}^3.$$

Так как в каждом $см^3$ содержится n_2 атомов газа B , то число столкновений одного атома газа A с атомами газа B , если учесть также и движение атомов газа B по всем направлениям и с различными скоростями, равно по данным Максвелла

$$\sqrt{2} \pi \rho^2 W_0 n_2,$$

а для всех n_1 атомов газа A равно

$$\sqrt{2} \pi \rho^2 W_0 n_2 n_1 \frac{\text{столкн.}}{\text{см}^3 \text{ сек.}}$$

Полученное число

$$\sqrt{2} \pi \rho^2 W_0 n_2 n_1$$

представляет число двойных столкновений атомов газов A и B . Число столкновений, в которых одновременно участвуют по два атома газа A и по одному атому газа B , будет, очевидно, меньше числа двойных столкновений реагирующих атомов. Для определения отношения числа тройных столкновений к числу двойных столкновений реагирующих атомов, воспользуемся следующими соображениями: если в $1 см^3$ находится один атом какого либо газа, то вероятность того, что этот атом в некоторый момент времени будет находиться в данном объеме σ , равном сфере действия атома газа A , очевидно, равна отношению объемов

$$\frac{\sigma}{1 \text{ см}^3} = \sigma.$$

Если в $1 см^3$ находится не один атом какого либо газа, а n_1 атомов его, то вероятность того, что в данном объеме σ будет находиться какой-нибудь из всех этих атомов, равна $n_1 \sigma$. Применяя эти рассуждения к атомам газов A и B , получим вероятности нахождения одного атома газа A и одного атома газа B в данном объеме σ , равные соответственно $n_1 \sigma$ и $n_2 \sigma$. Вероятность одновременного нахождения в данном объеме одного атома газа A и одного атома газа B равна по закону вероятностей сложных независимых событий произведению элементарных вероятностей т. е.

$$n_1 \sigma n_2 \sigma = n_1 n_2 \sigma^2.$$

Так как в $1 см^3$ содержится $\frac{1}{\sigma}$ данных объемов σ , то вероятность двойных столкновений атомов газов A и B в $1 см^3$ равна

$$n_1 n_2 \sigma^2 \frac{1}{\sigma} = n_1 n_2 \sigma.$$

Применяя те же рассуждения для одновременного нахождения в данном объеме σ двух атомов газа A и одного атома газа B , находим вероятность тройных столкновений атомов газов A и B в $1 см^3$ равную:

$$n_1 \sigma n_1 \sigma n_2 \sigma \frac{1}{\sigma} = n_1^2 \cdot n_2 \sigma^2.$$

Отношение числа тройных столкновений к числу двойных столкновений атомов газов A и B равно поэтому

$$\frac{n_1^2 n_2 \sigma^2}{n_1 n_2 \sigma} = n_1 \sigma = n_1 \frac{4}{3} \pi \rho^3.$$

Полученное значение совпадает с данными Боденштейна и Гиншельвуда, по указаниям которых отношение числа тройных столкновений к числу двойных приблизительно равно отношению радиуса сферы действия ρ атома газа A (молекулярного диаметра) к его свободному пробегу среди атомов того-же газа

$$l = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \rho^2 n_1} \text{ см}$$

т. е. равно

$$\sqrt{2\pi} \cdot \rho^2 n_1$$

Таким образом для числа тройных столкновений атомов газов A и B в одном см^3 в секунду получаем выражение:

$$\sqrt{2\pi} \cdot \rho^2 W_0 n_1 n_2 n_1 \frac{4}{3} \pi \rho^3 = \frac{4}{3} \sqrt{2\pi} \rho^5 W_0 n_1^2 n_2$$

Но к реакции соединения приводят по вышеуказанному, только столкновения активных атомов газов A и B , число которых, как отмечено выше, равно соответственно

$$n_1 e^{-\frac{J_1}{R \cdot T_{\text{абс.}}}} \text{ и } n_2 e^{-\frac{J_2}{R \cdot T_{\text{абс.}}}}$$

где J_1 и J_2 — кинетические энергии атомов A и B .

Подставляя вместо n_1 и n_2 соответственно

$$n_1 e^{-\frac{J_1}{R \cdot T_{\text{абс.}}}} \text{ и } n_2 e^{-\frac{J_2}{R \cdot T_{\text{абс.}}}}$$

и также значение W_0 :

$$\begin{aligned} W_0 &= \sqrt{\frac{2W_1^2 + W_2^2}{3}} = \sqrt{\frac{2 \frac{8R \cdot T_{\text{абс.}}}{\pi m_1} + \frac{8R \cdot T_{\text{абс.}}}{\pi m_2}}{3}} = \\ &= \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{R \cdot T_{\text{абс.}}} \sqrt{\left(\frac{2}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) \frac{1}{3}} = \\ &= \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{R \cdot T_{\text{абс.}}} \sqrt{\frac{2m_2 + m_1}{3m_1 \cdot m_2} \frac{\text{см}}{\text{сек}}}, \end{aligned}$$

где m_1 — атомный вес (масса граммотом) газа A в граммах, а m_2 — атомный вес газа B , и обозначим $2J_1 + J_2$ через $E_{\text{акт}}$, где E_1 — энергия активации атомов газов A и B , необходимая

для реакции образования молекулы газа AB , для числа активных столкновений в 1 см^3 в сек. получим выражение:

$$\frac{4}{3} \sqrt{2\pi\rho^5} W_0 n_1^2 n_2 e^{-\frac{2J_1+J_2}{R \cdot T_{абс.}}} = \frac{4}{3} \sqrt{2\pi\rho^5} \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{2m_2+m_1}{3m_1m_2}} \cdot n_1^2 n_2 \cdot e^{-\frac{E_1}{RT_{абс.}}}$$

Так как при каждом активном тройном столкновении исчезают два атома газа A , убылью концентрации которого выражается скорость реакции, то число исчезнувших атомов газа A , а, следовательно, и число образовавшихся молекул газа AB равно:

$$\begin{aligned} \nu_1 \frac{\text{мол.}}{\text{см}^3 \text{ сек}} &= 2 \frac{4}{3} \sqrt{2\pi} \cdot \rho^5 \sqrt{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{2m_2+m_1}{3m_1m_2}} \cdot n_1^2 n_2 e^{-\frac{E_1}{RT_{абс.}}} = \frac{16 \cdot \sqrt{2}}{3} \pi \rho^5 \sqrt{2\pi R \cdot T_{абс.}} \\ &\sqrt{\frac{2m_2+m_1}{3m_1m_2}} \cdot n_1^2 \cdot n_2 \cdot e^{-\frac{E_1}{RT_{абс.}}} \end{aligned}$$

Переходя к концентрации в гмол./литр , получим:

$$\begin{aligned} \nu_1 \frac{\text{гмол.}}{\text{литр. сек.}} &= \frac{16\sqrt{3}}{3} \pi \rho^5 \sqrt{2\pi R \cdot T_{абс.}} \\ &\sqrt{\frac{2m_2+m_1}{3m_1 \cdot m_2}} \cdot n_1^2 \cdot n_2 e^{-\frac{E_1}{RT_{абс.}}} \frac{10^3}{N_0} \end{aligned}$$

С другой стороны скорость реакции:

$$\nu_1 = K_1 \frac{n_1^2 n_2 10^9}{N^3} \frac{\text{гмол.}}{\text{литр. сек.}}$$

где K_1 константа скорости реакции образования молекулы газа AB .

Следовательно, имеем:

$$\begin{aligned} K_1 \cdot \frac{n_1^2 n_2 10^9}{N_0^3} &= \frac{16\sqrt{2}}{3} \pi \cdot \rho^5 \cdot \sqrt{2\pi R \cdot T_{абс.}} \\ &\sqrt{\frac{2m_2+m_1}{3m_1 \cdot m_2}} n_1^2 n_2 e^{-\frac{E_1}{RT_{абс.}}} \frac{10^3}{N_0} \end{aligned}$$

куда:

$$K_1 = \frac{16\sqrt{2}}{3} \pi \rho^3 \cdot \sqrt{2\pi \cdot R \cdot T_{абс.}}$$

$$\sqrt{\frac{2m_2 + m_1}{3m_1m_2}} \cdot e^{-\frac{E_1}{RT_{абс.}}} \frac{N_0^2}{10^6} \left(\frac{\text{литр.}}{\text{грмол.}} \right)^2 \frac{1}{\text{сек.}}$$

как константа равновесия

$$K = \frac{K_2}{K_1}$$

значит:

$$4\sqrt{2}\rho^3 \sqrt{2\pi R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{1}{m_3}} \cdot e^{-\frac{E_2}{RT_{абс.}}} \frac{N_0}{10^3}$$

$$\frac{16\sqrt{2}}{3} \pi \cdot \rho^3 \sqrt{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{абс.}} \sqrt{\frac{2m_2 + m_1}{3m_1m_2}} \cdot e^{-\frac{E_1}{RT_{абс.}}} \frac{N_0^2}{10^6}$$

$$= \frac{3}{4\pi\rho^3} \sqrt{\frac{3m_1m_2}{m_3(2m_2 + m_1)}} \cdot e^{-\frac{E_2 - E_1}{RT_{абс.}}} \frac{10^3}{N_0} =$$

$$= \frac{3}{4\pi\rho^3} \sqrt{\frac{3m_1m_2}{m_3(2m_2 + m_1)}} \cdot e^{-\frac{Q_0}{RT_{абс.}}} \frac{10^3}{N_0} \frac{\text{грмол.}}{\text{литр.}}$$

$Q_0 = E_2 - E_1$ — теплота реакции в кал/гр. мол.

Рассматриваемый нами процесс $2n + B \rightleftharpoons 2AB$ представляет реакцию, идущую с изменением числа атомов на один. Поэтому константы равновесия можно применить приближенную формулу Нернста:

$$K = \frac{10^{1,5} T_{абс.}^{0,75}}{0,08205} e^{-\frac{Q_0}{RT_{абс.}}}$$

Сопоставив оба значения для K , получаем:

$$\frac{10^{1,5} T_{абс.}^{0,75}}{0,08205} e^{-\frac{Q_0}{R \cdot T_{абс.}}} = \frac{3}{4\pi\rho^3} \sqrt{\frac{3m_1 \cdot m_2}{m_3(2m_2 + m_1)}} \frac{10^3}{N_0} e^{-\frac{Q_0}{R \cdot T_{абс.}}}$$

откуда имеем:

$$\rho^3 = \frac{3 \cdot 10^{1,5} \cdot 0,08205}{4\pi \cdot N_0 T_{абс.}^{0,75}} \sqrt{\frac{3 \cdot m_1 \cdot m_2}{m_3(2m_2 + m_1)}}$$

$$\rho_{11} = \frac{3^{\frac{1}{3}} \cdot 0,08205^{\frac{1}{3}} \cdot 10^{0,5}}{4^{\frac{1}{3}} \cdot \pi^{\frac{1}{3}} \cdot N_0^{\frac{1}{3}} \cdot T_{абс.}^{0,26}} \sqrt{\frac{3m_1 \cdot m_2}{m_3(m_2 + m_1)}} \text{ см.}$$

Таким образом, получаем:

а) для водяного пара

$$\rho_{\text{п}} = \left(\frac{3 \cdot 0,08205}{4 \cdot \pi \cdot N_0} \right)^{1/3} \frac{10^{0,5}}{T_{\text{абс.}}^{0,25}} \cdot \sqrt[6]{\frac{3m_1 \cdot m_2}{m_3(2m_2 + m_1)}} \text{ см.}$$

где $m_1 = 1,008$ — атомн. вес водорода, $m_2 = 16$ — атомн. кислорода и $m_3 = 18,016$ — мол. вес водяного пара,

в) для дымовых газов (как состоящих, главным образом двухатомных газов)

$$\rho_{\text{д.г.}} = \left(\frac{3 \cdot 0,08205}{4\pi \cdot N_0} \right)^{1/3} \cdot \frac{10^{0,5}}{T_{\text{абс.}}^{0,25}} \sqrt[6]{\frac{m_0}{m_0 + m^1_0}}$$

где m_0 и m^1_0 — атомные веса составляющих отдельные молекулы атомов.

Из вышеуказанных формул находим:

для пара при $t \cong 100^\circ \text{Ц}$

$$\mu_{\text{п}} = 1,28 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^2}; \quad \rho_{\text{п}} = \frac{15,1}{10^{10}} \text{ см.}; \quad l_{\text{п}} = \frac{5}{10^5} \text{ м.};$$

$$\frac{\mu_{\text{п.}}}{2l_{\text{п.}}} = 0,013 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3};$$

для дымовых газов

$$\mu_0 \cong 1,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^2}; \quad C_0 \cong 145;$$

поэтому: при $T_{\text{yx.}} = 150^\circ \text{Ц}$

$$\mu_{\text{д.г.}} = 2,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^2}; \quad \rho_{\text{п.}} = \frac{19,8}{10^{10}} \text{ см.};$$

$$l_{\text{д.г.}} = \frac{3,3}{10^5} \text{ м.}; \quad \frac{\mu_{\text{д.г.}}}{2l_{\text{д.г.}}} = 0,0342 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3}$$

при

$$T_{\text{yx.}} = 200^\circ \text{Ц}$$

$$\mu_{\text{д.г.}} = 2,46 \cdot 10^{-6}; \quad \rho = \frac{19,2}{10^{10}} \text{ см.}; \quad l_{\text{д.г.}} = \frac{3,9}{10^5} \text{ м.};$$

$$\frac{\mu_{\text{д.г.}}}{2l_{\text{д.г.}}} = 0,0315 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3}$$

при

$$T_{\text{yx.}} = 250^\circ \text{Ц}$$

$$\mu_{\text{д.г.}} = 2,65 \cdot 10^{-6}; \quad \rho = \frac{18,7}{10^{10}} \text{ см.}; \quad l_{\text{д.г.}} = \frac{4,55}{10^5} \text{ м.};$$

$$\frac{\mu_{\text{д.г.}}}{2l_{\text{д.г.}}} = 0,0291 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3}$$

$$T_{yx.} = 300^{\circ} \text{ Ц}$$

$$\mu_{\partial. z.} = 2,86 \cdot 10^{-6}; \rho = \frac{18,3}{10^{10}} \text{ см.}; l_{\partial. z.} = \frac{5,2}{10^5} \text{ м.};$$

$$\frac{\mu_{\partial. z.}}{2l_{\partial. z.}} = 0,0276 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3}$$

$$T_{yx.} = 350^{\circ} \text{ Ц}$$

$$\mu_{\partial. z.} = 3,0 \cdot 10^{-6}; \rho = \frac{18}{10^{10}} \text{ см.}; l_{\partial. z.} = \frac{5,85}{10^5} \text{ м.};$$

$$\frac{\mu_{\partial. z.}}{2l_{\partial. z.}} = 0,0256 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3}$$

$$T_{yx.} = 400^{\circ} \text{ Ц}$$

$$\mu_{\partial. z.} = 3,16 \cdot 10^{-6}; \rho = \frac{17,6}{10^{10}} \text{ см.}; l_{\partial. z.} = \frac{6,6}{10^5} \text{ м.};$$

$$\frac{\mu_{\partial. z.}}{2l_{\partial. z.}} = 0,024 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3}$$

$$T_{yx.} = 450^{\circ} \text{ Ц}$$

$$\mu_{\partial. z.} = 3,3 \cdot 10^{-6}; \rho = \frac{17,3}{10^{10}} \text{ см.}; l_{\partial. z.} = \frac{7,35}{10^5} \text{ м.};$$

$$\frac{\mu_{\partial. z.}}{2l_{\partial. z.}} = 0,0225 \frac{\text{кг. сек.}}{\text{м}^3}$$

При этом для парогазовой струи можно в среднем принять следующие значения $\frac{\mu_{п.}}{2L_{п.}}$:

$T_{yx.} = 150^{\circ} \text{ Ц, } 200^{\circ} \text{ Ц, } 250^{\circ} \text{ Ц, } 300^{\circ} \text{ Ц, } 350^{\circ} \text{ Ц, } 400^{\circ} \text{ Ц, } 450^{\circ} \text{ Ц.}$

$\frac{\mu_{п.}}{2L_{п.}} = 0,0338, 0,031, 0,0283, 0,0266, 0,244, 0,0227, 0,021.$

Вращение для $L_{п.}$ составлено для круглого выходного сечения труба. Для других типов конусов (прямоугольного, крестообразного, звездчатого, четырехдырного, шестидырного и др.) при увеличении боковой поверхности парогазовой струи значение $L_{п.}$ должно быть соответственно увеличено.

Поправочные коэффициенты для $L_{п.}$ и метод их получения даны ниже.

Таким образом, уравнение живых сил, составленное из всех приведенных членов, имеет вид:

$$\frac{W^2}{2g} + H \frac{W_{\partial. z.}^2}{2g} - \left[D \frac{(W_b - W)^2}{2g} + H \frac{(W_{\partial. z.} - W)^2}{2g} - L_{п.} \right] - (D + H) \frac{\rho}{\gamma_{св}} = (D + H) \frac{W_{\partial. z.}^2}{2g} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} & \frac{DW_b^2}{2g} - \frac{DW_{\partial. z.}^2}{2g} + 2D \frac{W_e \cdot W_s}{2g} - \frac{D \cdot W_s^2}{2g} + H \frac{W_{\partial. z.}^2}{2g} - \\ & - H \frac{W_{\partial. z.}^2}{2g} + 2H \frac{W_{\partial. z.} \cdot W_s}{2g} - H \frac{W_s^2}{2g} + L_{п.} = \\ & = (D + H) \left(\frac{W_s^2}{2g} + \frac{P_s - P_x}{\gamma_{см}} \right) \end{aligned}$$

Отсюда имеем

$$\begin{aligned} & (D \cdot W_b + H \cdot W_{\partial. z.}) \frac{W_s}{g} - (D + H) \frac{W_s^2}{2g} + L_{п.} = \\ & = (D + H) \left(\frac{W_s^2}{2g} + \frac{P_s - P_x}{\gamma_{см}} \right) \end{aligned}$$

или

$$(DW_b + HW_{\partial. z.}) \frac{W_s}{g} + L_{п.} = (D + H) \left(\frac{W_s^2}{g} + \frac{P_s - P_x}{\gamma_{см}} \right)$$

Так как

$$D + H = \gamma_{см} f_s W_s; \quad D = \gamma_{п.} \alpha^1_0 f_b W_b; \quad H = \gamma_{\partial. z.} f_r W_r,$$

то, обозначив

$$\frac{W_{\partial. z.}}{W_r}$$

через K_0 , получаем: $W_{\partial. z.} = K_0 W_r$,
и, следовательно, имеем:

$$\begin{aligned} & (\gamma_{п.} \alpha^1_0 f_b W_b^2 + \gamma_{\partial. z.} f_r K_0 W_r^2) \frac{W_s}{g} + L_{п.} = \\ & = \gamma_{см} f_s W_s \left(\frac{W_s}{g} + \frac{P_s - P_x}{\gamma_{см}} \right), \end{aligned}$$

что после сокращения на W_s и деления всего уравнения дает:

$$\begin{aligned} & \gamma_{см} \frac{W_s^2}{g} + (P_s - P_x) = \\ & = \gamma_{п.} \frac{\alpha^1_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{W_b^2}{g} + \gamma_{\partial. z.} \frac{K_0 f_r}{g} \cdot \frac{W_r^2}{g} + \frac{L_{п.}}{f_s W_s} \end{aligned}$$

Отсюда находим:

$$\begin{aligned} \frac{P_s - P_x}{\gamma_{см}} = & \frac{\gamma_{п.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha^1_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{W_b^2}{g} + \frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \cdot \\ & \cdot \frac{K_0 f_r}{f_s} \cdot \frac{W_r^2}{g} + \frac{L_{п.}}{\gamma_{см} f_s W_s} - \frac{W_s^2}{g} \end{aligned}$$

Для наших выводов лучше иметь значение разрежения в дымовой коробке, т. е. знать $P_a - P_x$. Для этого применим теорему Бернулли для наиболее узкого сечения дымовой трубы и для выходного ее сечения f_a , принимая установившееся движение парогазовой смеси:

$$\frac{W_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\gamma_{см}} = \frac{W_a^2}{2g} + \frac{P_a}{\gamma_{см}} + \frac{R}{\gamma_{см}} + \frac{K^1 \cdot W_a^2}{2g} \quad (39)$$

где $R \frac{\kappa z}{M^2}$ — сопротивление от трения газов о стенки дымовой трубы;

$$\frac{K^1 \cdot W_a^2}{2g} \gamma_{см} = 3 \frac{W_a^2}{2g} \gamma_{см} \frac{\kappa z}{M^2}$$

сопротивление искроудерживающей сетки на дымовой трубе.

Обозначив угол конусности дымовой трубы через ε (черт. 4), находим для элемента поверхности дымовой трубы

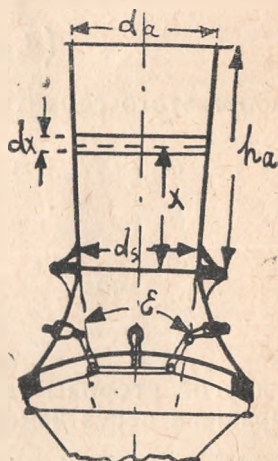
$$\pi (d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}) \frac{dx}{\cos \frac{\varepsilon}{2}}$$

величину сопротивления от трения из следующих соображений:

Объем элементарного усеченного конуса высотой dx приближенно равен:

$$v \cong \frac{\pi}{4} (d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2})^2 dx$$

$$d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}$$



Черт. 4.

средний диаметр элементарного усеченного конуса, при чем ввиду малости высоты dx принимаем его объем по формуле для цилиндра.

Полагая, что в этом объеме заключено $dH_{кг.}$ газов, находим:

$$dH = \frac{\pi}{4} (d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2})^2 dx \gamma_{см}$$

$$dx = \frac{4 dH}{\pi (d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2})^2 \gamma_{см}}$$

площадь поверхности этого усеченного конуса равна:

$$F = \pi (d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}) \frac{dx}{\cos \frac{\varepsilon}{2}}$$

Если обозначить сопротивление от трения на 1 м² поверхности трубы через:

$$K \cdot \frac{\gamma_{см} \cdot \omega^2}{2g},$$

то общее сопротивление от трения газов для выделенного элемента трубы получится равным:

$$\begin{aligned} N'_{o} &= K \cdot \frac{\gamma_{см} \cdot \omega^2}{2g} F = K \frac{\gamma_{см} \cdot \omega^2}{2g} \cdot \pi \left(d_s + \right. \\ &+ \left. 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right) \cdot \frac{4 dH}{\pi \left(d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right)^2 \gamma_{см}} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} = \\ &= \frac{4 K \cdot dH}{\left(d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right) \cos \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \frac{\omega^2}{2g} \text{ кг.} \end{aligned}$$

Работа этого сопротивления на пути dx равна:

$$\begin{aligned} dL &= N'_{o} \cos \frac{\varepsilon}{2} dx = \frac{4 K \cdot dH}{\left(d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right) \cos \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \\ &\cdot \frac{\omega^2}{2g} \cos \frac{\varepsilon}{2} dx = \frac{4 K dH}{d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \frac{\omega^2}{2g} dx \text{ кг м.} \end{aligned}$$

С другой стороны та же работа для dH кг газов может быть выражена через изменение давления газов, а именно;

$$dL = \frac{dR}{\gamma_{см}} dH,$$

где dR — изменение давления в кг/м².

Поэтому имеем:

$$\frac{dR}{\gamma_{см}} dH = \frac{4 \cdot K \cdot dH}{d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \frac{\omega^2}{2g} dx$$

Отсюда находим:

$$dR = \frac{4 K}{d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \frac{\gamma_{см} \cdot \omega^2}{2g} dx$$

так как

$$\omega = \frac{4(D+H)}{\gamma_{см} \cdot \pi \left(d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right)^2}$$

то, следовательно,

$$dR = \frac{32.K(D+H)^2}{\pi^2 \cdot g \cdot \gamma_{см}} \cdot \frac{dx}{\left(d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}\right)^3}$$

Принтегрировав это выражение в пределах от 0 до h_a , найдем:

$$\begin{aligned} R &= \int_0^{h_a} dR = \frac{32.K.(D+H)^2}{\pi^2 g \cdot \gamma_{см}} \int_0^{h_a} \frac{dx}{\left(d_s + 2x \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}\right)^3} = \\ &= \frac{32K.(D+H)^2}{\pi^2 \cdot g \cdot \gamma_{см}} \cdot \frac{1}{4 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \left[\frac{1}{d_s^4} - \right. \\ &\left. \frac{1}{\left(d_s + 2h_a \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}\right)^4} \right] = \frac{4 K(D+H)^2}{\pi^2 \cdot g \cdot \gamma_{см} \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \left(\frac{1}{d_s^4} - \frac{1}{d_a^4} \right) = \\ &= \frac{4 K \cdot \gamma_{см}}{16 \cdot g \cdot \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \left[\frac{16(D+H)^2}{\pi^2 \cdot d_s^4 \gamma_{см}^2} - \frac{16(D+H)^2}{\pi^2 \cdot d_a^4 \cdot \gamma_{см}^2} \right] = \\ &= \frac{4 K \cdot \gamma_{см}}{16 \cdot g \cdot \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} (W_s^2 - W_a^2) = \frac{K \cdot \gamma_{см}}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \left(\frac{W_s^2}{2g} - \frac{W_a^2}{2g} \right) \quad (40) \end{aligned}$$

Причем коэффициент K по данным Фритцше и Биля для средних скоростей газов в дымовых трубах можно принять равным:

$$K = 0,0032 - 0,0035$$

Проф. Бутаков „Механическая тяга в котельной“; учитывая значительную шероховатость и загрязненность внутренней поверхности дымовой трубы в условиях эксплуатации вышеуказанные значения K , необходимо увеличить по данным А.Е.Г (см. А.Е.Г. Mitteilungen—Das Kraftwerk Okt 1931) в 1,7 раз. Таким образом, для расчетов K надо принимать равным

$$K = 0,0055 - 0,006.$$

Угол конусности трубы ε обычно делается равным $\varepsilon = 4^\circ - 7^\circ$

$$\left(\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = 0,035 - 0,06 \right)$$

иногда до $\varepsilon = 9,5^\circ$,

$$\left(\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = 0,0835 \right).$$

Больших углов надо избегать, так как при $\varepsilon > (8^\circ \div 9,5^\circ)$ начинается отделение струек газов от стенок дымовой трубы. Возникают потери на завихрение, что ухудшает работу трубы.

Таким образом:

$$\frac{R}{\gamma_{см.}} = \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \left(\frac{W_s^2}{2g} - \frac{W_a^2}{2g} \right)$$

Для цилиндрических труб величина

$$\frac{R}{\gamma_{см.}} = 4k \cdot \frac{h_a}{a_s} \cdot \frac{W_s^2}{2g}$$

и

$$W_s \cong W_a$$

Подставляя найденное выражение $\frac{R}{\gamma_{см.}}$ в уравнение Бернулли (39) получаем:

$$\begin{aligned} \frac{W_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma_{см.}} &= \frac{W_a^2}{2g} + \frac{p_a}{\gamma_{см.}} + \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \frac{W_s^2}{2g} \\ &- \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \cdot \frac{W_a^2}{2g} + K^1 \cdot \frac{W_a^2}{2g} \end{aligned}$$

Отсюда имеем:

$$\begin{aligned} \frac{p_s}{\gamma_{см.}} &= \frac{p_a}{\gamma_{см.}} - \frac{W_s^2}{2g} \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) + \\ &+ \frac{W_a^2}{2g} \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) + K^1 \cdot \frac{W_a^2}{2g} \end{aligned}$$

Так как при установившемся движении

$$f_s W_s = f_a W_a$$

то следовательно:

$$W_a = \frac{f_s}{f_a} W_s$$

Поэтому

$$\begin{aligned} \frac{p_s}{\gamma_{см.}} &= \frac{p_a}{\gamma_{см.}} - \frac{W_s^2}{2g} \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) \left[1 - \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 \right] \\ &+ K^1 \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 \frac{W_s^2}{2g} \end{aligned}$$

Подставляя это значение $\frac{p_s}{\gamma_{см}}$ в уравнение (38) находим:

$$\begin{aligned} \frac{p_a - p_x}{\gamma_{см}} &= \frac{\gamma_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{\gamma_s} \cdot \frac{W_b^2}{g} + \frac{\gamma_{д. з.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{K_o f_r}{f_s} \cdot \frac{W_r^2}{g} + \\ &+ \frac{L_n}{\gamma_{см} f_s W_s} - \frac{W_s^2}{g} + \frac{W_s^2}{2g} \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) \left[1 - \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 \right] - \\ &- K^1 \cdot \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 \frac{W_s^2}{2g} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{W_b^2}{g} + \\ &+ \frac{\gamma_{д. з.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{K_o f_r}{f_s} \cdot \frac{W_r^2}{g} + \frac{L_n}{\gamma_{см} f_s W_s} - \\ &- \frac{W_s^2}{g} \left[1 + K^1 \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 - \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) \frac{1 - \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2}{2} \right]; \end{aligned}$$

или

$$1 + \frac{K^1}{2} \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 - \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) \cdot \frac{1 - \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2}{2} = E \quad (42)$$

где K , при чем член

$$\frac{K^1}{2} \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2$$

входит в расчет только при наличии на дымовой трубе искро-
улавливающей сетки; тогда получим:

$$\begin{aligned} \frac{p_x - p_s}{\gamma_{см}} &= \frac{\gamma_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{W_b^2}{g} + \frac{\gamma_{д. з.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{K_o f_r}{f_s} \cdot \frac{W_r^2}{g} + \\ &+ \frac{L_n}{\gamma_{см} f_s W_s} - E \frac{W_s^2}{g} \quad (43) \end{aligned}$$

$$\gamma_{см} f_s W_s = D + H = \gamma_n \alpha'_o f_b W_b + \gamma_{д. з.} f_r W_r,$$

$$W_s = \frac{\gamma_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} W_b + \frac{\gamma_{д. з.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{f_r}{f_s} W_r.$$

Поэтому

$$\frac{W_s^2}{g} = \left(\frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}}\right)^2 \cdot \left(\frac{\alpha'_o f_b}{f_s}\right)^2 \frac{W_b^2}{g} + \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot 2 \left(\frac{\alpha'_o f_b}{f_s}\right) \left(\frac{f_r}{f_s}\right) \frac{W_b W_r}{g} + \left(\frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}}\right)^2 \left(\frac{f_r}{f_s}\right) \frac{W_r^2}{g}$$

Подставляя это значение $\frac{W_s^2}{g}$ в уравнение (42), находим:

$$\frac{p_a - p_x}{\gamma_{cm}} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{W_b^2}{g} \left(1 - E \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}}\right) + \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{W_r^2}{g} \left(K_o - E \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s}\right) - 2E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{W_b W_r}{g} + \frac{L_n}{D + H} \quad (43)$$

Выражая W_b и W_r через давления, имеем:

$$W_b = \varphi \sqrt{2g \frac{p_b - p_x}{\gamma_n}}; \quad W_r = \psi \sqrt{2g \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial z}}} = \psi \sqrt{2g \frac{h}{\gamma_{\partial z}}}$$

или

$$h = p_a - p_x = \frac{\gamma_{\partial z}}{2g} \left(\frac{W_r}{\psi}\right)^2;$$

откуда

$$\psi = \frac{W_r}{\sqrt{2g \frac{h}{\gamma_{\partial z}}}} \quad (44)$$

здесь $h = p_a - p_x$ — полное разрежение в дымовой коробке в мм водян. ст.

Поэтому уравнение (43) примет вид:

$$\frac{p_a - p_x}{\gamma_{cm}} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{\varphi^2}{g} \cdot 2g \frac{p_b - p_x}{\gamma_n} \left(1 - E \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}}\right) + \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\psi^2}{g} \cdot 2g \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial z}} \left(K_o - E \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s}\right) - 2E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_b} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot 2g \varphi \psi \sqrt{\frac{(p_b - p_x)(p_a - p_x)}{\gamma_n \gamma_{\partial z}}} + \frac{L_n}{D + H}$$

или после приведения подобных:

$$\begin{aligned}
 & (p_a - p_x) \left[1 - 2\psi^2 \frac{f_r}{f_s} \left(K_0 - E \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s} \right) \right] = \\
 & = 2\varphi^2 \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \right) (p_b - p_x) - \\
 & - 4E \varphi \psi \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}} \sqrt{(p_b - p_x)(p_a - p_x) +} \\
 & \quad + \gamma_{cm} \frac{L_n}{D + H}}
 \end{aligned}$$

Перенесем

$$\gamma_{cm} \frac{L_n}{D + H}$$

в левую часть уравнения; тогда получим, заменяя в знаменателе разность давлений $p_a - p_x$ ее вышеуказанным значением h :

$$\begin{aligned}
 & (p_a - p_x) \left[1 - 2\psi^2 \frac{f_r}{f_s} \left(K_0 - E \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s} \right) - \right. \\
 & \left. \gamma_{cm} \frac{L_n}{(D + H)h} \right] = 2\varphi^2 \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \right) (p_b - p_x) - \\
 & - 4E \varphi \psi \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}} \sqrt{(p_a - p_x)(p_b - p_x)};
 \end{aligned}$$

Разделив это уравнение на

$$4E \varphi \psi \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}} (p_a - p_x),$$

получим

$$\begin{aligned}
 & \frac{1 - 2\psi^2 \frac{f_r}{f_s} \left(K_0 - E \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s} \right) - \gamma_{cm} \frac{L_n}{(D + H)h}}{4E \varphi \psi \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}}} = \\
 & = \frac{2\varphi^2 \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \right)}{4E \varphi \psi \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}}} \cdot \frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = \\
 & = \sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}}
 \end{aligned} \tag{45}$$

Обозначим свободный член уравнения через B , а коэффициент при $\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}$ через A ; тогда уравнение (45) примет вид:

$$B = A \frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} - \sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}}$$

или

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} - \frac{1}{A} \sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}} - \frac{B}{A} = 0$$

Отсюда находим:

$$\sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}} = \frac{1}{2A} + \sqrt{\frac{1}{4A^2} + \frac{B}{A}}$$

или

$$\sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}} = \frac{2E\psi \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}}}{2\varphi \cdot \left(1 + E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s}\right)} +$$

$$+ \sqrt{\frac{4E^2 \psi^2 \left(\frac{f_r}{f_s}\right)^2 \frac{\gamma_n \gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}^2}}{4\varphi^2 \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s}\right)^2}} +$$

$$+ \frac{\left[1 - 2\psi^2 \frac{f_r}{f_s} \left(K_0 - E \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s}\right) - \gamma_{cm} \frac{L_n}{(D+H)h}\right] 2E\psi \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}}}{4E \cdot \varphi \cdot \psi \cdot \frac{\alpha'_0 \cdot f_b}{f_s} \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \cdot \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}} \cdot \varphi \left(1 - E \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s}\right)}$$

$$= \frac{E \cdot \psi \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \cdot \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}}}{\varphi \cdot \left(1 - E \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 \cdot f_b}{f_s}\right)} +$$

$$+ \sqrt{\frac{E^2 \cdot \psi^2 \cdot \left(\frac{f_r}{f_s}\right)^2 \cdot \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}^2}}{\varphi^2 \cdot \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s}\right)^2}} +$$

$$+ \frac{\frac{f_s}{\alpha'_0 f_b} \left[1 - 2\psi^2 \cdot \frac{f_r}{f_s} \left(K_0 - E \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s}\right) - \gamma_{cm} \cdot \frac{L_n}{(D+H) \cdot h}\right]}{2 \cdot \varphi^2 \cdot \left(1 - E \cdot \frac{\alpha'_0 \cdot f_b}{f_s} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}}\right)} \quad (46)$$

Из этого уравнения определяем значение отношения

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x},$$

найдя которое легко вычислить отношение

$$\frac{p_b - p_a}{p_a - p_x} :$$

$$\frac{p_b - p_a}{p_a - p_x} = \frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} - 1 = m_0 \quad (46')$$

и, следовательно, можно определить противодавление в конусе

$$p_b - p_a = (p_a - p_x) m_0 \quad (46'')$$

С другой стороны то же противодавление в конусе легко найти по формулы для W_b :

$$W_b = \varphi \sqrt{2g \frac{p_b - p_x}{\gamma_n}}$$

откуда:

$$p_b - p_x = \frac{\gamma_n W_b^2}{\varphi^2 \cdot 2g}$$

$$\begin{aligned} p_b - p_a &= (p_b - p_x) - (p_a - p_x) = \frac{\gamma_n W_b^2}{\varphi^2 2g} - h = \\ &= \frac{\gamma_n}{2g \varphi^2} - \left(\frac{D}{\gamma_n \alpha'_0 f_b} \right)^2 - h = \frac{1}{2g \gamma_n} \left(\frac{D}{\mu'_0 f_b} \right)^2 - h \quad (46''') \end{aligned}$$

Для определения входящих в формулу (45) коэффициентов α'_0 и μ'_0 , а также поправочных коэффициентов X для L_n при фигурных конусах обратимся к опытным данным, полученным для различных типов конусов на паровозе сер. Э (черт. 5) (см. Железнодорожное дело № 10 1931 г., Сборник „Конструкция паровозов ж. д. СССР“ вып. 4, Труды МИИТ вып. 7 1928 г. и вып. 16 1931 г.)

Сравнение различных типов конусов произведем для разрежения в дымовой коробке паровоза сер. Э : $h = p_a - p_x = 150$ мм. вод. ст., которое соответствует $Z_m \cong 40$ кг/м². ч. при угольном топливе и интенсивности горения $y = 300$ кг/м². ч.

Основные конструктивные размеры паровоза сер Э следующие: испаряющая поверхность нагрева котла $H = 198$ м². площадь колосниковой решетки $R = 4,46$ м².

$$f_r = 0,664 \text{ м}^2; \quad f_s = 0,152 \text{ м}^2; \quad f_b = 0,0154 \text{ м}^2;$$

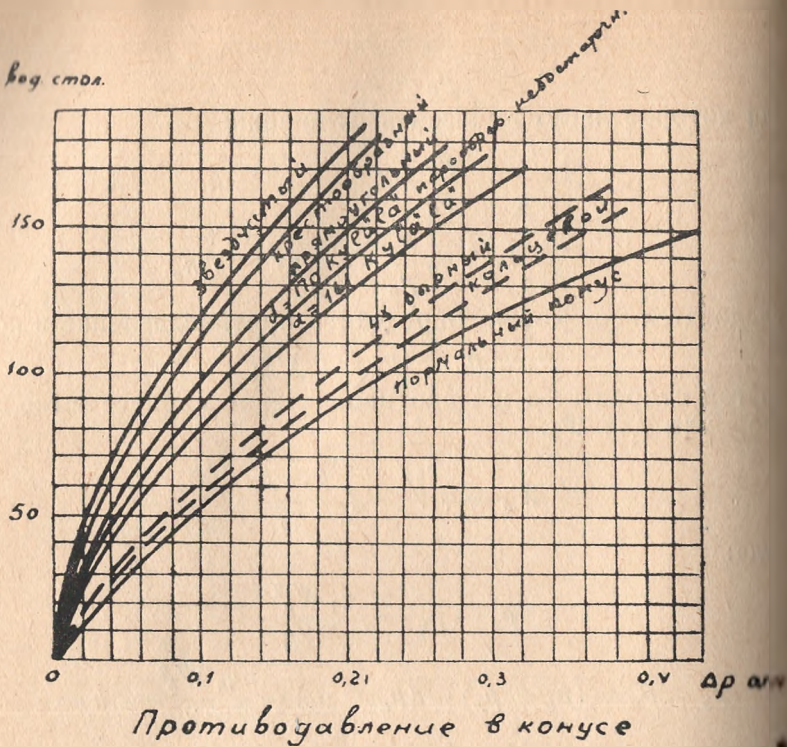
$$f_a = 0,229 \text{ м}^2;$$

$$d_b = 0,14 \text{ м}; \quad d_s = 0,44 \text{ м}; \quad d_a = 0,54 \text{ м};$$

угол конусности трубы $\varepsilon = 6,5^\circ$;

Линия вод. стол.

Разряжение в дымовой коробке.



Паравоз сер 3
пунктиром нанесены кривые по данным расчета

Черт. 5.

площадь сечения выхлопной трубы цилиндра паровоза

$$f_{\text{вып.}} = 0,0227 \text{ м}^2.$$

Расчетные данные для

$$y = 300 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

принимаем из статьи инж. Орловской „Дымовая труба паровозного котла“ (см. журнал Подвижной состав № 4—5 1933) и именно:

$$D = 2,22 \text{ кг/сек.}, \quad H = 5,28 \text{ кг/сек.}, \quad D + H = 7,5 \text{ кг/сек.}$$

$$\gamma_{\text{п}} = 0,58 \text{ кг/м}^3; \quad \gamma_{\text{дз}} = 0,612 \text{ кг/м}^3 \quad \gamma_{\text{см}} = 0,603 \text{ кг/м}^3$$

$$W_r = 13 \text{ м/сек.}, \quad T_{\text{ух}} = 315^\circ\text{C.}$$

Тогда из формулы (44') получаем значение коэффициента

$$\phi = \frac{W_r}{\sqrt{2g \frac{h}{\gamma_{\text{дз}}}}} = \frac{13}{\sqrt{2,9,81 \frac{150}{0,612}}} = 0,188$$

На черт. (5) находим для нормального конусного насадка круглого сечения значение $p_b - p_a$

$$h = p_a - p_x = 150 \text{ мм},$$

именно:

$$p_b - p_a = 0,445 \text{ атм.} = 4450 \text{ кг/м}^2.$$

$$p_b - p_a = \frac{1}{2g \gamma_n} \left(\frac{D}{\mu'_o f_b} \right)^2 - h$$

$$4450 = \frac{1}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,58} \cdot \left(\frac{2,22}{\mu'_o \cdot 0,0154} \right)^2 - 150$$

Тогда коэффициент расхода для круглого конуса

$$\mu'_o = \frac{2,22}{0,0154 \sqrt{(4450 + 150) \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,58}} = 0,63$$

Для определения коэффициентов φ и α'_o имеем уравнения:

$$W_b = \varphi \sqrt{2g \frac{p_b - p_x}{\gamma_n}} = \frac{D}{\gamma_n \alpha'_o f_b}$$

$$\mu'_o = \varphi \alpha'_o$$

$$p_b - p_x = (p_b - p_a) + (p_a - p_x) = 4450 + 150 = 4600 \text{ кг/м}^2.$$

Следовательно, имеем:

$$\varphi \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{4600}{0,58}} = \frac{2,22}{0,58 \cdot \alpha'_o \cdot 0,0154}$$

По данным проф. Мухачева (см. Паровозы ч. I)

$$\alpha'_o = 0,9$$

Полагая

$$\varphi = 0,7$$

$$\alpha'_o = 0,9$$

$$W_b = 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{4600}{0,58}} = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot 0,0154}$$

$$W_b = 0,7 \cdot 394 = \frac{249}{0,9} = 276 \text{ м/сек.}$$

Для проверки полученных коэффициентов α'_0 и φ определим $p_b - p_a$ по формуле (46) и сравним его с полученным из опыта

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}} &= \frac{E\psi \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}}}{\varphi \cdot \left(1 - E \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma_{cm}}\right)} + \\
 &+ \sqrt{\frac{E^2 \cdot \psi^2 \cdot \left(\frac{f_r}{f_s}\right)^2 \cdot \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}^2}}{\varphi^2 \cdot \left(1 - E \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}}\right)^2}} + \\
 &+ \frac{\frac{f_s}{\alpha'_0 f_b} \cdot \left[1 - 2\psi^2 \cdot \frac{f_r}{f_s} \left(K_0 - E \cdot \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_s}\right) - \gamma_{cm} \cdot \frac{L_n}{(D+H)h}\right]}{2\varphi^2 \left(1 - E \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}}\right)} \\
 &= \frac{0,735 \cdot 0,188 \cdot 4,36 \cdot \frac{\sqrt{0,58 \cdot 0,612}}{0,603}}{0,7 \left(1 - 0,735 \frac{1}{10,95} \cdot \frac{0,58}{0,603}\right)} + \\
 &+ \sqrt{\frac{0,735^2 \cdot 0,188^2 \cdot 4,36^2 \cdot \frac{0,58 \cdot 0,612}{0,603^2}}{0,7^2 \left(1 - 0,735 \frac{1}{10,95} \cdot \frac{0,58}{0,603}\right)^2}} + \\
 &+ \frac{10,95 \left[1 - 2 \cdot 0,188^2 \cdot 4,36 \left(0,1 - 0,735 \cdot 4,36 \frac{0,612}{0,603}\right) - 0,603 \frac{464,5}{7,5 \cdot 150}\right]}{2 \cdot 0,7^2 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{1}{10,95} \cdot \frac{0,58}{0,603}\right)} \\
 &= 0,91 + 4,62 = 5,53
 \end{aligned}$$

при чем

$$\frac{f_s}{\alpha'_0 f_b} = \frac{0,152}{0,9 \cdot 0,0154} = 10,95; \quad \frac{f_r}{f_s} = \frac{0,664}{0,152} = 4,36; \quad K_0 = \frac{W_{a.z.}}{W_i} = 0,1$$

отсюда имеем:

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = 5,53^2 = 30,6$$

Поэтому

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = \frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} - 1 = 30,6 - 1 = 29,6$$

или

$$p_b - p_a = 29,6 (p_a - p_x) = 29,6 \cdot h = 29,6 \cdot 150 = 4450 \text{ кг/м}^2 = 0,445 \text{ атм.}$$

т. е. разрежение в дымовой коробке составляет

$$\sim \frac{1}{29,6}$$

перевеса давления в конусе над атмосферным.

Здесь:

E определено из формулы (42)

$$E = 1 - \frac{1 - \left(\frac{f_s}{f_a}\right)^2}{2} \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}}\right) = 1 - \frac{1 - \left(\frac{0,152}{0,229}\right)^2}{2} \left(1 - \frac{0,006}{2 \cdot 0,057}\right) = 0,735.$$

L_n найдено из формулы (33):

$$L_n = \frac{\nu_n}{2 l_n} \cdot \frac{D}{\gamma_n \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\beta} (W_b - W_s) - \frac{2}{3} \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\beta} - 1 \right) \left(W_b - \frac{d_b}{d_{s1}} W_s \right) \right] - \frac{\nu_{\partial.з.}}{2 l_{\partial.з.}} w_{\partial.з.} \frac{D}{\gamma_n \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\beta} \ln \frac{w_b}{w_s} - 2 \left(\frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{\beta} - 1 \right) \left(1 - \frac{d_b}{d_s} \right) \right] =$$

$$\begin{aligned}
&= 0,026 \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,057} \left[\frac{0,44 - 0,14}{0,44 \sqrt{\frac{2,22 \cdot 0,603}{7,5 \cdot 0,58}} - 0,14} (276 - 82) - \right. \\
&\quad \left. - \frac{2}{3} \left(\frac{0,44 - 0,14}{0,44 \sqrt{\frac{2,22 \cdot 0,603}{7,5 \cdot 0,58}} - 0,14} - 1 \right) \left(276 - \frac{0,14}{0,44 \sqrt{\frac{2,22 \cdot 0,603}{7,5 \cdot 0,58}}} - 82 \right) \right] - \\
&= 0,027 \cdot 0,1 \cdot 13 \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,057} \left[\frac{0,44 - 0,14}{0,44 \sqrt{\frac{2,22 \cdot 0,603}{7,5 \cdot 0,58}} - 0,14} \cdot 2,3 \cdot \right. \\
&\quad \cdot \lg \frac{276}{82} - 2 \left(\frac{0,44 - 0,14}{0,44 \sqrt{\frac{2,22 \cdot 0,603}{7,5 \cdot 0,58}} - 0,14} - 1 \right) \left(1 - \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{0,14}{0,44 \sqrt{\frac{2,22 \cdot 0,603}{7,5 \cdot 0,58}}} \right) \right] = 1,75(556 - 288) - 2,36(3,5 - 1,6) \\
&= 469 - 4,5 = 464,5 \text{ кг/сек.}
\end{aligned}$$

Таким образом, получена полная сходимость опытного значения с расчетным, а потому для конуса круглого сечения окончательно принимаем

$$\alpha'_0 = 0,9, \quad \varphi = 0,7.$$

Для полной уверенности в правильности всех вышеуказанных выкладок проверим еще баланс энергии по формуле (3)

$$\begin{aligned}
\frac{DW_b^2}{2g} + \frac{HW_{d.z.}^2}{2g} &= (D+H) \frac{W_s^2}{2g} + (D+H) \frac{p_s - p_x}{\gamma_{с.м}} + \\
&+ \left[\frac{D(W_b - W_s)^2}{2g} + \frac{H(W_{d.z.} - W_s)^2}{2g} - L_n \right]
\end{aligned}$$

Здесь скорость уходящих газов в дымовой коробке

$$W_{d.z.} = K_0 W_r = 0,1 \cdot 13 = 1,3 \text{ м/сек.}$$

По формуле (41) находим значение

$$\frac{p_s - p_x}{\gamma_{с.м}}$$

по известному разрежению

$$h = p_a - p_1 = 150 \text{ мм в ст.}$$

именно:

$$\begin{aligned} \frac{p_s - p_x}{\gamma_{см}} &= \frac{p_a - p_x}{\gamma_{см}} - \frac{W_s^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 \right] \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) = \\ &= \frac{h}{\gamma_{см}} - \frac{W_s}{2g} \left[1 - \left(\frac{f_s}{f_a} \right)^2 \right] \left(1 - \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \right) = \\ &= \frac{150}{0,603} - \frac{82^2}{2 \cdot 9,81} \left[1 - \left(\frac{0,152}{0,229} \right)^2 \right] \left(1 - \frac{0,006}{2 \cdot 0,057} \right) = \\ &= 248,5 - 181,5 = 67 \text{ кгм/кг}. \end{aligned}$$

Здесь

$$W_s = \frac{D + H}{\gamma_{см} f_s} = \frac{7,5}{0,603 \cdot 0,152} = 82 \text{ м/сек}.$$

Подставляя значения всех скоростей, давлений и L_n в уравнение (37) получаем:

$$\begin{aligned} 2,22 \frac{276^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} &= 7,5 \frac{82^2}{2 \cdot 9,81} + 7,5 \cdot 67 + \\ + \left[2,22 \frac{(276 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{(1,3 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} - 464,5 \right]; \end{aligned}$$

и имеем

$$8619 + 0,5 = 2570 + 502,5 + [4258,5 + 1753 - 464,5]$$

$$8619,5 = 2570 + 502,5 + 5547 = 8619,5$$

Таким образом, весь расчет произведен правильно.

Из гидравлики известно, что коэффициент скорости φ равен:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha \left[1 - \frac{\alpha_o' f_b}{2 f_{выт.}} \right]^2 + K_k}} \quad (47)$$

$$\alpha \cong 1,1; 2 f_{выт.} =$$

площадь сечения 2-х выхлопных труб цилиндров паровоза

α_k — коэффициент сопротивления конуса.

Подставляя значения

$$\varphi, \alpha, \alpha_o', f_b$$

$$f_{выт.} = 0,0227 \text{ м}^2.$$

для паровоза сер. Э, имеем для конуса круглого сечения:

$$0,7 = \frac{1}{\sqrt{1,1 \left[1 - \left(\frac{0,9 \cdot 0,054}{2,0 \cdot 0,0227} \right)^2 \right] + K_k}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1,1 \cdot 0,907 + K_k}} = \frac{1}{\sqrt{1 + K_k}}$$

отсюда

$$K_k = \frac{1}{0,7^2} - 1 = 1,04.$$

По данным Цейнера сопротивление конуса

$$p_b - p_a = \frac{1}{8} \left(\frac{D}{f_b} \right)^2 \frac{\kappa z}{m^2} \quad (46^{19})$$

но эта формула дает преуменьшенные значения для $p_b - p_a$.

По данным Олтунской испытательной станции

$$p_b - p_a = 0,00125 \cdot 3600 \cdot D \cdot h = 4,5 \cdot D \cdot h \text{ кг/м}^2 \quad (46^{20})$$

но эта формула также дает преуменьшенные значения для противодействия в конусе.

Разрежение в дымовой коробке обычно равно:

$$p_a - p_x = h = 50 \div 200 \text{ мм вод. ст. (кг/м}^2\text{)},$$

в Америке—до 400 мм вод. ст.

По данным Цейнера разрежение в дымовой коробке

$$p_a - p_x = h$$

можно приближенно определить по формуле:

$$h = 0,00069 \cdot 13,6 \left(\frac{D}{f_b} \right)^2 = 0,0094 \left(\frac{D}{f_b} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (46^{21})$$

но формула эта дает преувеличенные значения для h .

Таким же путем определяем коэффициенты $\alpha'_{o\varphi}$, φ , ρ'_o для конусных посадок с фигурным выходным сечением, а именно:

а) для прямоугольного выходного сечения конуса находим из черт. (5) противодействие $p_b - p_a = 0,198$ атм. при разрежении в дымовой коробке $h = p_a - p_x = 150$ мм в. ст.

Площадь сечения этого конуса $f_b = 0,0204$ м².

Поэтому

$$\rho'_o = \alpha'_{o\varphi} = \frac{D}{f_b \sqrt{[(p_b - p_a) + h] 2g \gamma_n}} =$$

$$= \frac{1}{0,0204 \sqrt{(1980 + 150) 2 \cdot 9,81 \cdot 0,58}} = 0,7.$$

Принимаем
Тогда

$$\varphi = 0,9 \text{ и } \alpha'_o = 0,78$$

$$W_b = \varphi \sqrt{2g \frac{p_b - p_x}{\gamma_n}} = \varphi \sqrt{2g \frac{(p_b - p_a) + h}{\gamma_n}} =$$

$$= 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{1980 + 150}{0,58}} = 0,9 \cdot 269 = 242 \text{ м/сек.}$$

С другой стороны

$$W_b = \frac{D}{\alpha'_o \cdot f_b \cdot \gamma_n} = \frac{2,22}{0,78 \cdot 0,0204 \cdot 0,58} = 242 \text{ м/сек.}$$

Таким образом, коэффициенты α'_o и φ выбраны правильно. Эквивалентный диаметр конуса круглого сечения, соответствующий площади $f_b = 0,0204 \text{ м}^2$, равен $d_{\text{экв.}} = 0,161 \text{ м.}$; для этого

$$W_{\text{экв.}} = \frac{D}{\gamma_n \alpha'_{\text{экв.}} f_{\text{экв.}}} = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot 0,0204} = 209 \text{ м/сек.}$$

Для этого эквивалентного конуса находим значение L_n по формуле (33), принимая вышеуказанные значения

$$d_s, w_s, \gamma_{\text{см}}, \gamma_n, D, H \text{ и } D + H:$$

$$\frac{v_n}{2l_n} \cdot \frac{D}{\gamma_n \cdot \text{tg} \frac{\beta}{2}} \left[\frac{\text{tg} \frac{\delta}{2}}{\text{tg} \frac{\beta}{2}} (W_b - W_s) - \frac{2}{3} \left(\frac{\text{tg} \frac{\delta}{2}}{\text{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(W_b - \frac{d_b}{d_{s1}} W_s \right) \right] -$$

$$\frac{W_{\text{экр.}}}{2l_{\text{экр.}}} \cdot \frac{D}{\ln \text{tg} \frac{\beta}{2}} \left[\frac{\text{tg} \frac{\delta}{2}}{\text{tg} \frac{\beta}{2}} \ln \frac{W_b}{W_s} - 2 \left(\frac{\text{tg} \frac{\delta}{2}}{\text{tg} \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(1 - \frac{d_b}{d_{s1}} \right) \right] =$$

$$= 0,026 \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,057} \left[\frac{0,44 - 0,161}{0,244 - 0,161} (209 - 82) - \right.$$

$$\left. - \frac{2}{3} \left(\frac{0,44 - 0,161}{0,244 - 0,161} - 1 \right) \left(209 - \frac{0,161}{0,244} \cdot 82 \right) \right] -$$

$$0,027 \cdot 0,1 \cdot 13 \cdot \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,057} \left[\frac{0,44 - 0,161}{0,244 - 0,161} \cdot 2,3 \text{ tg} \frac{209}{82} - \right.$$

$$\left. \left(\frac{0,44 - 0,161}{0,244 - 0,161} - 1 \right) \left(1 - \frac{0,161}{0,244} \right) \right] = 1,75 \cdot 184 - 2,36 \cdot 1,53 =$$

$$= 322 - 3,6 = 318,4 \text{ кгм/сек.}$$

Для конуса прямоугольного сечения в виду большей боковой поверхности паровой струи вытекающей из конуса величина L_n очевидно будет больше найденного значения L_n для

эквивалентного круглого конуса. Для определения величин поправочного коэффициента X_1 для L_n напишем уравнение баланса энергии (37)

$$\frac{DW_b^2}{2g} + \frac{HW_{\partial z}^2}{2g} = (D+H) \frac{W_s^2}{2g} + (D+H) \frac{P_s - P_x}{\gamma_{cm}} + \left[\frac{D(W_b - W_s)^2}{2g} + \frac{H(W_{\partial z} - W_s)^2}{2g} - X_1 L_n \right]$$

где X_1 — поправочный коэффициент для L_n при прямоугольном конусе.

$$2,22 \frac{242^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} = 7,5 \frac{82^2}{2 \cdot 9,81} + 7,5 \cdot 67 + \left[2,22 \frac{(242 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{(1,3 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} - X_1 \cdot 318,4 \right]$$

или $6640 + 0,5 = 2570 + 502,5 + (2900 + 1753 - X_1 \cdot 318,4) = 7725,5 - X_1 \cdot 318,4$

отсюда

$$X_1 = \frac{7725,5 - 6640,5}{318,4} = \frac{1085}{318,4} = 3,4.$$

Таким образом, для конусного насадка прямоугольного сечения имеем:

$$L'_n = X_1 L_n = 3,4 \cdot 318,4 = 1085 \text{ кгм/сек.}$$

Для проверки правильности подбора коэффициентов α'_o и φ определим $(P_b - P_x)$ по формуле (46) и сравним его с опытным значением 0,198 атм.;

$$\sqrt{\frac{P_b - P_x}{P_a - P_x}} = \frac{E\psi \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\sqrt{\gamma_n \gamma_{\partial z}}}{\gamma_{cm}}}{\varphi \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \right)}$$

$$\sqrt{\frac{E^2 \psi^2 \left(\frac{f_r}{f_s} \right)^2 \frac{\gamma_n \gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}}}{\varphi^2 \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \right)^2}}$$

$$\frac{f_s}{\alpha'_o f_b} \left[1 - 2 \cdot \psi^2 \cdot \frac{f_r}{f_s} \left(K_o - E \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\gamma_{\partial z}}{\gamma_{cm}} \right) - \gamma_{cm} \cdot \frac{L_n}{(D+H)h} \right]$$

$$+ \frac{2 \cdot \varphi^2 \cdot \left(1 - E \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \right)}{}$$

$$= \frac{0,735 \cdot 0,188 \cdot 4,36 \sqrt{0,58 \cdot 0,612}}{0,603} +$$

$$0,9 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{9,55} \right) +$$

$$\times \sqrt{\frac{0,735^2 \cdot 0,188^2 \cdot 4,36^2 \cdot \frac{0,58 \cdot 0,612}{0,603^2}}{0,9^2 \cdot \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{9,55} \right)^2}} +$$

$$9,55 \left[1 - 2 \cdot 0,188^2 \cdot 4,36 \left(0,1 - 0,735 \cdot 4,36 \frac{0,612}{0,603} \right) - \frac{1085 \cdot 0,603}{150 \cdot 7,5} \right] =$$

$$2 \cdot 0,9^2 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{9,55} \right)$$

$$= 0,714 + 3,056 = 3,77$$

Тогда

$$\frac{\alpha'_o f_b}{f_s} = \frac{0,78 \cdot 0,0204}{0,152} = \frac{1}{9,55}$$

Таким образом:

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = 3,77^2 = 14,2$$

$$\frac{p_b - p_a}{p_a - p_x} = 14,2 - 1 = 13,2$$

Следовательно, противодавление в конусе

$$p_b - p_a = 13,2 (p_a - p_x) = 13,2 \cdot h = 13,2 \cdot 150 =$$

$$= 1980 \text{ кг/м}^2 = 0,198 \text{ атм.}$$

т. е. коэффициенты α'_o и φ выбраны правильно.

Коэффициент сопротивления для этого конуса находим из формулы (47)

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha \left[1 - \left(\frac{\alpha'_o f_b}{2 f_{\text{снп}}} \right)^2 \right] + K_k}}$$

$$0,9 = \frac{1}{\sqrt{1,1 \left[1 - \left(\frac{0,78 \cdot 0,0204}{2 \cdot 0,0227} \right)^2 \right] + K_k}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1,1 \cdot 0,877 + K_k}} = \frac{1}{\sqrt{0,965 + K_k}}$$

Поэтому

$$K_k = \frac{1}{0,9^2} - 0,965 = 0,27$$

б) для конуса крестообразного сечения имеем из черт. (5) противодавление $P_b - P_a = 0,162$ атм. при разрежении в дымовой коробке $h = P_a - P_x = 150$ мм вод. ст.

Площадь сечения этого конуса $f_b = 0,0204$ м².
Поэтому:

$$\alpha'_o = \alpha'_o \varphi = \frac{D}{f_b \sqrt{[(p_b - p_a) + h] \cdot 2 \cdot g \cdot \gamma_n}} =$$
$$= \frac{2,22}{0,0204 \sqrt{(1620 + 150) \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,58}} = 0,765.$$

Принимаем
Тогда

$$W_b = \varphi \sqrt{2g \frac{p_b - p_x}{\gamma_n}} = \varphi \sqrt{2g \frac{(p_b - p_a) + h}{\gamma_n}} =$$
$$= 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{1620 + 150}{0,58}} = 221 \text{ м/сек.}$$

с другой стороны

$$W_b = \frac{D}{\alpha'_o f \cdot \gamma_n} = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,85 \cdot 0,0204} = 221 \text{ м/сек.}$$

Таким образом, коэффициенты α'_o и φ выбраны правильно.

Эквивалентный диаметр конуса круглого сечения, соответствующий площади $f_b = 0,0204$ м² равен: $d_{\text{экв.}} = 0,161$ м.
Значение L_n для этого эквивалентного конуса равно:

$$L_n = 318,4 \text{ кгм/сек.}$$

Поправочный коэффициент X_2 для L_n для конуса крестообразного сечения находим из уравнения баланса энергии (37):

$$2,22 \frac{221^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} = 7,5 \frac{82^2}{2 \cdot 9,81} + 7,5 \cdot 67 +$$
$$+ \left[2,22 \frac{(221 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{(1,3 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} - X_2 \cdot 318,4 \right]$$

или

$$5530 + 0,5 = 2570 + 502,5 + (2190 + 1753 - X_2 \cdot 318,4) = 7015,5 - X_2 \cdot 318,4$$

отсюда

$$X_2 = \frac{7015,5 - 5530,5}{318,4} = 4,65.$$

Таким образом, для крестообразного конуса имеем:

$$L'_n = X_2 L_n = 4,65 \cdot 318,4 = 1485 \text{ кгм/сек}$$

Для проверки правильности подбора коэффициентов α'_0 и φ определим $(p_b - p_a)$ по формуле (46) и сравним его с опытным значением $0,162 \text{ атм.}$

Тогда по формуле (46) находим:

$$\sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}} = \frac{0,735 \cdot 0,188 \frac{0,664}{0,156} \cdot \sqrt{0,58 \cdot 0,612}}{0,9 \left(1 - 0,735 \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{8,76} \right)} +$$

$$+ \sqrt{\frac{0,735^2 \cdot 0,188^2 \cdot 4,36 \frac{0,58 \cdot 0,612}{0,603^2}}{0,9^2 \left(1 - 0,735 \frac{0,158}{0,603} \cdot \frac{1}{8,76} \right)^2}} +$$

$$\frac{8,76 \left[1 - 2 \cdot 0,188^2 \cdot 4,36 \left(0,1 - 0,735 \cdot 4,36 \frac{0,612}{0,603} \right) - 0,603 \frac{1485}{7,5 \cdot 150} \right]}{2 \cdot 0,9^2 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{1}{8,76} \cdot \frac{0,58}{0,603} \right)}$$

$$= 0,72 + 2,71 = 3,43.$$

при чем здесь:

$$\frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} = \frac{0,85 \cdot 0,0204}{0,152} = \frac{1}{8,76}$$

Отсюда

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = 3,43^2 = 11,8$$

Поэтому

$$\frac{p_b - p_a}{p_a - p_x} = 11,8 - 1 = 10,8.$$

Следовательно, противодавление в конусе

$$p_b - p_a = 10,8(p_a - p_x) = 10,8 \cdot h = 10,8 \cdot 150 = 1620 \text{ кг/м}^2 = 0,162 \text{ атм.}$$

Таким образом, коэффициенты α'_0 и φ выбраны правильно.

Коэффициент сопротивления для этого конуса находим из формулы (47)

$$\varphi = 0,9 = \frac{1}{\sqrt{\alpha \left[1 - \left(\frac{\alpha'_0 f_b}{2 \cdot f_{\text{взм.}}} \right)^2 \right] + K_k}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1,1 \left[1 - \left(\frac{0,85 \cdot 0,0204}{2 \cdot 0,0227} \right)^2 \right] + K_k}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1,1 \cdot 0,854 + K_k}} = \frac{1}{\sqrt{0,94 + K_k}}$$

Отсюда

$$K_k = \frac{1}{0,92} - 0,94 = 0,295$$

с) Для звездчатого сечения конуса (черт. 5-а) имеем по черт. (5) $p_b - p_a = 0,144$ атм. при разрезении $h = 150$ м вод. ст. Площадь сечения этого конуса $f_b = 0,0204$ м².

Поэтому

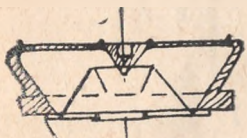
$$\mu'_o = \alpha'_o \varphi = \frac{2,22}{0,0204 \cdot \sqrt{(1440 + 150)2 \cdot 9,81 \cdot 0,58}} = 0,81$$

Принимаем

$$\varphi = 0,9 \text{ и } \alpha'_o = 0,9$$

Тогда

$$W_b = 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{1440 + 150}{0,58}} = 209 \text{ м/сек.}$$



с другой стороны

$$W_b = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot 0,0204} = 209 \text{ м/сек.}$$

Как указано выше, диаметр эквивалентного конуса круглого сечения, соответствующий площади $f_b = 0,0204$ м² равен $d_{b, экв.} = 0,161$ м.; значение $L_{п.}$ для этого эквивалентного конуса найдено выше и равно: $L_{п.} = 318,4$ кгм/сек.

Поправочный коэффициент X_3 для $L_{п.}$ для звездчатого конуса находится из уравнения (37):

$$2,22 \frac{209^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} = 7,5 \frac{82^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$+ 7,5 \cdot 67 + \left[2,22 \frac{(209 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{(1,3 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} - X_3 \cdot 318,4 \right]$$

или

$$4940 + 0,5 = 2570 + 502,5 + (1825 + 1755 - X_3 \cdot 318,4) = 6650,5 - X_3 \cdot 318,4$$

Отсюда

$$X_3 = \frac{6650,5 - 4940,5}{318,4} = 5,35.$$

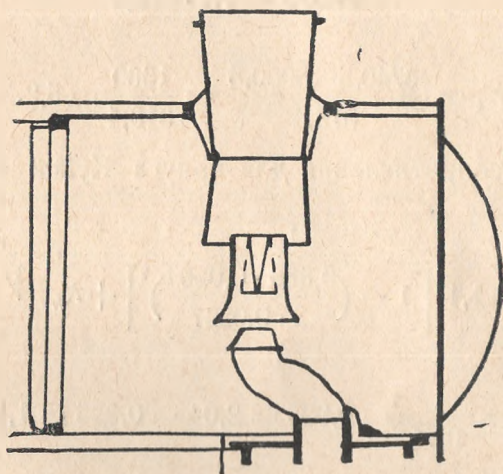
Коэффициент сопротивления для звездчатого конуса находим из формулы (47)

$$\varphi = 0,9 = \frac{1}{\sqrt{1,1 \left[1 - \left(\frac{0,9 \cdot 0,0204}{2 \cdot 0,0227} \right)^2 \right] + K_k}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1,1 \cdot 0,837 + K_k}} = \frac{1}{\sqrt{0,92 + K_k}}$$

отсюда

$$K_k = \frac{1}{0,9^2} - 0,92 = 0,315$$



Черт. 5-в.

d) Для конуса Кильшап (Kylälä) (черт. 5-в) при диаметре $d_b = 161$ мм ($f_b = 0,0204$ м²) имеем из черт. (5) противодавление $p_b - p_a = 0,259$ атм.

Поэтому

$$\mu'_o = \alpha'_o \varphi = \frac{2,22}{0,0204 \sqrt{(2580 + 150) \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,58}} = 0,62$$

Принимаем

$$\varphi = 0,7 \text{ и } \alpha'_o = 0,886$$

Тогда

$$W_b = 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{2580 + 150}{0,58}} = 212 \text{ м/сек.}$$

с другой стороны

$$W_b = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,886 \cdot 0,0204} = 212 \text{ м/сек.}$$

Поправочный коэффициент X_4 для L_n для конуса Kylälä находим из уравнения (37), зная, что для круглого конуса с $d_b = 161$ мм $L_n = 318,4$ кгм/сек.

$$2,22 \frac{212^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} = 7,5 \frac{82^2}{2 \cdot 9,81} + 7,5 \cdot 67 + \\ + \left[2,22 \frac{(212 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{(1,3 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} - X_4 \cdot 318,4 \right]$$

или

$$5080 + 0,5 = 2570 + 502,5 + (1915 + 1753 - X_4 \cdot 318,4) = \\ = 6740,5 - X_4 \cdot 318,4$$

отсюда

$$X_4 = \frac{6740,5 - 5080,5}{318,4} = \frac{1660}{318,4} = 5,2.$$

Коэффициент сопротивления для конуса Kylälä определим по формулы (47):

$$\varphi = 0,7 = \frac{1}{\sqrt{1,1 \left[1 - \left(\frac{0,886 \cdot 0,0204}{2 \cdot 0,0227} \right)^2 \right] + K_k}} = \frac{1}{\sqrt{0,925 + K_k}}$$

отсюда:

$$K_k = \frac{1}{0,7^2} - 0,925 = 2,04 - 0,925 = 1,115.$$

Те же значения α'_o , ψ , μ'_o , χ и K_k можно принимать и для конусов с рассекателями фигурной формы.

е) Для четырехдырных конусов значения коэффициентов α'_o и φ , очевидно, должны быть одинаковы с коэффициентами для конуса круглого сечения.

Значение поправочного коэффициента X_5 для L_n находим из уравнения (37), принимая площадь 4-х дырного конуса паровоза сер. Э равной:

$$f_b = 4 \frac{\pi}{4} \cdot 0,075^2 = 0,0177 \text{ м}^2$$

и имея в виду, что для эквивалентного конуса круглого сечения $d_{\text{э.кв.}} = 0,15$ м значение $L_n = 388$ кгм/сек.

Тогда

$$W_b = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot 0,0177} \cong 240 \text{ м/сек.}$$

уравнение (37) принимает вид:

$$2,22 \frac{240}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} = 7,5 \frac{82}{2 \cdot 9,81} + 7,5 \cdot 67 + \\ + \left[\frac{(240 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{(1,3 - 82)}{2 \cdot 9,81} - X_5 \cdot 388 \right]$$

$$6515 + 0,5 = 2573 + 502,5 + (2820 + 1753 - X_5 \cdot 388) = \\ = 7640,5 - X_5 \cdot 388.$$

Отсюда

$$X_5 = \frac{7640,5 - 6515,5}{388} = 2,9.$$

коэффициент сопротивления для 4-х дырного конуса находим по формулы (47):

$$\gamma = 0,7 = \frac{1}{\sqrt{1,1 \left[1 - \left(\frac{0,9 \cdot 0,0177}{2 \cdot 0,0227} \right)^2 \right] + K_k}} = \frac{1}{\sqrt{0,965 + K_k}}$$

отсюда

$$K_k = \frac{1}{0,7^2} - 0,965 = 1,075.$$

те же значения α'_o , φ , μ'_o и K_k можно принимать и для шести-дырных конусов Леметра.

Противодавление для 4-х дырного конуса находим из формулы (46^{III}):

$$P_b - P_a = \frac{1}{2 \cdot g \cdot \gamma_u} \left(\frac{D}{\mu'_o f_b} \right)^2 - h = \\ = \frac{1}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,58} \left(\frac{2,22}{0,63 \cdot 0,0177} \right)^2 - 150 = 3330 \text{ кг/м}^2 = 0,333 \text{ атм.}$$

В) Наконец, для нижнего кольцевого конуса Адамса коэффициенты α'_o , φ и μ'_o также, очевидно, должны быть одинаковыми с конусами круглого сечения. Для нахождения поправочного коэффициента X_6 для L_n необходимо иметь размеры конуса.

Для этого обратимся к паровозу сер. О, имеющему конус круглого сечения с $f_b = 0,0133 \text{ м}^2$ и конус Адамса с

$$f_{ba} = 0,01462 \text{ м}^2;$$

отношение площадей $\frac{f_{ba}}{f_b}$ равно 1,1.

Принимая то же соотношение для паровоза сер. Э, имеем

$$f_{bA} = 1,1 \cdot f_b = 1,1 \cdot 0,0154 = 0,017 \text{ м}^2,$$

при чем $d_{bэжв.} = 147 \text{ мм}$ и $L_n = 410 \text{ кгм/сек.}$

Тогда

$$W_b = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot 0,017} = 250 \text{ м/сек.}$$

Противодавление $P_b - P_a$ равно по формуле (46^{III}):

$$p_b - p_a = \frac{1}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,58} \left(\frac{2,22}{0,63 \cdot 0,017} \right)^2 - 150 = 3620 \text{ кг/м}^2 = 0,362 \text{ атм.}$$

Для определения коэффициента X_6 для L_n воспользуемся уравнением (37):

$$2,22 \frac{250^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} = 7,5 \frac{82^2}{2 \cdot 9,81} + 7,5 \cdot 67 + \left[2,22 \frac{(250 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} + 5,28 \frac{(1,3 - 82)^2}{2 \cdot 9,81} - X_6 \cdot 410 \right]$$

или

$$7075 + 0,5 = 2570 + 502,5 + [3190 + 1753 - X_6 \cdot 410] = 8015,5 - X_6 \cdot 410.$$

Отсюда:

$$X_6 = \frac{8015,5 - 7075,5}{410} \approx 2,3.$$

Коэффициент сопротивления для конуса Адамса находим по формуле (47) равен:

$$\varphi = 0,7 = \frac{1}{\sqrt{1,1 \left[1 - \left(\frac{0,9 \cdot 0,017}{2 \cdot 0,0227} \right)^2 \right] + K_k}} = \frac{1}{\sqrt{0,975 + K_k}}$$

Отсюда

$$K_k = \frac{1}{0,72} - 0,975 = 1,065.$$

Уравнение (46^{III}), а также найденные значения коэффициентов φ и φ' дают возможность установить зависимость между про-

под давлением в конусе, степенью наполнения машины паровоза и скоростью его V км/час. следующим образом:

расход пара D , как известно, равен:

$$D = \frac{U \cdot 2 \cdot n_o V}{3,6 \cdot \pi \cdot D'_k} \text{ кг/сек.}$$

(см. Бабичков и Егорченко „Тяга поездов“), где

U кг/ход — расход пара на 1 ход поршня, который для разных паровозов и различных отсечек можно брать из соответствующих паспортов паровозов

D'_k (м) — диаметр сцепных колес паровоза

$V \frac{\text{км}}{\text{час}}$ — скорость движения паровоза

n_o — число цилиндров паровоза

Расход топлива B кг/час равен:

$$B = \frac{3600 \cdot D \cdot \lambda}{Q_n^p \cdot \eta_{fk}} \text{ кг/час.}$$

Здесь: λ кал/кг — полное теплосодержание 1 кг пара.

Количество дымовых газов, уходящих из котла в секунду, очевидно, равно:

$$\begin{aligned} H &= \frac{B \cdot G_{д.з.}}{3600} = \frac{B}{3600} \left(G_{возд.} + 1 - \frac{A_p^{0/0} + q_4^{0/0} \frac{Q_n^p}{8100}}{100} \right) = \\ &= \frac{D \cdot \lambda}{Q_n^p \cdot \eta_{fk}} \left(G_{возд.} + 1 - \frac{A_p^{0/0} + q_4^{0/0} \frac{Q_n^p}{8100}}{100} \right) = \\ &= U \frac{2 \cdot n_o V}{3,6 \pi \cdot D'_k} \cdot \frac{\lambda}{Q_n^p \eta_{fk}} \left(G_{возд.} + 1 - \frac{A_p^{0/0} + q_4^{0/0} \frac{Q_n^p}{8100}}{100} \right) \text{ кг/сек.} \end{aligned}$$

Здесь:

Q_n^p — теплотворная способность 1 кг топлива в кал/кг.

$q_4^{0/0}$ — потеря тепла от механической неполноты горения
и $A_p^{0/0}$ от Q_n^p .

$A_p^{0/0}$ — содержание золы в топливе в весовых %.

$G_{д.з.}$ кг/кг — вес дымовых газов от сжигания 1 кг топлива.

$G_{возд.}$ кг/кг — количество воздуха, вводимое в топку на 1 кг топлива.

Сопротивление паровозного котла по формуле (7) равно:

$$h = \left[a_1 \left(\frac{R}{F_{подд.}} \right)^2 + a_2 + a_3 \left(\frac{R}{\Omega_{дым.} + \Omega_{исп.}} \right)^2 + a_4 \right] \frac{1}{R^2} H^2 = \frac{1}{R^2} a H^2 =$$

$$= \frac{a}{R^2} U^2 \left(\frac{2 \cdot n_o V}{3,6 \pi \cdot D'_k} \right)^2 \left(\frac{\lambda}{Q_n^p \eta_k} \right)^2 \left(G_{возд.} + 1 - \frac{A_p^{0/0} + q_4^{0/0}}{100} \frac{Q_n^p}{8100} \right)^2$$

$$= \frac{a U^2}{R^2} \left(\frac{2 n_o V}{3,6 \pi \cdot D'_k} \right)^2 \left(\frac{\lambda}{Q_n^p \eta_k} \right)^2 G_{д. з.}^2$$

Здесь через „а“ обозначено выражение в квадратных скобках

Rm^2 — площадь колосниковой решетки паровозного котла. Подставляя значения D и h в формулу (46^{III}), получим зависимость между противодавлением, отсечкой и скоростью паровоза.

$$p_b - p_a = \frac{1}{2g \cdot \gamma_n} \left(\frac{D}{\mu'_o f_b} \right)^2 - h = \frac{1}{2g \cdot \gamma_n (\mu'_o f_b)^2}$$

$$U^2 \left(\frac{2 \cdot n_o V}{3,6 \cdot \pi \cdot D'_k} \right)^2 - \frac{a U^2}{R^2} \left(\frac{2 \cdot n_o V}{3,6 \cdot \pi \cdot D'_k} \right)^2 \left(\frac{\lambda}{Q_n^p \eta_k} \right)^2 G_{д. з.}^2 =$$

$$= U^2 \left(\frac{2 n_o V}{3,6 \cdot \pi \cdot D'_k} \right)^2 \left[\frac{1}{2g \cdot \gamma_n (\mu'_o f_b)^2} - \frac{a G_{д. з.}^2}{R^2} \left(\frac{\lambda}{Q_n^p \eta_k} \right)^2 \right] \text{ кг/м}^2 \quad (49)$$

Так как в фигурных скобках находятся величины приблизительно постоянные для данного паровоза и топлива, то из уравнения (49) можно заключить, что для различных конусов противодавление в них пропорционально квадрату скорости и квадрату расхода пара на ход поршня при той или иной отсечке; кроме того, из той же формулы видно, что противодавление в конусе обратно пропорционально площади выходного сечения его и коэффициенту расхода μ'_o .

Для иллюстрации этой зависимости подсчитаны и сведены в таблицу (см. ниже) значения $p_b - p_a$ для паровоза сер. Э при разных скоростях и отсечках для 3-х типов конусов: нормального, крестообразного, 4-х дырного, существующих и наилучших.

Наилучшие сечения для этих трех типов конусов подсчитаны в примерах 3-м, 4-м и 5-м (см. ниже).

Паровоз сер. Э

$V = 10$ км/час

$\varepsilon =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
U кг/ход	0,29	0,39	0,5	0,6	0,7
D кг/сек.	0,775	1,045	1,34	1,61	1,875
H кг/сек.	1,845	2,49	3,19	3,83	4,46
h мм вод. ст.	20	35	55	80	110

$p_a - p_a$ атм.

норм. крестообразн. 4-х дырный	{	существ.	0,054	0,099	0,163	0,234	0,318
		наивыгодн.	0,043	0,079	0,130	0,186	0,253
		существ.	0,020	0,036	0,06	0,085	0,116
		наивыгодн.	0,010	0,018	0,03	0,042	0,057
		существ.	0,040	0,074	0,121	0,175	0,238
		наивыгодн.	0,024	0,044	0,072	0,103	0,141

$V = 20$ км/час.

$\varepsilon =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
U кг/ход	0,185	0,26	0,34	0,425	0,5
D кг/сек.	0,995	1,395	1,825	2,28	2,68
H кг/сек.	2,36	3,32	4,34	5,42	6,37
h мм вод. ст.	30	60	100	160	220

$p_a - p_a$ атм.

норм. крестообразн. 4-х дырный	{	существ.	0,09	0,176	0,302	0,470	0,651
		наивыгодн.	0,071	0,140	0,240	0,374	0,518
		существ.	0,033	0,064	0,110	0,171	0,236
		наивыгодн.	0,016	0,032	0,055	0,085	0,117
		существ.	0,067	0,137	0,225	0,352	0,484
		наивыгодн.	0,040	0,078	0,133	0,208	0,288

$V = 30$ км/ч.

$\varepsilon =$	0,1	0,2	0,3	0,4	—
U кг/ход	0,13	0,19	0,255	0,32	—
D кг/час.	1,045	1,53	2,06	2,58	—
H кг/сек.	2,48	3,64	4,90	6,13	—
h мм вод. ст.	35	70	130	200	—

норм.	{	$d_b = 140$ мм	0,099	0,211	0,393	0,602	—
		наивыгодн.	0,079	0,168	0,315	0,480	—
крестообразн.	{	существ.	0,036	0,078	0,140	0,220	—
		наивыгодн.	0,018	0,039	0,070	0,110	—
4-х дырный	{	существ.	0,074	0,159	0,287	0,450	—
		наивыгодн.	0,044	0,093	0,170	0,266	—

$V = 40$ км/ч.

$\varepsilon =$	0,1	0,2	0,3	0,4	—
U кг/ход.	0,1	0,15	0,215	0,28	—

	D кг/сек.	1,07	1,61	2,3	2,79	
	H кг/сек.	2,54	3,83	5,46	6,64	
	h мм вод. ст.	40	80	160	240	
$p_b - p_a$ атм.	норм. { $d_b = 140$ мм	наивыгодн.	0,103	0,239	0,479	0,706
		кресто- { образн. {	существ.	0,083	0,196	0,381
	существ.	0,037	0,085	0,174	0,256	
	наивыгодн.	0,018	0,042	0,087	0,127	
	4-х дыр- { ный {	существ.	0,079	0,175	0,356	0,525
наивыгодн.	0,045	0,103	0,212	0,312		
	$V = 50$ км/ч.					
	$\varepsilon =$	0,1	0,2	0,3	—	
	U кг/ход.	0,08	0,13	0,185	—	
	D кг/сек.	1,07	1,74	2,48	—	
	H кг/сек.	2,54	4,15	5,89	—	
	h мм вод. ст.	40	90	190	—	
$p_b - p_a$ атм.	норм. { $d_b = 140$ мм	наивыгодн.	0,103	0,273	0,556	—
		кресто- { образн. {	существ.	0,083	0,218	0,443
	существ.	0,037	0,100	0,203	—	
	наивыгодн.	0,018	0,050	0,100	—	
	4-х дыр- { ный {	существ.	0,079	0,205	0,415	—
наивыгодн.	0,045	0,122	0,245	—		

Соответствующие табличным значениям $p_b - p_a$ кривые построены на черт. (6) (7) и (8).

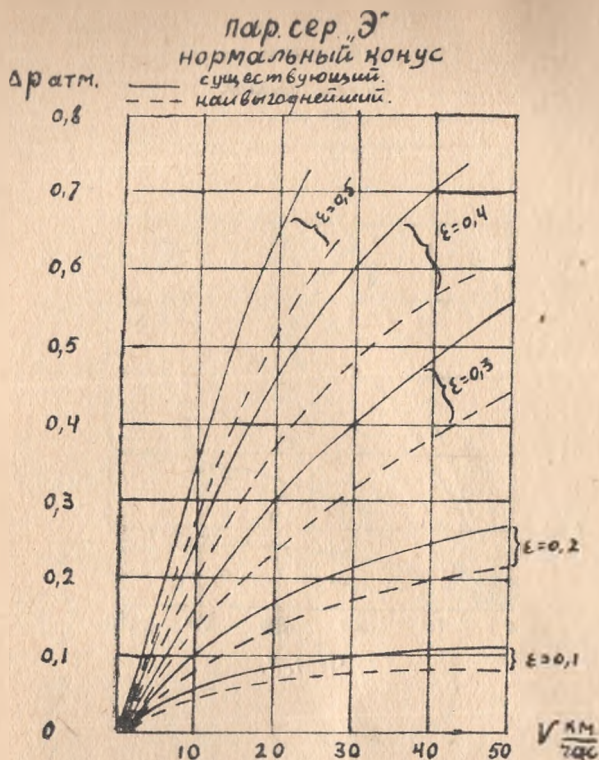
Для определения наивыгоднейших размеров конуса и дымовой трубы обратимся еще раз к уравнению (43):

$$\frac{p_a - p_x}{\gamma_{cm}} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_o f_b}{f_s} \cdot \frac{W_b^2}{g} + \frac{\gamma_{d.z.}}{\gamma_{cm}} \cdot K_o \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{W_r^2}{g} + \frac{L_n}{D + H} - E \frac{W_s^2}{g}$$

Так как

$$W_b = \frac{D}{\gamma_n \alpha'_o f_b}; \quad W_r = \frac{H}{\gamma_{d.z.} f_r}$$

$$W_s = \frac{D + H}{\gamma_{cm} f_s}$$



Черт. 6.

Это уравнение примет вид:

$$\frac{p_a - p_x}{\gamma_{cm}} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_0 f_b}{f_s} \cdot \frac{D^2}{g \gamma_n^2 (\alpha'_0 f_b)^2} + \frac{\gamma_{d.z.}}{\gamma_{cm}}$$

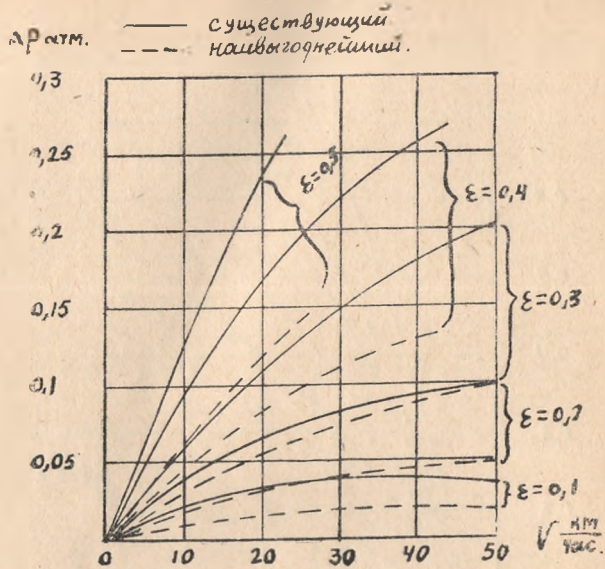
$$\cdot K_0 \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{H^2}{g \cdot \gamma_{d.z.} f_r^2} + \frac{L_n}{D+H} - \frac{E}{g} \frac{(D+H)^2}{\gamma_{cm} f_s^2} =$$

$$\frac{1}{g \cdot \gamma_{cm}} \left[\frac{D^2}{\gamma_n f_s \alpha'_0 f_b} + \frac{K_0 H^2}{\gamma_{d.z.} f_s f_r} + g \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} - \frac{E (D+H)^2}{\gamma_{cm} f_s^2} \right]$$

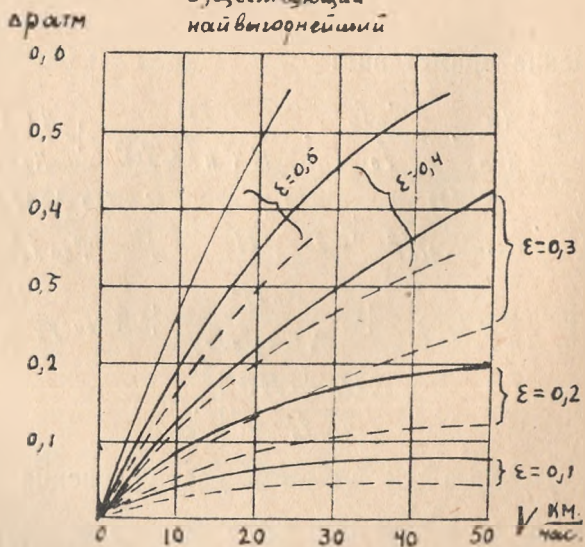
вместо $p_a - p_x$ через h и умножив все уравнение на $g \gamma_{cm}$ получим:

$$\frac{D^2}{\gamma_n f_s \alpha'_0 f_b} + \frac{K_0 H^2}{\gamma_{d.z.} f_s f_r} + g \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} - E \frac{(D+H)^2}{\gamma_{cm} f_s^2}$$

пар сер. Δ°
крестообразный конус.



пар сер. Δ
цylindrical конус
существующий
наилучший



Отсюда находим:

$$\frac{1}{\alpha_o' f_b} = \frac{gh - \frac{K_o H^2}{\gamma_{\partial. z.} f_s f_r} - g \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} + E \frac{(D+H)^2}{\gamma_{cm} f_s^2}}{D^2 \frac{\gamma_n f_s}{D^2}}$$

или

$$\alpha_o' f_b = \frac{gh - \frac{K_o H^2}{\gamma_{\partial. z.} f_s f_r} - g \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} + E \frac{(D+H)^2}{\gamma_{cm} f_s^2}}{\gamma_n f_s}$$

Что после умножения числителя и знаменателя на

$$\frac{\gamma_n f_s^2}{D^2}$$

дает:

$$\alpha_o' f_b = \frac{gh \gamma_n \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 + \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} E \left(1 + \frac{H}{D}\right)^2 - K_o \left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{\partial. z.}} \frac{f_s}{f_r} - g \gamma_n \gamma_{cm} \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 \cdot \frac{L_n}{D+H}}{f_s} \quad (50)$$

Для отыскания наивыгоднейшего значения $\alpha_o' f_b$ возьмем 1-ую производную от 11-й части уравнения (50) и приравняем ее нулю:

Тогда получим:

$$\begin{aligned} & \left[g \cdot h \cdot \gamma_n \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 + \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} E \left(1 + \frac{H}{D}\right)^2 - \dots \right] \\ & \dots \left[g \cdot h \cdot \gamma_n \cdot \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 + \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} E \left(1 + \frac{H}{D}\right)^2 - \dots \right] \\ & - K_o \left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{\partial. z.}} \frac{f_s}{f_r} - g \cdot \gamma_n \gamma_{cm} \cdot \frac{L_n}{D+H} \cdot \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 \Big] - \dots \\ & \dots - K_o \left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{\partial. z.}} \frac{f_s}{f_r} - \dots \\ & - f_s \left[gh \frac{\gamma_n}{D^2} \cdot 2 \cdot f_s - K_o \left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{\partial. z.}} \frac{1}{f_r} - g \cdot \gamma_n \cdot \gamma_{cm} \cdot \frac{L_n}{D+H} \cdot \frac{2f_s}{D^2} \right] \\ & \dots - g \cdot \gamma_n \cdot \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} \cdot \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 = 0 \end{aligned}$$

Отсюда находим:

$$\begin{aligned} & gh \gamma_n \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 + \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} E \left(1 + \frac{H}{D}\right)^2 - K_o \left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{\partial. z.}} \frac{f_s}{f_r} - \\ & - g \gamma_n \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 - gh \cdot \frac{\gamma_n}{D^2} \cdot 2 \cdot f_s^2 + \\ & + K_o \left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{\partial. z.}} \frac{f_s}{f_r} + g \cdot \gamma_n \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} \cdot 2 \cdot \left(\frac{f_s}{D}\right)^2 = 0, \end{aligned}$$

или

$$\frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} E \left(1 + \frac{H}{D}\right)^2 - \left(gh \frac{\gamma_n}{D^2} - g \frac{\gamma_n \gamma_{cm}}{D^2} \cdot \frac{L_n}{D+H}\right) f_s^2 = 0,$$

что после сокращения на

$$\frac{\gamma_n}{D^2}$$

дает:

$$\frac{E}{\gamma_{cm}} (D+H)^2 = g \cdot f_s^2 \left(h - \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} \right)$$

Поэтому:

$$\begin{aligned} f_{s \text{ наиб.}} &= \frac{(D+H) \sqrt{E}}{\sqrt{\gamma_{cm} g \left(h - \gamma_{cm} \frac{L_n}{D+H} \right)}} = \\ &= \frac{(D+H) E}{\sqrt{g \cdot \gamma_{cm} h \cdot E \left[1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right]}} \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя это значение $f_{s \text{ наиб.}}$ в выражение для $\alpha_o' f_b$, находим

$$\begin{aligned} \alpha_o' f_b &= \frac{(D+H) E}{\sqrt{g \cdot \gamma_{cm} h \cdot E \left[1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right]}} \cdot \\ &\cdot \frac{E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \left(\frac{D+H}{D} \right)^2 \left[1 + \frac{1}{1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)}} - \right. \\ &\left. - \frac{\gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)}}{1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)}} \right]}{1} = K_o \left(\frac{H}{D} \right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{o.z.}} E \cdot \\ &\cdot \frac{D+H}{f_r} \cdot \\ &\cdot \frac{1}{\sqrt{g \cdot \gamma_{cm} h \cdot E \left[1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right]}} = \\ &= 2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{D+H}{D^2} \sqrt{g \cdot \gamma_{cm} h E \left[1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right]} - \\ &- K_o \left(\frac{H}{D} \right)^2 \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{o.z.}} \cdot \frac{1}{f_r} \end{aligned}$$

Поэтому

$$f_{b, \text{наивыг.}} = \frac{1}{2 \alpha_o' \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{D+H}{D^2} \sqrt{g \cdot \gamma_{cm} h E} \left[1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right] - \alpha_o' K_o \left(\frac{H}{D} \right)^2 \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{o. z.}} \cdot \frac{1}{f_r}} \quad (52)$$

Выражения для $f_{b, \text{наивыг.}}$ и $f_{s, \text{наивыг.}}$ — представляют максимальные допустимые размеры площадей сечения конуса и дымовой трубы в узком ее сечении, в чем легко убедиться, взяв вторую производную от 11-ой части уравнения (50). При желании получить меньшие размеры конуса можно задаваться значением f_s меньшим, чем $f_{s, \text{наивыгод.}}$ и из формулы (52) получить соответствующее этому f_s сечение конуса f_b , но при этом необходимо иметь в виду, что противодавление в конусе будет большим, чем при f_s наивыгод.

После определения f_b и f_s находим диаметры конуса и узкого сечения трубы из уравнений:

$$d_b = \sqrt{\frac{4f_b}{\pi}} \quad (53);$$

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} f_s} \quad (54)$$

также диаметр выходного сечения трубы d_a из уравнения:

$$d_a = (1,1 \div 1,3) d_s \quad (55)$$

или

$$f_a = (1,21 \div 1,69) f_s \quad (55')$$

В случае применения конуса с рассекателем шириной s (фиг. 9) диаметр конуса определяется из уравнения:

$$f_b = \frac{\pi}{4} (d_b')^2 - d_b' s = (d_b')^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{s}{d_b'} \right) \quad (56)$$

откуда

$$d_b' = \sqrt{\frac{f_b}{\frac{\pi}{4} - \frac{s}{d_b'}}} \quad (56')$$

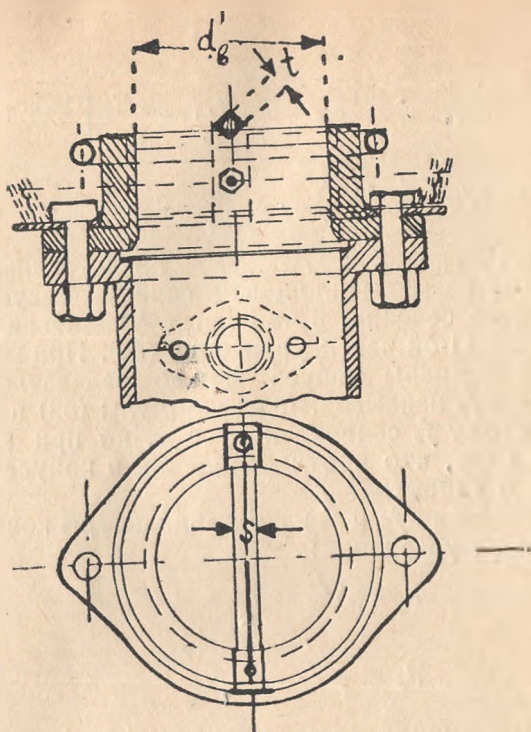
обычно

$$\frac{s}{d_b'} \cong 0,1$$

тогда рассекатель, представляющего квадратный брусок,

имеет:

$$t = s \sqrt{\frac{1}{2}} \cong 0,7 s$$



Черт. 9.

Диаметр конуса при круглом выходном сечении

$$d_b = 0,065 \div 0,23 \text{ м.}$$

Высота конической головки конуса l (черт. 10) по данным Штраля равна:

$$l = d_b + 25 \text{ мм; } l_o = d_b;$$

Нижний диаметр головки конуса

$$d_{b0} = 1,2 d_b$$

Высота конической головки конуса l , выполняемая по указаниям Штраля, значительно меньше высоты нормальных конических насадков:

$$l = (2 \div 3) d_b,$$

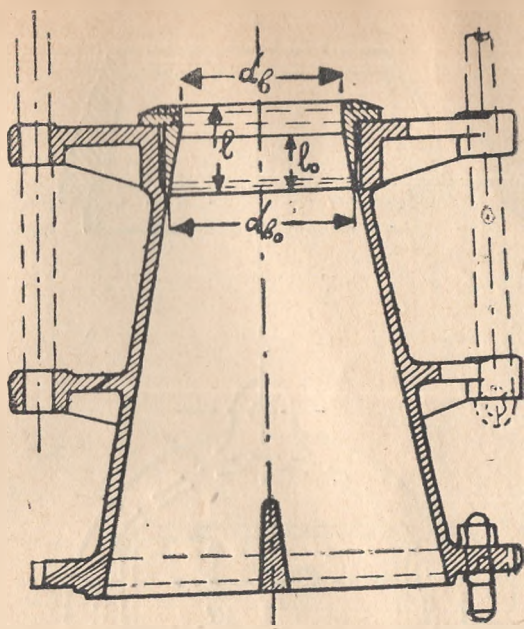
что повидимому отражается на величине коэффициентов

$$\alpha_o', \varphi \text{ и } \mu_o'$$

доводя их до значений

$$\alpha_o' = 0,9; \quad \varphi = 0,7; \quad \mu_o' = 0,63;$$

это обстоятельство в свою очередь вызывает необходимость применять в конусе более значительные противодавления при выполнении данных разрежений в дымовой коробке паров



Черт. 10.

Поэтому более целесообразно делать высоту головки конуса

$$l_0 = (2 \div 3) d_b,$$

а нижний диаметр головки

$$d_{b_0} = d_b \left[1 + 2 \operatorname{tg} \frac{\delta_0}{2} (2 \div 3) \right] \quad (57')$$

что для углов конуса $11,5 \div 13^\circ$ дает значения:

при $\delta_0 = 11,5^\circ$ $d_{b_0} = (1,4 \div 1,6) d_b;$

при $\delta_0 = 13^\circ$ $d_{b_0} = (1,46 \div 1,69) d_b.$

При конусах с прямоугольным выходным сечением (черт. 11)

$$f_b = a \cdot b,$$

при чем отношение сторон

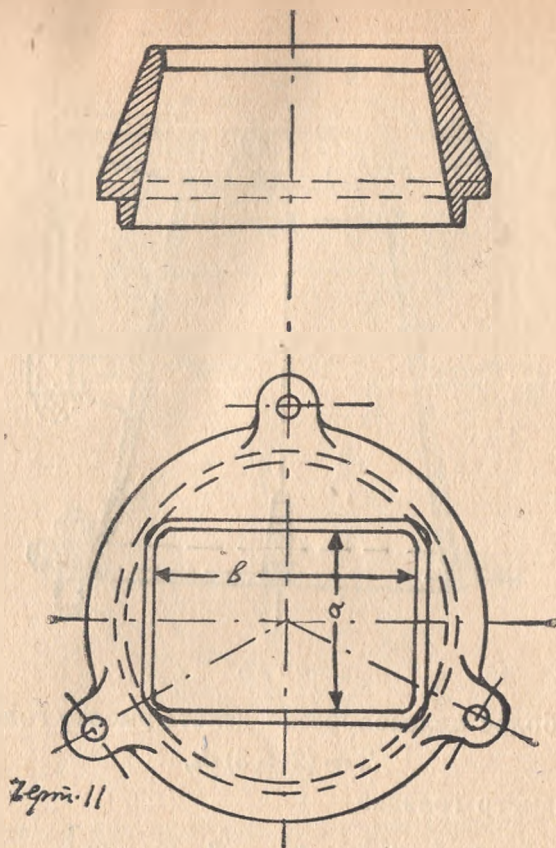
$$\frac{b}{a} = 1,5 \div 2;$$

обычно:

$$a = 0,725 d_{b \text{ экв.}},$$

где $d_{b \text{ экв.}}$ — диаметр конуса с круглым сечением, эквивалентным по площади с прямоугольным конусом. При конусах с криволинейным выходным сечением (черт. 12)

$$f_b \approx 5 a^2$$



при чем

$$a \cong 0,4 d_{b \text{ экв.}}$$

(точнее $0,396 d_{b \text{ экв.}}$).

Целесообразная высота конусной головки для конусов прямоугольных и крестообразных

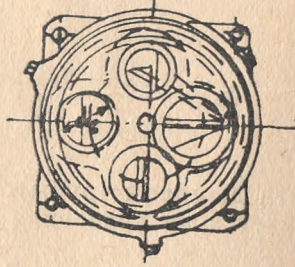
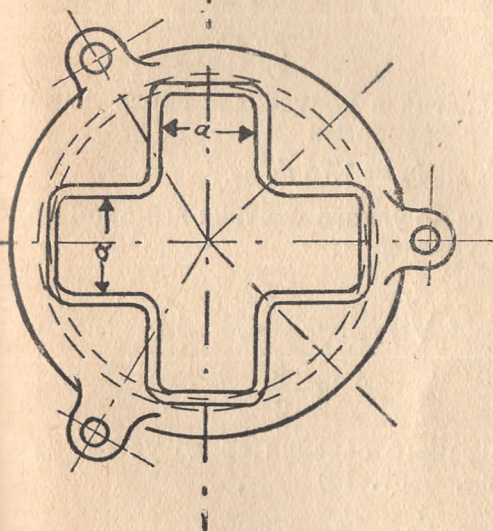
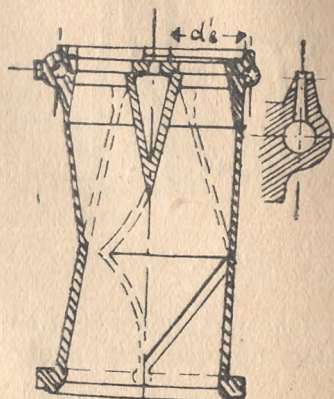
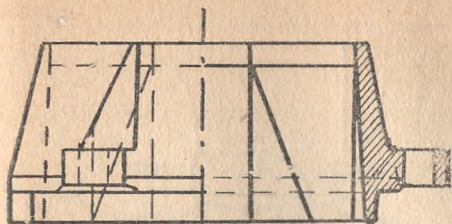
$$l_0 = (2 \div 3) a$$

(действительно выполненная $l_0 \cong a$ для прямоугольных конусов и $l_0 \cong 2a$ для крестообразных конусов). При четырехдирных конусах

$$f_b = 4 \frac{\pi}{4} (d_b^*)^2;$$

$$d_b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{f_b}{4}} = 0,5 d_{b \text{ экв.}}$$

(51)



Черт. 12.

Черт. 13.

Нижний диаметр головки

$$d_{во} = d_{в. экв.} \left(1 + 2l_o \operatorname{tg} \frac{\delta_o}{2} \right) \quad (57'')$$

При кольцевых конусах Адамса (черт. 14) внутреннее сечение конуса для прохода газов $f_{вн}$ делается равным обычно f_b т. е.

$$f_{вн} = f_b.$$

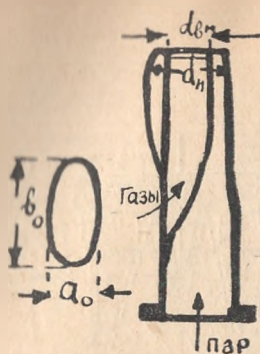
При этом

$$d_{вн.} = d_{в. экв.}$$

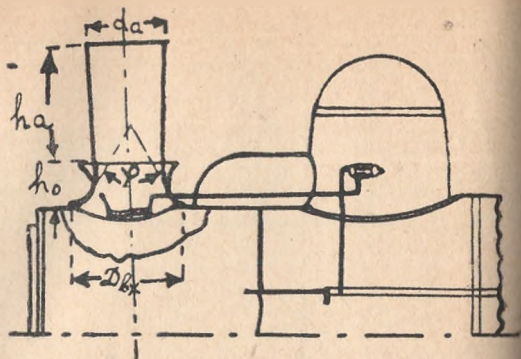
Диаметр наружного очертания конуса

$$d_{нар.} = \sqrt{\frac{4 \left[f_b + \frac{\pi}{4} (d_{вн.} + 2s)^2 \right]}{\pi}} \approx (1,6 - 1,65) d_{вн.} \quad (53'')$$

при чем s — толщина стенок конуса = 8 — 12 мм.



Черт. 14.



Черт. 15.

Оси эллиптического отверстия в конусе для входа дымовых газов обычно выполняются с размерами

$$a_0 = 1,2 d_{вх экв}; \quad b_0 = 1,75 d_{вх экв}.$$

Высота h_s от устья конуса до узкого сечения дымовой трубы может быть определена из уравнения:

$$h_s = \frac{d_s - d_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} = \frac{d_s \sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{см}}{\gamma_{г}}}}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} - d_b \quad (58)$$

Высота дымовой трубы от узкого сечения ее до устья d_a определяется из уравнения (см. черт. 13)

$$h_a = \frac{d_a - d_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \quad (59)$$

Для облегчения входа продуктов сгорания в дымовую трубу ей придают уширение, начиная от узкого сечения d_s конуса с уклоном стенок к оси трубы под углом $\frac{\nu}{2}$ (черт. 15), причем

$\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} = 0,25 \div 0,41$ (т. е. угол $\nu = 28^\circ \div 45^\circ$), и нижним диаметром

$$D_{вх} = 1,5 d_s$$

Таким образом, высота этой части трубы

$$h_o = \frac{D_{вх} - d_s}{2 \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}} = \frac{0,25 d_s}{\operatorname{tg} \frac{\nu}{2}} \quad (60)$$

Что же касается расположения дымовой трубы и конуса относительно передней трубчатой решетки, то для уменьшения вылета искр их располагают у паровозов, работающих насыщенным паром, примерно на расстоянии, равном $\frac{1}{2}$ длины дымовой коробки, а у паровозов, работающих перегретым паром — примерно на расстоянии, равном $\frac{2}{3}$ длины дымовой коробки ввиду расположения впереди трубчатой решетки коллектора перегревателя, загибов элементов и паропровода.

В настоящее время при расчете конусов с круглым выходным сечением предлагают пользоваться следующими эмпирическими формулами:

1) Ф. Борриса:

$$f_b = 0,0191 \frac{R}{1 + 0,3 \frac{R}{f_r}} m^2 \quad (61)$$

или

$$d_b = 0,156 \sqrt{\frac{R}{1 + 0,3 \frac{R}{f_r}}} \quad (61')$$

для паровозов, работающих насыщенным паром, и

$$f_b = 0,01037 \frac{R}{1 + 0,1 \frac{R}{f_r}} m^2 \quad (62)$$

или

$$d_b = 0,115 \sqrt{\frac{R}{1 + 0,1 \frac{R}{f_r}}} \quad (62')$$

для паровозов, работающих перегретым паром. Здесь R, f_r и f_b выражены в m^2 .

2) Гельсдорфа:

$$f_b (cm^2) = \frac{8,4 R (кв. дцм.)}{P_k}$$

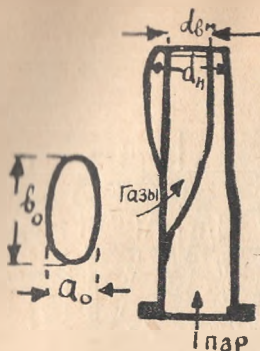
где P_k — давление в котле в атм. ман.

3) Майера:

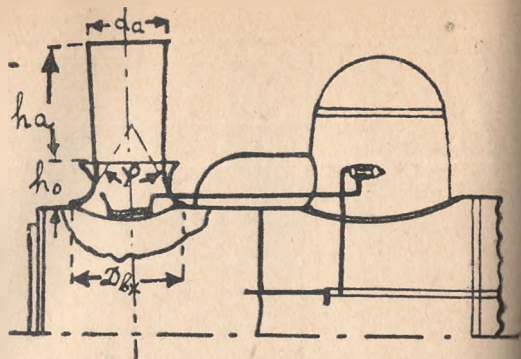
$$f_b = \frac{f_r}{32} m^2$$

или

$$f_b = \frac{0,03125 R}{f_r} m^2 \quad (64)$$



Черт. 14.



Черт. 15.

Оси эллиптического отверстия в конусе для входа дымовых газов обычно выполняются с размерами

$$a_0 = 1,2 d_{b \text{ экв}}; b_0 = 1,75 d_{b \text{ экв}}.$$

Высота h_s от устья конуса до узкого сечения дымовой трубы может быть определена из уравнения:

$$h_s = \frac{d_s - d_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} = \frac{d_s \sqrt{\frac{D}{D+H} \cdot \frac{\gamma_{см}}{\gamma_n}} - d_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \quad (58)$$

Высота дымовой трубы от узкого сечения ее до устья d_a определяется из уравнения (см. черт. 13)

$$h_a = \frac{d_a - d_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \quad (59)$$

Для облегчения входа продуктов сгорания в дымовую трубу ей придают уширение, начиная от узкого сечения d_s конусом с уклоном стенок к оси трубы под углом $\frac{\gamma}{2}$ (черт. 15), при чем

$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = 0,25 \div 0,41$ (т. е. угол $\gamma = 28^\circ \div 45^\circ$), и нижним диаметром

$$D_{b,x} = 1,5d_s$$

Таким образом, высота этой части трубы

$$h_0 = \frac{D_{b,x} - d_s}{2 \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}} = \frac{0,25d_s}{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}} \quad (60)$$

Что же касается расположения дымовой трубы и конуса относительно передней трубчатой решетки, то для уменьшения вылета искр их располагают у паровозов, работающих насыщенным паром, примерно на расстоянии, равном $\frac{1}{2}$ длины дымовой коробки, а у паровозов, работающих перегретым паром — примерно на расстоянии, равном $\frac{2}{3}$ длины дымовой коробки ввиду расположения впереди трубчатой решетки коллектора перегревателя, загибов элементов и паропровода.

В настоящее время при расчете конусов с круглым выходным сечением предлагают пользоваться следующими эмпирическими формулами:

1) Ф. Борриса:

$$f_b = 0,0191 \frac{R}{1 + 0,3 \frac{R}{f_r}} m^2 \quad (61)$$

или

$$d_b = 0,156 \sqrt{\frac{R}{1 + 0,3 \frac{R}{f_r}}} \quad (61')$$

для паровозов, работающих насыщенным паром, и

$$f_b = 0,01037 \frac{R}{1 + 0,1 \frac{R}{f_r}} m^2 \quad (62)$$

или

$$d_b = 0,115 \sqrt{\frac{R}{1 + 0,1 \frac{R}{f_r}}} \quad (62')$$

для паровозов, работающих перегретым паром. Здесь R, f_r и f_b выражены в m^2 .

2) Гельсдорфа:

$$f_b (cm^2) = \frac{8,4 R (кв. дцм.)}{P_k}$$

где P_k — давление в котле в атм. ман.

3) Майера:

$$f_b = \frac{f_r}{32} m^2$$

или

$$f_b = \frac{0,03125 R}{f_r} m^2 \quad (64)$$

для паровозов с цилиндрическими дымовыми трубами и

$$f_b = \frac{f_r}{23} \text{ м}^2$$

для паровозов с коническими дымовыми трубами.

4) Обергетмана:

$$f_b = \frac{1,722 \cdot D}{W_b} \text{ м}^2$$

где W_b — скорость вытеканий пара из конуса
 $= 140 \div 320 \text{ м/сек.}$

5) Редтенбахера:

$$f_{b \text{ max}} = 0,000128 H \text{ м}^2.$$

$$f_{b \text{ min}} = 0,0000273 H \text{ м}^2.$$

где H — полная поверхность нагрева котла в кв. м.

6) Нордмана:

$$f_b \text{ (см}^2\text{)} = 40 + 0,62 H \text{ (м}^2\text{)}; \quad d_a = (3,55 \div 4,33) d_b;$$

$$h_a + h_s = [8 - 0,019 f_b \text{ (см}^2\text{)}] (d_a - d_b);$$

$$h_s = [8 - 0,019 f_b \text{ (см}^2\text{)}] d_b.$$

7) Ebelinq'a:

$$f_b \text{ (см}^2\text{)} = 156 \sqrt{\frac{f_r R}{f_r + 0,3 R}};$$

$$d_a = 4d_b; \quad d_s = d_a - 0,125 \text{ м}; \quad h_a = 1 \text{ м};$$

$$(h_a + h_s) \text{ м} = 5,4 d_s \text{ (м)} - 9 \cdot d_b \cdot h_o'' \text{ (м)}.$$

где R и f_r — в кв. м., h_o'' — расстояние от устья конуса до котла в м.

8) Олтунской испытательной станции: а) для мощных паровозов с водоподогревателями:

$$0,0001 (p_b - p_a) = 1,43 - \sqrt{0,01 f_b - 0,0049(0,005 N_i + 1,6)^2}$$

а) для паровозов без водоподогревателей:

$$0,0001 (p_b - p_a) = 1,64 - \sqrt{0,01 f_b - 0,0049(0,005 N_i + 5)^2}$$

где N_i — индикаторная мощность паровоза в л. с.; f_b — площадь устья конуса в см².

9) Штраля для цилиндрических дымовых труб.

$$f_b = f_a = (12,5 \div 15,5) f_b$$

для паровозов, работающих насыщенным паром и

$$f_s = f_a = (10,5 \div 11,5) f_b$$

для паровозов, работающих перегретым паром.

10) Олтунской испытательной станции для мощных паровозов с коническими дымовыми трубами:

$$f_s = 8,8 f_b; \quad (70)$$

$$\frac{f_s}{f_a} = 0,535 \div 0,54$$

Расстояние от устья конуса до узкого сечения f_s дымовой трубы делается равным:

$$h_s = (3,1 \div 3,9) (d_s - d_b) = (6,5 \div 10) d_b = (2,4 \div 2,75) d_s;$$

главным образом,

$$h_s = (7,5 \div 8,5) d_b;$$

для верхних конусов по данным Grove

$$h_s = 1^2/3 \cdot d_s;$$

по данным Олтунской испытательной станции для мощных паровозов

$$h_s = 3,1 d_b$$

высота дымовой трубы

$$h_a = (1,5 \div 2,7) d_s \text{ до } 3,4 d_s$$

паровозов старых типов.

По данным Борриса

$$h_s + h_a = 13 d_b \cong 4 \cdot d_s; \quad d_a = 3,8 d_b = 1,2 d_s$$

для паровозов с верхними конусами и

$$h_s + h_a = (14 \div 15) d_b = (4 \div 4,3) d_s;$$

$$d_a = 4,2 d_b = (1,2 \div 1,3) d_s$$

для паровозов с нижними (американск.) конусами; d_a доходит до $1,4 d_s$ у паровозов Компаунд старых типов, работающих насыщенным паром.

Однако, даже для конусов с круглым выходным сечением все эти формулы, за исключением формул Нормана, Ebeling'a и Олтунских, дают мало удовлетворительные результаты.

У узкоколейных паровозов верхний диаметр дымовой трубы и высота ее определяются часто по грубым эмпирическим формулам в зависимости от диаметра цилиндра и дымовой коробки, что вряд ли может обеспечить удовлетворительную работу дымовой трубы; именно, верхний диаметр дымовой трубы d_n обычно равен $(0,75 \div 0,85) d_{\text{цил.}}$ где $d_{\text{цил.}}$ — диаметр цилиндра паровоза, а полная высота дымовой трубы $(h_a + h_o) = (3 \div 4) d_{\text{пол.}}$, при чем h_o часто делается равной:

$$h_o = (0,2 \div 0,22) D_{\text{д. к.}},$$

где $D_{\text{дым. к.}}$ — диаметр дымовой коробки паровоза. Современ-

ные ускоренные паровозы СССР имеют дымовые трубы диаметром

$$d_a = 195 \div 275 \text{ мм}$$

и высотой

$$(h_a + h_o) = 900 \div 1160 \text{ мм.}$$

Пример 3-й. Для примера определим наивыгоднейшие значения f_b и f_s для паровоза сер. „Э“ по данным:

$$\frac{\text{tg } \frac{\delta}{2}}{\text{tg } \frac{\beta}{2}} = 2,67; \quad \frac{d_b}{d_s} = 0,553; \quad K_o = 0,3; \quad W_r = 13 \text{ м/сек.};$$

$$D = 2,22 \text{ кг/сек.}; \quad H = 5,28 \text{ кг/сек.}; \quad D + H = 7,5 \text{ кг/сек.};$$

$$\gamma_{\text{д.з.}} = 0,612 \text{ кг/м}^3; \quad \gamma_n = 0,58 \text{ кг/м}^3; \quad \gamma_{\text{с.м.}} = 0,603 \text{ кг/м}^3;$$

$$\frac{f_a}{f_s} = 1,5; \quad E = 0,735; \quad f_r = 0,664 \text{ м}^2; \quad h = 150 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\text{tg } \frac{\delta}{2} = 0,152 (\delta = 17^\circ); \quad \alpha'_o = 0,9; \quad \varphi = 0,7; \quad \psi = 0,188;$$

$$\text{tg } \frac{\beta}{2} = 0,057.$$

Из формулы (33) находим:

$$\begin{aligned} L_n = & \frac{\mu_n}{2 l_n} \cdot \frac{D}{\gamma_n \text{tg } \frac{\beta}{2}} \left[\frac{\text{tg } \frac{\delta}{2}}{\text{tg } \frac{\beta}{2}} (W_b - W_s) - \right. \\ & \left. - \frac{2}{3} \left(\frac{\text{tg } \frac{\delta}{2}}{\text{tg } \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(W_b - \frac{d_b}{d_{s1}} W_s \right) \right] - \\ & - \frac{\mu_{\text{д.з.}}}{2 l_{\text{д.з.}}} W_{\text{д.з.}} \cdot \frac{D}{\gamma_n \text{tg } \frac{\beta}{2}} \cdot \left[\frac{\text{tg } \frac{\delta}{2}}{\text{tg } \frac{\beta}{2}} \ln \frac{W}{W_s} - \right. \\ & \left. - 2 \left(\frac{\text{tg } \frac{\delta}{2}}{\text{tg } \frac{\beta}{2}} - 1 \right) \left(1 - \frac{d_b}{d_{s1}} \right) \right] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,026 \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,057} \left[2,67 \left(\frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot f_b} - \frac{7,5}{0,603 \cdot f_s} \right) - \right. \\
&\quad \left. - \frac{2}{3} (2,67 - 1) \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot f} - 0,553 \frac{7,5}{0,603 \cdot f_s} \right] - \\
&= 0,027 \cdot 0,1 \cdot 13 \cdot \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,057} \left[2,67 \cdot 2,3 \lg \frac{W_b}{W_s} - 2 (2,67 - 1) (1 - \right. \\
&\quad \left. - 0,553) \right] = 1,75 \left(1,55 \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot f_b} - 2,05 \frac{7,5}{0,603 \cdot f_s} \right) - \\
&\quad - 2,36(4,22 - 1,5) \cdot = \frac{11,45}{f_b} - \frac{44,4}{f_s} = 6,4;
\end{aligned}$$

из формулы (61) находим наивыгоднейшую площадь узкого сечения дымовой трубы:

$$\begin{aligned}
f_s \text{ наивыг.} &= \frac{(D + H) E}{\sqrt{g \cdot \gamma_{см} \cdot h \cdot E \left[1 - \gamma_{см} \frac{L_n}{h(D + H)} \right]}} = \\
&= \frac{7,5 \cdot 0,735}{\sqrt{9,81 \cdot 0,603 \cdot 150 \cdot 0,735 \cdot \left(1 - 0,603 \frac{L_n}{150 \cdot 7,5} \right)}} = \\
&= \frac{1}{4,65 \sqrt{1 - 0,000535 L_n}}
\end{aligned}$$

из формулы (52) находим наивыгоднейшую площадь выходного сечения конуса:

$$\begin{aligned}
f_b \text{ наивыг.} &= \frac{1}{2 \alpha_o' \frac{\gamma_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{D + H}{D^2} \sqrt{g \cdot \gamma_{см} \cdot h \cdot E \left[1 - \gamma_{см} \frac{L_n}{h(D + H)} \right]}} = \\
&= \frac{1}{\alpha_o' K_o \left(\frac{H}{D} \right)^2 \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{о.г.}} \cdot \frac{1}{f_s}} = \\
f_b \text{ наивыг.} &= \frac{1}{2 \cdot 0,9 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{7,5}{2,22^2} \sqrt{9,81 \cdot 0,603 \cdot 150 \cdot 0,735 \left(1 - 0,603 \frac{L_n}{150 \cdot 7,5} \right)}} = \\
&= \frac{1}{0,9 \cdot 0,1 \left(\frac{5,28}{2,22} \right)^2 \cdot \frac{0,58}{0,612} \cdot \frac{1}{0,664}} = \\
&= \frac{1}{67,1 \sqrt{1 - 0,000535 L_n}} = 0,726
\end{aligned}$$

Подставляя значение L_n в выражение для f_b и f_s , находим

$$4,65^2 \cdot f_b^2 (1 - 0,000535 \frac{11,45}{f_b} + 0,000535 \frac{44,4}{f_s} + 0,000535 \cdot 6,4) = 1. \quad (B)$$

$$67,1^2 \cdot f_b^2 (1 - 0,000535 \frac{11,45}{f_b} + 0,000585 \frac{44,4}{f_s} + 0,000535 \cdot 6,4) = (1 + 0,726 \cdot f_b)^2. \quad (A)$$

Из уравнения (A) имеем:

$$4502 f_b^2 - 27,6 f_b + 107 \frac{f_b^2}{f_s} + 15,53 f_b^2 = 1 + 1,45 f_b + 0,53 f_b^2.$$

или

$$4517 f_b^2 - 29,05 f_b + 107 \frac{f_b^2}{f_s} = 1$$

отсюда имеем:

$$4517 - 29,05 \frac{1}{f_b} + 107 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_b^2}.$$

Из уравнения (B) получаем:

$$21,62 f_s^2 - 0,135 \frac{f_s^2}{f_b} + 0,515 f_s + 0,08 f_s^2 = 1;$$

или

$$21,7 f_s^2 - 0,135 \frac{f_s^2}{f_b} + 0,515 f_s = 1$$

отсюда имеем:

$$21,7 - 0,135 \frac{1}{f_b} + 0,515 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_s^2}.$$

Обозначив $\frac{1}{f_b}$ через x , а $\frac{1}{f_s}$ через y , имеем:

$$4517 - 29,05 x + 107 y = x^2$$

и

$$21,7 - 0,135 x + 0,515 y = y^2.$$

Путем подстановки находим:

$$y = \frac{1}{f_s} \cong 4; \quad x = \frac{1}{f_b} \cong 58,3$$

отсюда

$$f_s \text{ наим.} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ м}^2; \quad f_b \text{ наим.} = \frac{1}{58,3} = 0,0172 \text{ м}^2$$

Поэтому из формул (53) и (54) имеем:

$$d_b \text{ наимыг.} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_b}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0172}{3,14}} = 0,148 \text{ м.}$$

$$d_s \text{ наимыг.} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,25}{3,14}} = 0,565 \text{ м.}$$

Площадь выходного сечения дымовой трубы и его диаметр:

$$f_a = 1,5 f_s = 1,5 \cdot 0,25 = 0,375 \text{ м}^2;$$

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot f_a}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,375}{3,14}} = 0,69 \text{ м.}$$

Высота дымовой трубы из формулы (59) равна:

$$h_a = \frac{d_a - d_s}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} = \frac{0,69 - 0,569}{2 \cdot 0,057} = 1,095 \text{ м.}$$

Расстояние от устья конуса до узкого сечения трубы находим по формуле (58):

$$h_s = \frac{d_s - d_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} = \frac{0,565 - 0,148}{2 \cdot 0,152} = 1,37 \text{ м.}$$

Расстояние от устья конуса до выходного сечения дымовой трубы

$$h_a + h_s = 1,095 + 1,37 = 2,465 \text{ м.}$$

Скорость пара в устье конуса и парогазовой смеси в узком сечении дымовой трубы:

$$W_b = \frac{D}{\gamma_n \alpha_o' f_b} = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot 0,0172} = 243 \text{ м/сек.}$$

$$W_s = \frac{D + H}{\gamma_{см} f_s} = \frac{7,5}{0,603 \cdot 0,25} \cong 50 \text{ м/сек.}$$

И ЭТОМ

$$L_{\text{с}} = \frac{11,45}{0,172} - \frac{44,4}{0,25} - 6,4 = 665 - 177 - 6,4 = 482 \text{ кгм/сек.}$$

Соотношение

$$\frac{f_s}{\alpha_o' f_b} = \frac{0,25}{0,9 \cdot 0,0172} = 16,15$$

из формулы (46) находим:

$$\sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}} = \frac{E \cdot \psi \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \sqrt{\gamma_n \cdot \gamma_{\theta \cdot z}}}{\gamma_{cm}} + \frac{1}{\varphi \left(1 - E \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha_o' \cdot f_b}{f_s} \right)}$$

$$+ \sqrt{\frac{E^2 \cdot \psi^2 \cdot \left(\frac{f_r}{f_s} \right)^2 \cdot \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{\theta \cdot z}}{\gamma_{cm}^2}}{\varphi^2 \cdot \left(1 - E \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha_o' \cdot f_b}{f_s} \right)^2}}$$

$$+ \frac{\frac{f_s}{\alpha_o' f_b} \left[1 - 2\psi^2 \cdot \frac{f_r}{f_s} \cdot \left(K_o - E \frac{f_r}{f_s} \cdot \frac{\gamma_{\theta \cdot z}}{\gamma_{cm}} \right) - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right]}{2\varphi^2 \cdot \left(1 - E \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha_o' \cdot f_b}{f_s} \right)}$$

$$= \frac{0,735 \cdot 0,188 \cdot \frac{0,664}{0,25} \cdot \sqrt{0,58 \cdot 0,612}}{0,603} + \frac{0,735 \cdot 0,188^2 \cdot \left(\frac{0,664}{0,25} \right)^2 \cdot \frac{0,58 \cdot 0,612}{0,603^2}}{0,7^2 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{16,15} \right)}$$

$$+ \frac{16,15 \left[1 - 2 \cdot 0,188^2 \cdot \frac{0,664}{0,25} \left(0,1 - 0,735 \cdot \frac{0,664}{0,25} \cdot \frac{0,612}{0,603} \right) - 0,603 \frac{482}{7,5 \cdot 150} \right]}{2 \cdot 0,7^2 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{16,15} \right)}$$

$$= 0,53 + 4,37 = 4,9;$$

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = 4,9^2 = 24;$$

$$\frac{p_b - p_a}{p_a - p_x} = \frac{\Delta p}{h} = 24 - 1 = 23.$$

Противодавление в конусе:

$$\Delta p = p_b - p_a = 23h = 23 \cdot 150 = 3450 \text{ кг/м}^2 = 0,345 \text{ атм.}$$

Таким образом, противодействие в конусе при выполнении наилучших f_s и f_b уменьшается против противодействия, имеющегося у ныне существующего конуса, на

$$0,445 - 0,345 = 0,1 \text{ атм.}$$

Пример 4-й. Рассчитаем теперь размеры конуса крестообразного сечения и дымовой трубы для паровозов сер. „Э“ (данные см. пример 3-й)

При этом имеем:

$$L_n = \frac{11,45}{f_b} - \frac{44,4}{f_s} - 6,4 \quad (\text{см. пример 3-й})$$

$$\begin{aligned} L'_n &= 4,65 \cdot L_n = 4,65 \left(\frac{11,45}{f_b} - \frac{44,4}{f_s} - 6,4 \right) = \\ &= \frac{53,25}{f_b} - \frac{206,5}{f_s} - 29,8. \end{aligned}$$

Из формулы (52) получаем:

$$\begin{aligned} f_b \text{ наим.} &= \frac{1}{2 \alpha'_0 \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{D+H}{D^2} \sqrt{g \cdot \gamma_{cm} h E \left[1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right]} -} \\ &\quad - \alpha'_0 K_o \left(\frac{H}{D} \right)^2 \frac{\gamma_n}{\gamma_{o_2}} \cdot \frac{1}{f_r}} \\ f_b \text{ наим.} &= \frac{1}{2,085 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{7,5}{2,22^2} \sqrt{9,81 \cdot 0,603 \cdot 150 \cdot 0,735 (1 -} \\ &\quad - 0,603 \cdot \frac{L'_n}{150 \cdot 7,5}) - 0,85 \cdot 0,1 \left(\frac{5,28}{2,22} \right)^2 \cdot \frac{0,58}{0,612} \cdot \frac{1}{0,664}} \\ &= \frac{1}{63,5 \sqrt{1 - 0,000 535 L'_n} - 0,685} \end{aligned}$$

по формуле (51) находим (см. пример 3-й):

$$f_s \text{ наим.} = \frac{1}{4,65 \sqrt{1 - 0,000 535 L'_n}}$$

Подставляя значение L_n' в выражения для f_b и f_s , находим:

$$63,5^2 f_b^2 (1 - 0,000535 \frac{53,25}{f_b} + 0,000535 \frac{206,5}{f_s} + 0,000535 \cdot 29,8) = (1 + 0,685 f_b)^2 \quad (A)$$

$$4,65^2 f_s^2 (1 - 0,000535 \frac{53,25}{f_b} + 0,000535 \frac{206,5}{f_s} + 0,000535 \cdot 29,8) = 1. \quad (B)$$

Отсюда имеем:

$$[4032,3 f_b^2 - 115 f_b + 446 \frac{f_b^2}{f_s} + 64,2 f_b^2 = 1 + 1,37 f_b + 0,47 f_b^2$$

или

$$4096 f_b^2 - 116,4 f_b + 446 \frac{f_b^2}{f_s} = 1$$

Отсюда находим путем деления уравнения на f_b^2 :

$$4096 - 116,4 \cdot \frac{1}{f_b} + 446 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_b^2}$$

Из уравнения (B) имеем:

$$21,62 f_s^2 - 0,616 \frac{f_s^2}{f_b} + 2,4 f_s + 0,34 f_s^2 = 1$$

или

$$21,96 f_s^2 - 0,616 \frac{f_s^2}{f_b} + 2,4 f_s = 1.$$

Отсюда, разделив уравнение на f_s^2 , получим:

$$21,96 - 0,616 \frac{1}{f_b} + 2,4 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_s^2}$$

Обозначив $\frac{1}{f_b}$ через x , и $\frac{1}{f_s}$ через y , имеем:

$$4096 - 116,4 x + 446 y = x^2$$

и

$$21,96 - 0,616 x + 2,4 y = y^2$$

Путем подстановки находим:

$$y = 2,69; \quad x = 36$$

Отсюда имеем:

$$f_s \text{ наим.} = \frac{1}{2,69} = 0,372 \text{ м}^2;$$

$$f_b \text{ наим.} = \frac{1}{36} = 0,0278 \text{ м}^2; \quad \frac{f_s}{\alpha_0' f_b} = 15,75$$

Поэтому

$$d_s \text{ наивыг.} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_s \text{ наивыг.}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,372}{3,14}} = 0,69 \text{ м.}$$

$$d_b \text{ наивыг экв.} = \sqrt{\frac{4 f_b \text{ наивыг.}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0278}{3,14}} = 0,188 \text{ м.}$$

Страна крестообразного сечения

$$a = 0,396 d_b \text{ экв.} = 0,396 \cdot 0,188 \cong 0,075 \text{ м} = 75 \text{ мм.}$$

$$L_n = \frac{53,25}{0,0278} - \frac{206,5}{0,372} - 29,8 = 1331 \frac{\text{кгм}}{\text{сек.}}$$

$$W_b = \frac{D}{\gamma_n \alpha' \sigma f_b} = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,85 \cdot 0,0278} = 162 \text{ м/сек.}$$

$$W_s = \frac{D + H}{\gamma_{см} f_s} = \frac{7,5}{0,603 \cdot 0,372} = 33,5 \text{ м/сек.}$$

Поэтому по формуле (46) находим:

$$\sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x}} = \frac{0,735 \cdot 0,188 \frac{0,664}{0,372} \sqrt{0,58 \cdot 0,612}}{0,9 \left(1 - 0,735 \frac{0,58}{0,603} \frac{1}{15,75} \right)} +$$

$$+ \sqrt{\frac{0,735^2 \cdot 0,188^2 \left(\frac{0,664}{0,372} \right)^2 \frac{0,58 \cdot 0,612}{0,603^2}}{0,9^2 \cdot \left(1 - 0,735 \frac{0,58}{0,603} \frac{1}{15,75} \right)^2}} +$$

$$\frac{15,75 \left[1 - 2 \cdot 0,188^2 \frac{0,664}{0,372} \left(0,1 - 0,735 \frac{0,664}{0,372} \frac{0,612}{0,603} \right) - 0,603 \frac{1331}{150 \cdot 7,5} \right]}{2 \cdot 0,9^2 \left(1 - 0,735 \frac{0,58}{0,603} \frac{1}{15,75} \right)}$$

$$= 0,283 + 2,24 = 2,523.$$

Следовательно

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = 3,523^2 = 6,37; \quad \frac{p_b - p_a}{p_a - p_x} = 6,37 - 1 = 5,37.$$

Таким образом, противодействие в конусе

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_b - p_a = 5,37 (p_a - p_x) = 5,37h = \\ &= 5,37 \cdot 150 = 805 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} = 0,0805 \text{ атм.}\end{aligned}$$

т. е. на $0,162 - 0,0805 = 0,0815$ атм, меньше, чем для имеющейся у паровоза сер. „Э“ дымовой трубы и крестообразного конуса.

Пример 5. Определим еще наивыгоднейшие размеры 4-х дырного конуса для паровоза сер. Э по данным примера 3-го.

Из примера 3-го имеем:

$$\begin{aligned}L_n &= \frac{11,45}{f_b} - \frac{44,4}{f_s} - 6,4; \\ f_s &= \frac{1}{4,65 \sqrt{1 - 0,000535L'}} \\ f_b &= \frac{1}{67,1 \sqrt{1 - 0,000535L'_n}} = 0,726\end{aligned}$$

Для 4-х дырного конуса значения L'_n равно:

$$L'_n = X \cdot L_n = 2,9 \left(\frac{11,49}{f_b} - \frac{44,4}{f_s} - 6,4 \right) = \frac{33,2}{f_b} - \frac{129}{f_s} - 18,6.$$

Подставляя значение L'_n в формулы для f_s и f_b , имеем:

$$\begin{aligned}67,1^2 f_b^2 (1 - 0,000535 \frac{33,2}{f_b} + 0,000535 \frac{129}{f_s} + \\ + 0,000535 \cdot 18,6) = (1 + 0,726 f_b)^2;\end{aligned}$$

$$4,65^2 f_s^2 (1 - 0,000535 \frac{33,2}{f_b} + 0,000535 \frac{129}{f_s} + 0,000535 \cdot 18,6) = 1.$$

Отсюда получаем:

$$4502 f_b^2 - 80,05 f_b + 310 \frac{f_b^2}{f_s} + 44,53 f_b^2 = 1 + 1,45 f_b + 0,53 f_b^2$$

и

$$21,62 f_s^2 - 0,384 \frac{f_s^2}{f_b} + 1,49 f_s + 0,215 f_s^2 = 1$$

или

$$4546 f_b^2 - 81,5 f_b + 310 \frac{f_b^2}{f_s} = 1$$

и

$$21,835 f_s - 0,384 \frac{f_s^2}{f_b} + 1,49 f_s = 1$$

Разделив первое уравнение на f_b^2 , а второе f_s^2 , имеем:

$$4546 - 81,5 \frac{1}{f_b} + 310 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_b^2}$$

$$21,835 - 0,384 \frac{1}{f_b} + 1,49 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_s^2}$$

Обозначив $\frac{1}{f_b}$ через x , а $\frac{1}{f_s}$ через y , получаем:

$$4546 - 81,5x + 310y = x^2$$

$$21,835 - 0,384x + 1,49y = y^2$$

Путем подстановки находим:

$$y = \frac{1}{f_s} = 3,1; \quad x = \frac{1}{f_b} = 43,9.$$

Поэтому:

$$f_s \text{ наивыг.} = \frac{1}{3,1} = 0,328 \text{ м}^2; \quad f_b \text{ наивыг.} = \frac{1}{43,9} = 0,0227 \text{ м}^2;$$

Отсюда находим

$$d'_b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{f_b}{4}} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{0,0227}{4}} = 0,085 \text{ м} = 85 \text{ мм}$$

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot f_s} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot 0,328} = 0,645 \text{ м} = 645 \text{ мм}.$$

Скорость пара в устье конуса и парогазовой смеси в узком сечении трубы:

$$W_b = \frac{D}{\gamma_n \alpha'_{ofb}} = \frac{2,22}{0,58 \cdot 0,9 \cdot 0,0227} = 188 \text{ м/сек.}$$

$$W_s = \frac{D + H}{\gamma_{см} \cdot f_s} = \frac{7,5}{0,603 \cdot 0,328} = 38 \text{ м/сек.}$$

При этом

$$L'_n = \frac{33,2}{0,0227} - \frac{129}{0,328} - 18,6 = 1053 \text{ кгм/сек.}$$

Отношение

$$\frac{f_s}{\alpha'_{ofb}}$$

равно:

$$\frac{f_s}{\alpha'_{ofb}} = \frac{0,328}{0,9 \cdot 0,0227} = 16.$$

Из формулы (46) находим:

$$\sqrt{\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = \frac{0,735 \cdot 0,188 \cdot \frac{0,664}{0,328} \cdot \frac{\sqrt{0,58 \cdot 0,612}}{0,603}}{0,7 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{16}\right)}} +$$

$$+ \sqrt{\frac{0,735^2 \cdot 0,188^2 \left(\frac{0,664}{0,328}\right)^2 \frac{0,58 \cdot 0,612}{0,603^2}}{0,7^2 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{16}\right)^2}} +$$

$$+ \frac{16 \left[1 - 2 \cdot 0,188^2 \frac{0,664}{0,328} \left(0,1 - 0,735 \cdot \frac{0,664}{0,328} \cdot \frac{0,612}{0,603}\right) - 0,603 \frac{1053}{150 \cdot 7,5} \right]}{2 \cdot 0,7^2 \left(1 - 0,735 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{1}{16}\right)}$$

$$= 0,413 + 3,33 = 3,743.$$

Поэтому

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = 3,743^2 = 14,08$$

Отсюда находим:

$$\frac{p_b - p_x}{p_a - p_x} = 14,08 - 1 = 13,08$$

или

$$\Delta p = p_b - p_a = 13,08 (p_a - p_x) = 13,08 \cdot h = 13,08 \cdot 150 =$$

$$= 1960 \text{ кг/м}^2 = 0,196 \text{ атм.}$$

То же противодействие в конусе по формуле (46) равно:

$$\Delta p = p_b - p_a = \frac{1}{2g \cdot \gamma_n \cdot (\rho' \circ f_b)^2} -$$

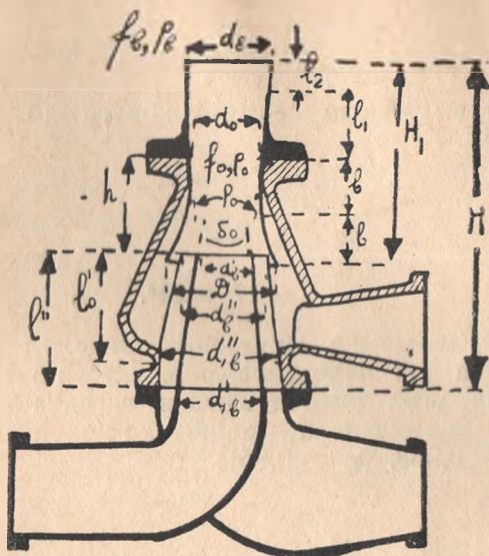
$$- h = \frac{1}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,58} \left(\frac{2,22}{0,63 \cdot 0,0227}\right)^2 - 150 = 1960 \text{ кг/м}^2 = 0,196 \text{ атм}$$

3. РАСЧЕТ ЭЖЕКЦИОННЫХ КОНУСОВ (черт. 16)

Расчет выходных сечений эжекционных конусов производится по тем же формулам, что и для нормальных сходящихся конусов, т. е. по формулам (51) и (52), но принимая коэффициент сжатия для выходного сечения конически расходящегося и цилиндрического коноидальных насадков равным: $\alpha'_0 = 1$, а коэффициент скорости φ — по данным Гибсона равным: при угле $\beta_0 = 11,5^\circ$, $\varphi = 0,941$; при угле $\beta_0 = 12^\circ$, $\varphi = 0,942$; при угле $\beta_0 = 13^\circ$ $\varphi = 0,945$; при угле $\beta_0 = 14^\circ$ $\varphi = 0,943$. (Данные

Рацбаони для коэффициентов φ и ρ'_o конических расходящихся насадков для паровозных конусов не пригодны).

Коэффициент сопротивления K_b для конических расходящихся конондальных насадков равен $0,12 + 0,13$.



Черт. 16,

Давление в узком сечении конически расходящегося насадка находим из уравнения Бернулли:

$$\frac{p_x}{\gamma_n} + (1 + K_b) \frac{W_b^2}{2g} = \frac{p_o}{\gamma_n} + \frac{W_b^2}{2g} \left(\frac{\alpha'_o f_b}{f_o} \right)^2$$

при чем

$$\frac{\alpha'_o f_b}{f_o} = 1,35 - 1,4 \dots (74); p_x = 10333 - h \text{ мм вод. ст.}$$

Таким образом, имеем:

$$\begin{aligned} p_o - p_x &= \frac{\gamma_n W_b^2}{2g} \left\{ \left[\left(\frac{\alpha'_o f_b}{f_o} \right)^2 - 1 \right] - K_b \right\} = \\ &= 10333 - h - \frac{\gamma_n W^2}{2g} \left[\left(\frac{\alpha'_o f_b}{f_o} \right)^2 - 1 - K_b \right] \end{aligned} \quad (75)$$

Для конических сходящихся насадков нормальной длины ($l = (2 \div 3)d$), расположенных внутри камеры с разрежением p , коэффициенты $\alpha'_{o_{cx}}$ и φ_{cx} имеют значения (см. Есьман „Гидравлика“): при угле $\delta_o = 11,5^\circ$; $\alpha'_{o_{cx}} = 0,986$; $\varphi_{cx} = 0,954$; при угле $\delta_o = 12^\circ$, $\alpha'_{o_{cx}} = 0,986$; $\varphi_{cx} = 0,955$; при угле $\delta_o = 13^\circ$; $\alpha'_{o_{cx}} = 0,983$; $\varphi_{cx} = 0,961$; при угле $\delta = 14^\circ$, $\alpha'_{o_{cx}} = 0,977$; $\varphi_{cx} = 0,965$, при чем площадь сечения их равна в сумме f_b .

При постановке коротких конических сходящихся насадков значения коэффициентов α'_{ocx} и φ_{cx} , по вышеуказанному равны:

$$\alpha'_{ocx} = 0,9; \varphi_{cx} = 0,7.$$

Поэтому противодавление в колонне конуса равно:

$$p_b = p_o + \frac{1}{\varphi_{cx}^2} \cdot \frac{1}{2g \gamma_n} \left(\frac{D}{\alpha'_{ocx} f_b} \right)^2 = 10333 \text{ мм вод. ст.} \quad (76).$$

Расстояние от выходного сечения конуса до узкого сечения дымовой трубы

$$h_s = \frac{d_s - d_b}{2tg \frac{\delta}{2}} \quad (77)$$

где $\delta = 17 \div 21^\circ$.

Пример 6-й В качестве примера определим размеры эжекционного конуса для паровозов сер. „Э“ по вышеуказанным данным, приняв угол расходящегося насадка $\beta = 13^\circ$ ($\alpha'_o = 1$, $\varphi = 0,945$) и нормального конически сходящегося насадка $\delta_o = 13^\circ$ ($\alpha'_{ocx} = 0,983$, $\varphi_{cx} = 0,961$).

При этом

$$L_n = \frac{11,45}{f_b} - \frac{44,4}{f_s} = 6,4 \quad (\text{см. пример 3-й}).$$

По формуле (62) находим:

$$\begin{aligned} f_{b \text{ макс.}} &= \frac{1}{2\alpha' \frac{\gamma_n}{\gamma_{cm}} \frac{D+H}{D^2} \sqrt{g \cdot \gamma_{cm} \cdot hE \left[1 - \gamma_{cm} \frac{L_n}{h(D+H)} \right]} -} \\ &= \frac{1}{\alpha'_o K_o \left(\frac{H}{D} \right)^2 \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{d. z.}} \cdot \frac{1}{f_r}} \\ &= \frac{2 \cdot 1 \cdot \frac{0,58}{0,603} \cdot \frac{7,5}{2,22^2} \sqrt{9,81 \cdot 0,603 \cdot 150 \cdot 0,735 \left(1 - 0,603 \frac{L_n}{150 \cdot 7,5} \right)}}{1} \\ &= \frac{1 \cdot 0,1 \left(\frac{5,28}{2,22} \right)^2 \frac{0,58}{0,612} \cdot \frac{1}{0,664}}{1} \\ &= \frac{1}{74,6 \sqrt{1 - 0,000535 L_n} - 0,735} \end{aligned}$$

Из формулы (51) имеем:

$$f_{b \text{ макс.}} = \frac{1}{4,65 \sqrt{1 - 0,000535 L_n}} \quad (\text{см. пример 1-й})$$

Подставляя значение L_n в выражение для f_b и f_n , получаем

$$21,7 - 0,135 \frac{1}{f_b} + 0,515 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_s^2}$$

и

$$5584 - 35,6 \cdot \frac{1}{f_b} + 132 \frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_b^2}$$

Обозначив $\frac{1}{f}$ через x , а $\frac{1}{f_s}$ — через y , имеем:

$$5584 - 35,6x + 132y = x^2, \text{ и } 21,7 - 0,135x + 0,515y = y^2$$

Путем подстановки находим:

$$y = \frac{1}{f_s} = 3,91; \quad x = \frac{1}{f_b} = 62,3.$$

Отсюда имеем:

$$\begin{aligned} f_{s \text{ наивыг.}} &= \frac{1}{y} = \frac{1}{3,91} = 0,255 \text{ м}^2; \quad f_b \text{ наивыг.} = \\ &= \frac{1}{x} = \frac{1}{62,3} = 0,0161 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Поэтому

$$d_s \text{ наивыг.} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot f_s} = 0,57 \text{ м}; \quad d_b \text{ наивыг.} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot f_b} = 0,144 \text{ м.}$$

Скорость пара в выходном сечении конуса

$$W_b = \frac{2,22}{0,58 \cdot 1 \cdot 0,0161} = 238 \text{ м/сек.}$$

Давление в узком сечении расходящегося насадка по формуле (74) равно:

$$\begin{aligned} p_o &= p_x - \frac{\gamma_n W_b^2}{2g} \left[\left(\frac{\alpha'_o f_b}{f_o} \right)^2 - 1 - K_k \right] = \\ &= 10333 - 150 - \frac{0,58 \cdot 238^2}{2 \cdot 9,81} \left[1,35^2 - 1 - 0,12 \right] = \\ &= 10183 - 1170 = 9013 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

Давление в колонне конуса при нормальном конически сходящемся насадке:

($l' = (2 \div 3) d'_b$) по формуле (76) равно:

$$\begin{aligned} p_b &= p_o + \frac{1}{\varphi^2_{св}} \cdot \frac{1}{2g \gamma_n} \left(\frac{D}{\alpha'_{осв} f_b} \right)^2 = 9033 + \frac{1}{0,961^2} \cdot \\ &\frac{1}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,58} \left(\frac{2,22}{0,983 \cdot 0,0161} \right)^2 = 9013 + 1880 = 10893 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

Противодавление в колонне конуса

$$p_b - p_a = 10893 - 10333 = 560 \text{ кг/м}^2 = 0,056 \text{ атм.}$$

из формулы (74) находим площадь узкого сечения расходящегося насадка конуса:

$$f_o = \frac{\alpha'_o f_b}{1,35} = \frac{0,0161}{1,35} \cong 0,01195 \text{ м}^2.$$

Диаметр расходящегося насадка конуса в узком сечении

$$d_o = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot f_o} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot 0,01195} = 0,123 \text{ м.}$$

Верхний диаметр конически сходящегося насадка конуса: для внутреннего

$$d'_b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{f_b}{2}} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{0,0161}{2}} \cong 0,1 \text{ м}$$

для наружного

$$\begin{aligned} d''_b &= \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{f_b}{2} + (d'_b + 2s)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{0,0161}{2} + (0,1 + 2 \cdot 0,005)^2} \cong 0,15 \text{ м} \end{aligned}$$

при чем s — толщина стенок конически сходящегося насадка (для железных насадков) равна: $s = 3 \div 5 \text{ мм}$.

Нижний диаметр конически сходящихся насадков

$$d'_{1b} = 1,46 d'_b = 1,46 \cdot 0,1 \cong 0,15 \text{ м}$$

$$d''_{1b} = 1,46 d''_b = 1,46 \cdot 0,15 = 0,22 \text{ м.}$$

Высота конически сходящихся насадков:

$$l_o = 2d'_b = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ м}$$

$$l''_o = 2 \cdot d''_b = 2 \cdot 0,15 = 0,3 \text{ м.}$$

Диаметр нижнего раструба конически расходящегося насадка

$$D = 2 \cdot d'_b = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ м.}$$

Высота конически расходящейся части верхнего насадка конуса:

$$l_1 = \frac{d_b - d_o}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta_o}{2}} = \frac{0,144 - 0,123}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{13}{2}} = 0,0875 \text{ м.}$$

Высота цилиндрической части верхнего насадка $l_2 = L_1 = 0,0875 \text{ м}$.

Высота раструба и цилиндрического перехода от него к узкому сечению верхнего насадка $l = l_1 = 0,0875 \text{ м}$.

Полная высота верхнего насадка:

$$H_1 = l_2 + l_1 + 2l = 4 \cdot 0,0875 = 0,35 \text{ м.}$$

Расстояние от устья конически сходящегося насадка до узкого сечения верхнего насадка:

$$h = 0,9 \cdot 2l = 1,8l = 1,8 \cdot 0,0875 = 0,16 \text{ м.}$$

Полная высота конуса:

$$H = l_2 + l_1 + h + l''_o = 0,0875 + 0,0875 + 0,16 + 0,3 = 0,635 \text{ м.}$$

Расстояние от выходного сечения конуса до узкого сечения дымовой трубы по формуле (77) равно:

$$h_s = \frac{d_s - d_b}{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} = \frac{0,57 - 0,144}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{17}{2}} = 1,4 \text{ м.}$$

Высота дымовой трубы над узким сечением по формуле (59) равна:

$$h_a = \frac{d_a - d_s}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} = \frac{0,7 - 0,57}{2 \cdot 0,057} = 1,14 \text{ м.}$$

при чем

$$d_a = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot f_a} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot 1,5 \cdot f_s} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot 1,5 \cdot 0,255} = 0,7 \text{ м.}$$

Полное расстояние от выходного сечения конуса до верхнего сечения дымовой трубы:

$$h_s + h_a = 1,4 + 1,14 = 2,54 \text{ м.}$$

При постановке вместо нормального конически сходящегося насадка короткого конического насадка (при $\alpha'_{ocx} = 0,9$, $\varphi_{ocx} = 0,7$) противодавление конуса будет:

$$\begin{aligned} p_b - p_a &= p_o - p_a + \frac{1}{\varphi_{ocx}^2} \cdot \frac{1}{2g \cdot \gamma_n} \left(\frac{D}{\alpha'_{ocx} f_b} \right)^2 = \\ &= 9013 - 10333 + \frac{1}{0,7^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,58} \left(\frac{2,22}{0,9 \cdot 0,0161} \right)^2 = \\ &= 2880 \text{ кг/м}^2 = 0,288 \text{ атм.} \end{aligned}$$

4. РАСЧЕТ ДЫМОСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Определение размеров дымососа для удаления продуктов сгорания из паровозных котлов в случае конденсации пара, уходящего из паровой машины паровоза, производится следующим образом:

Определяется секундный объем газов, удаляемых из котла по уравнению:

$$V_{ocx} = \frac{B \cdot V'_{d.г.}}{3600} \cdot \frac{T_{г.г. обв.}}{273,2} \cdot \frac{10333}{10333 - h} \quad (78)$$

Напор, потребный для дымососа при нагнетании:

$$H_n = h_{n \text{ дин.}} + h_{n \text{ см.}} = 1,25 \frac{\gamma_{\text{д.з.}} W_a^2}{2g} + \frac{K \cdot \gamma_{\text{д.з.}} (W_s^2 - \frac{W_a^2}{2})}{2tg \frac{\varepsilon}{2}} \quad (79)$$

при чем W_a — скорость вытекания дымовых газов из дымовой трубы равна $20 \div 30$ м/сек.; значения коэффициента K и угла конусности дымовой трубы указаны в расчете конуса.

Так как отношение площадей выходного и узкого сечения дымовой трубы лежит в пределах

$$\frac{f_a}{f_s} = 1,44 \div 1,85$$

то, следовательно,

$$W_s = W_a \cdot \frac{f_a}{f_s} = (1,44 \div 1,85) W_a$$

Поэтому уравнение (79) принимает вид:

$$H_n = \frac{\gamma_{\text{д.з.}} W_a^2}{2g} \left\{ 1,25 + \frac{K}{2tg \frac{\varepsilon}{2}} \left[(1,44 \div 1,85)^2 - 1 \right] \right\} \text{ мм вод. ст.} \quad (80)$$

Напор, потребный для дымососа при всасывании:

$$H_{\text{вс}} = h_{\text{вс дин.}} + h = \frac{\gamma_{\text{д.з.}} W_{\text{вс}}^2}{2g} + h \text{ мм вод. ст.} \quad (80)$$

при чем скорость всасывания $W_{\text{вс}} \cong 30$ м/сек.

Полный расчетный напор для дымососа:

$$H = H_{\text{вс}} + H_n \text{ мм вод. ст.} \quad (82)$$

Диаметр всасывающих отверстий дымососа и внутренний диаметр колеса дымососа при двухстороннем всасывании:

$$d_{\text{вс}} = D_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{\text{всв.}}}{2 \cdot c_1}} \text{ м} \quad (83)$$

при чем абсолютная скорость входа газов в лопатки колеса равна

$$W_{\text{вс}} = c_1 = 30 \text{ м/сек.}$$

Наружный диаметр колеса дымососа

$$D = (1,75 \div 2) D_1 \quad (84)$$

Приняв для выходных лопаток дымососа угол $\alpha_2 = 12^\circ \div 20^\circ$, угол $\beta_1 = 45^\circ$ и угол $\gamma = 135^\circ$ (см. черт. 17).

Находим окружную скорость u_2 для точек выходного диаметра колеса дымососа из уравнения:

$$u_2 = \sqrt{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \operatorname{tg} \gamma_2} \sqrt{\frac{gH}{\eta_{\text{ман}} \gamma_{\text{д. з.}}}} \quad (85)$$

при чем манометрический к. п. д. дымососа

$$\eta_{\text{ман}} = 0,5 \div 0,65;$$

Обычно

$$\eta_{\text{ман}} = 0,55 \div 0,6.$$

Затем из уравнения:

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \quad (86),$$

определяем число оборотов колеса дымососа, после чего из уравнения:

$$u_1 = \frac{\pi \cdot D_1 n}{60} \quad (86).$$

Определяем окружную скорость u_1 для точек входного диаметра D_1 дымососа.

Из уравнения

$$W_1 = \sqrt{c_1^2 + u_1^2} \quad (88).$$

определяем относительную скорость входа газов в колесо дымососа и находим углы γ_1 и β_1 , (см. черт. 17) при угле $\alpha_1 = 90^\circ$, из уравнений:

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{c_1}{u_1}; \quad \beta_1 = 180 - \gamma_1$$

при чем угол β_1 не должен выходить из пределов $110^\circ \div 150^\circ$.
Затем из уравнения

$$\frac{\gamma_{\text{д. з.}}}{g} u_2 \cdot c_2 \cos \alpha_2 = \frac{H}{\eta_{\text{ман}}} \quad (89)$$

определяем абсолютную скорость c_2 выхода газов из колеса дымососа, а из уравнения:

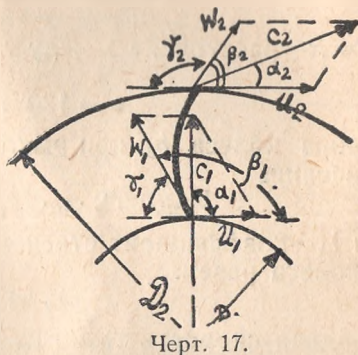
$$\frac{\gamma_{\text{д. з.}}}{g} (u_2^2 + u_2 W_2 \cos \beta_2) = \frac{H}{\eta_{\text{ман}}} \quad (90)$$

находим относительную скорость выхода газов из колеса дымососа; обычно

$$W_2 = (1 - 1,6) W_1.$$

Ширина колеса b_1 при входе дымовых газов определяется из уравнения:

$$V_{\text{сек}} = 2 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot c_1 \cdot \lambda_1 \quad (91)$$



при чем коэффициент $\lambda_1 = 0,98$ учитывает сужение площади входа для газов в дымососе его лопатками.

Число лопаток в дымососе:

$$Z = \frac{\pi \cdot D_1}{x}$$

при чем x —расстояние между лопатками по окружности входа равно:

$$x = 130 \div 150 \text{ мм.}$$

Ширина колеса b_2 при выходе дымовых газов определяется из уравнения:

$$V_{сек.} = 2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot c_2 \sin \alpha_2 \cdot \lambda_2 \quad (93)$$

причем λ_2 —коэффициент стеснения лопатками выходной поверхности колеса равен:

$$\lambda_2 \cong 0,99.$$

Выходная скорость газов из кожуха вентилятора

$$W_e = W_c.$$

Поэтому диаметр выходного сечения кожуха дымососа (диаметр узкого сечения дымовой трубы) равен:

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{сек.}}{W_s}} \quad (94)$$

Диаметр выходного сечения дымовой трубы равен:

$$d_a = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{сек.}}{W_a}} \quad (95)$$

Положение языка кожуха определяется размером:

$$Z_1 = (0,05 \div 0,08) D_2.$$

Сторона конструкторского квадрата для вычерчивания кожуха дымососа (см. черт. 18) делается равной:

$$a = \frac{A}{4} = \frac{d_s}{4}.$$

Высота дымовой трубы (диффузора) равна:

$$h_a = \frac{d_a - d_s}{2 \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} \quad (96)$$

Потребная на валу дымососа мощность

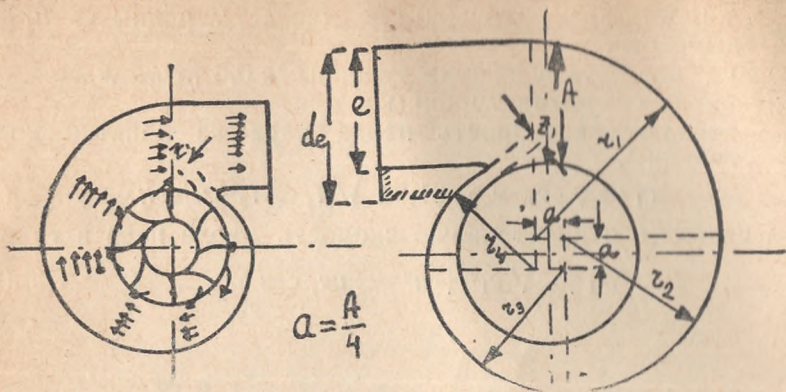
$$N_{дым.} = \frac{V_{сек.} \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad (97)$$

причем к. п. д. дымососа

$$\eta = 0,45 \div 0,6,$$

обычно

$$\eta = 0,5 \div 0,55.$$



Черт. 18.

Турбина, приводящая в движение дымосос, может быть выполнена для работы или мятым паром из машины паровоза с пропуском через нее всего пара, отработавшего в машине, или для работы свежим паром из котла.

Для расчета турбины мятого пара определяем прежде всего потребное для нее теплопадение

$$(i_1 - i_2) \eta'_u \eta_{мех.}$$

из уравнения:

$$N_{дым.} = \frac{U_m (i_1 - i_2) \eta'_u \eta_{мех.}}{632,3} \quad (98)$$

причем здесь: U_m — расход пара по машине паровоза в кг/час;
 $\eta_{мех.}$ — мех. к. п. д. турбины равен:

$$\eta_{мех.} = 0,9$$

$$\eta'_u = \frac{2\varphi^2 (1 + \psi) \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \frac{u}{c_1}}{1 + \frac{N_r}{N_{дым.}} \eta_{мех.}} \quad (99)$$

внутренний относительный к. п. д. турбины.

φ — коэффициент скорости для сопел, равный в среднем 0,95,
 ψ — скоростной коэф. для лопаток турбины, равный: $\psi = 0,7$,
 α_1 — угол абсолютной скорости входа пара на лопатки турбины, равный $14^\circ - 18^\circ$,

N_r — потеря мощности на трения диска о пар и вентиляцию

$$N_r = \frac{3,6}{10^4} \beta_0 \frac{\gamma_n u^5}{n^2} \text{ л. с.}, \quad (100)$$

где

β_0 — коэффициент, равный по Венгеру 7,5 для турбин без ступеней скорости.

u — скорость на окружности диска турбины = u_2 для дымососа.

γ_{10} — уд. вес пара в кожухе турбины $\cong 0,6$ кг/кб м.

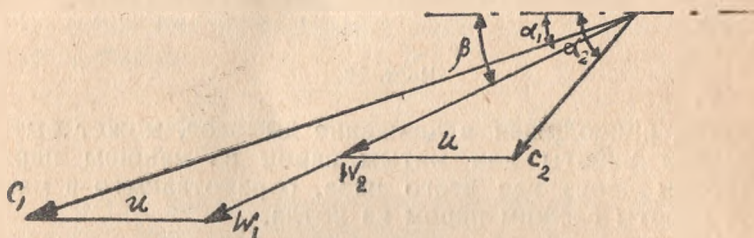
n — число оборотов турбины в мин.

c_1 — абсолютная скорость входа пара на лопатки колеса турбины.

$$c_1 = \varphi \cdot c_0 = \varphi \cdot 91,53 \sqrt{i_1 - i_2} \text{ м/сек.} \quad (101)$$

Затем находим относительную скорость входа пара в турбину

$$W_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2uc_1 \cos \alpha_1} \quad (102)$$



Черт. 19.

и угол этой скорости β_1 из уравнения (черт. 19):

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{W_1} \cdot \sin \alpha_1. \quad (103)$$

Относительная скорость выхода пара из турбины равна

$$W_2 = \psi W_1 \quad (104)$$

Абсолютная скорость выхода пара из лопаток турбины определяется из уравнения

$$c_2 = \sqrt{u^2 + W_2^2 - 2uW_2 \cos \beta_2} \quad (105)$$

причем угол лопаток β_2 при выходе делается обычно равным углу β_1 .

Угол скорости c_2 — находим из соотношения:

$$\sin \alpha_2 = \frac{W_2}{c_2} \sin \beta_2. \quad (106)$$

Диаметр диска турбины находим из формулы

$$D = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot n}. \quad (107)$$

Высоту лопаток турбины вычисляем из уравнения:

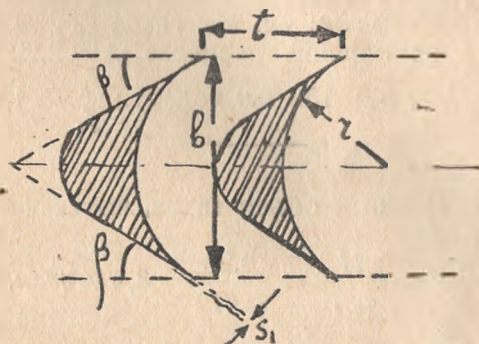
$$l = \frac{U_{м.} V_2 \tau}{3600 \pi \cdot D c_1 \sin \alpha_1} + (0,0015 + 0,002) \text{ м} \quad (108)$$

причем $\frac{1}{\tau}$ — коэффициент стеснения лопатками поверхности входа для пара

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{1,08} + \frac{1}{1,15}$$

Шаг лопаток при толщине края лопатки $s_1 \cong 1$ мм равен:

$$t = \frac{\tau s_1}{\tau - 1} \quad (109)$$



Черт. 20.

Радиус кривизны лопатки равен:

$$r = 2(t - s_1) \sin \beta_1 \quad (110)$$

Ширина лопатки

$$b = 2r \cos \beta_1$$

Число лопаток на диске турбины равно:

$$Z_0 = \frac{\pi \cdot D}{t} \quad (112)$$

Выходное сечение сопел (направляющего аппарата), перпендикулярное у оси их, равно:

$$f_c = \frac{U_m \cdot V_2}{3600 \cdot c_1}$$

причем V_2 —уд. объем пара в кожухе турбины в $\text{м}^3/\text{кг}$.

Диаметр пароподводящей и паровыпускной труб турбины находим из формулы:

$$d_{\text{вп}} = d_{\text{вып}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_m}{3600} \cdot \frac{V_2}{W_{\text{вып}}}} \quad (114)$$

Причем

$$W_{\text{вып}} = 80 \div 120 \text{ м/сек.}$$

Выходной диаметр конического патрубка (сопла) паровыпускной трубы равен:

$$d_c = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{D_{сек.}}{\gamma_n \cdot c_1}},$$

где

$$D_{сек.} = \frac{U_m}{3600} \text{ кг/сек.}$$

Пример 7-й. Расчитать размеры дымососа и турбины к нему для пар. сер. „Э“ по данным: вес газов, уходящих из котла в секунду $H = 5,28 \text{ кг/сек}$; уд. вес газов $\gamma_{д.з.} = 0,612 \text{ кг/м}^3$, вес пара уходящего из машины паровоза $D = 2,22 \text{ кг/сек}$; уд. вес пара $\gamma_n = 0,6 \text{ кг/м}^3$; $h = 150 \text{ мм вод. ст.}$; $\frac{f_a}{f_s} = 1,5$.

Определим секундный объем газов, вытекающих из дымовой трубы

$$V_{сек.} = \frac{H}{\gamma_{д.з.}} = \frac{5,28}{0,612} = 8,6 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Напор, потребный для дымососа при нагнетании из формулы (80) равен:

$$H_n = \frac{\gamma_{д.з.} \cdot W_a^2}{2g} \left\{ 1,25 + \frac{K}{2 \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2}} \left[(1,44 + 1,85)^2 - 1 \right] \right\} =$$

$$= \frac{0,612 \cdot 30^2}{2 \cdot 9,81} \left\{ 1,25 + \frac{0,006}{2 \cdot 0,06} (1,5^2 - 1) \right\} \approx 37 \text{ мм вод. ст.}$$

Напор, потребный для дымососа при всасывании находим из формулы (81):

$$H_{вс} = \frac{\gamma_{д.з.} \cdot W_{вс}^2}{2g} + h = \frac{0,612 \cdot 30^2}{2 \cdot 9,81} + 150 = 178 \text{ мм вод. ст.}$$

Полный расчетный напор для дымососа по формуле (82) равен:

$$H = H_{вс} + H_n = 178 + 37 = 215 \text{ мм вод. ст.}$$

Диаметр всасывающих отверстий дымососа и внутренний диаметр колеса дымососа при двухстороннем всасывании по формуле (83) равен:

$$d_{вс} = D_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{сек.}}{2 \cdot c_1}} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{8,6}{2 \cdot 30}} \approx 0,43 \text{ м.}$$

Наружный диаметр колеса дымососа по формуле (84) равен:

$$D_2 = (1,75 + 2) D_1 = 1,75 \cdot 0,43 = 0,75 \text{ м.}$$

Окружную скорость для точек выходного диаметра колеса дымососа находим из уравнения (85) приняв угол

$$\alpha_2 = 20^\circ, \quad \gamma_2 = 135^\circ \quad \text{и} \quad \eta = 0,55:$$

$$u_2 = \sqrt{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \operatorname{tg} \gamma_2} \sqrt{\frac{gH}{\eta_{\text{ман}} \cdot \gamma_{\text{д.з.}}}} = \\ = \sqrt{1 + (0,364) (-1)} \sqrt{\frac{9,81 \cdot 215}{0,55 \cdot 0,612}} = 64 \text{ м/сек.}$$

При этом число оборотов дымососов из формулы (86) равно:

$$n = \frac{60 \cdot u_2}{\pi \cdot D_2} = \frac{60 \cdot 64}{3,14 \cdot 0,75} = 1625 \text{ об/мин.}$$

Из формулы (87) находим окружную скорость u_1 для точек входного диаметра дымососа:

$$u_1 = \frac{\pi \cdot D_1 n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,43 \cdot 1625}{60} = 36,6 \text{ м/сек.}$$

Относительная скорость входа газов в колесе дымососа из формулы (88) равна:

$$W_1 = \sqrt{c_1^2 + u_1^2} = \sqrt{30^2 + 36,6^2} = 47,7 \text{ м/сек.}$$

Углы этой скорости равны:

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{|c_1|}{u_1} = \frac{30}{36,6} = 0,82; \quad \gamma_1 = 39,5^\circ \\ \beta_1 = 180^\circ - \gamma_1 = 140,5^\circ.$$

Абсолютную скорость c_2 выхода газов из колеса дымососа находим из формулы (89)

$$\frac{\gamma_{\text{д.з.}}}{g} \cdot u_2 \cdot c_2 \cos \alpha_2 = \frac{H}{\eta_{\text{ман}}}$$

или

$$c_2 = \frac{g}{\gamma_{\text{д.з.}}} \cdot \frac{H}{\eta_{\text{ман}} \cdot u_2 \cos \alpha_2} = \\ = \frac{9,81}{0,612} \cdot \frac{215}{0,55 \cdot 64 \cdot 0,94} = 106,5 \text{ м/сек.}$$

Относительная скорость выхода газов из колеса дымососа, из формулы (90) равна при угле $\beta_2 = 45^\circ$.

$$\frac{\gamma_{\text{д.з.}}}{g} (u_2^2 + u_2 W_2 \cos \beta_2) = \frac{H}{\eta_{\text{ман}}}$$

или

$$W_2 = \frac{\frac{gH}{\gamma_{\text{д.з.}} \eta_{\text{ман}} u_2} - u_2}{\cos \beta_2} = \frac{9,81 \cdot 215}{0,612 \cdot 0,55 \cdot 64} - 64}{0,707} = 11 \text{ м/сек.}$$

Ширина колеса b_1 при входе дымовых газов в дымосос из формулы (91) равна:

$$V_{сек.} = 2\pi \cdot D_1 b_1 c_1 \cdot \lambda_1$$

или

$$b_1 = \frac{V_{сек.}}{2\pi \cdot D_1 c_1 \lambda_1} = \frac{8,6}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,43 \cdot 30 \cdot 0,98} = 0,18 \text{ м.}$$

Полная ширина колеса

$$B_1 = 2b_1 = 2 \cdot 0,108 = 0,216 \text{ м.} = 216 \text{ мм.}$$

Ширина колеса b_2 при выходе газов из дымососа из формулы (93) равна:

$$V_{сек.} = 2\pi D_2 \cdot c_2 \sin \alpha_2 \lambda_2$$

или

$$b_2 = \frac{V_{сек.}}{2\pi \cdot D_2 \cdot c_2 \sin \alpha_2 \lambda_2} = \frac{8,6}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,75 \cdot 106,5 \cdot 0,342 \cdot 0,98} = 0,51 \text{ м.}$$

Полная ширина колеса:

$$B_2 = 2b_2 = 2 \cdot 0,51 = 0,102 \text{ м.}$$

Число лопаток в дымососе по формуле (92) равно:

$$Z = \frac{\pi D_1}{x} = \frac{3,14 \cdot 0,43}{0,135} = 10.$$

Положение языка кожуха определяется размером

$$Z_1 (0,06 \div 0,08) D_2 = 0,06 \cdot 0,75 = 0,045 \text{ м.}$$

Диаметр выходного сечения кожуха дымососа (узкого сечения дымовой трубы) из формулы (94) равен:

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{сек.}}{W_s}} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{8,6}{45}} = 0,494 \text{ м} \cong 0,5 \text{ м.}$$

причем

$$W_s = \frac{f_a}{f_s} \cdot W_a = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ м/сек.}$$

Сторона конструкторского квадрата равна:

$$a = \frac{A}{4} = \frac{d_s}{4} = \frac{0,5}{4} = 0,125 \text{ м.}$$

Диаметр выходного сечения дымовой трубы равен по формуле (95):

$$d_a = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{сек.}}{W_a}} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{8,16}{30}} \cong 0,6 \text{ м.}$$

Высота дымовой трубы из формулы (96) равна:

$$h_a = \frac{d_a - d_s}{2 \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2}} = \frac{0,6 - 0,5}{2 \cdot 0,06} = 0,835 \text{ м.}$$

Мощность на валу дымососа из формулы (97) равна:

$$N_{\text{дым.}} = \frac{V_{\text{сек}} \cdot H}{75 \cdot \eta} = \frac{8,6 \cdot 215}{75 \cdot 0,5} = 50,5 \text{ л. с.}$$

Определим полезное теплопадение в турбине из формулы (98)

$$N_{\text{дым.}} = \frac{U_{\text{м.}} (i_1 - i_2) \eta'_{\text{и}} \cdot \eta_{\text{мех}}}{632,3}$$

или

$$50,5 = \frac{36000 \cdot 2,22 \cdot (i_1 - i_2) \eta'_{\text{и}} \cdot 0,9}{632,3}$$

отсюда

$$(i_1 - i_2) \eta'_{\text{и}} = \frac{50,5 \cdot 632,3}{3600 \cdot 2,22 \cdot 0,9} = 4,5 \text{ кал/кг.}$$

Принимая окружную скорость турбины

$$u = u_2 = 64 \text{ м/сек.}$$

находим потерю мощности на трение диска турбины о пар и на вентиляцию из формулы (100):

$$N_2 = \frac{3,6}{10^4} \beta_0 \frac{\gamma_{\text{п.}} u^5}{n^2} = \frac{3,6}{10^4} \cdot 715 \cdot \frac{0,6 \cdot 65^5}{1625^2} = 0,66 \text{ л. с.}$$

Из формулы (99) определяем внутренний относит. к. п. д. турбины

$$\eta'_{\text{и}} = \frac{2\varphi^2 (1 + \psi) \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \frac{u}{c_1}}{1 + \frac{N_r}{N_{\text{дым.}}} \cdot \eta_{\text{мех}}}$$

$$= \frac{2 \cdot 0,95^2 (1 + 0,7) \left(\cos 16^\circ - \frac{64}{c_1} \right) \frac{64}{c_1}}{1 + \frac{0,66}{50,5} \cdot 0,9}$$

$$= \frac{2 \cdot 0,95^2 (1 + 0,7) \left(0,96 - \frac{64}{0,95 \cdot 91,53 \sqrt{i_1 - i_2}} \right) \frac{64}{0,95 \cdot 91,53 \sqrt{i_1 - i_2}}}{1 + \frac{0,66}{50,5} \cdot 0,9}$$

$$= \frac{2,23}{\sqrt{i_1 - i_2}} \left(0,96 - \frac{0,735}{\sqrt{i_1 - i_2}} \right)$$

Подставляя это значение $\eta'_{\text{и}}$ в выражение для

$$(i_1 - i_2) \eta'_{\text{и}}$$

получаем:

$$(i_1 - i_2) \eta'_{\text{и}} = 4,5$$

или

$$(i_1 - i_2) \eta'_{u'} = (i_1 - i_2) \frac{2,23}{\sqrt{i_1 - i_2}} \left(0,96 - \frac{0,735}{\sqrt{i_1 - i_2}} \right) = \\ = 2,14 \sqrt{i_1 - i_2} - 1,64 = 4,5$$

отсюда находим:

$$\sqrt{i_1 - i_2} = \frac{4,5 + 1,64}{2,14} = 2,86.$$

Поэтому:

$$i_1 - i_2 = 2,86^2 = 8,2 \text{ кал/кг.},$$

что соответствует по $J-S$ диаграмме падению давления на 0,3 атм.

Таким образом, абсолютная скорость входа пара в лопатки турбина равна по формуле (101):

$$c_1 = \varphi \cdot 91,53 \sqrt{i_1 - i_2} = 0,95 \cdot 91,53 \cdot 2,86 = 250 \text{ м/сек.}$$

Внутренний относительный к. п. д. турбины по формуле (99) равен:

$$\eta'_{u'} = \frac{2,23}{\sqrt{i_1 - i_2}} \left(0,96 - \frac{0,735}{\sqrt{i_1 - i_2}} \right) = \\ = \frac{2,23}{2,86} \left(0,96 - \frac{0,735}{2,86} \right) \cong 0,57.$$

Отношение

$$\frac{u}{c_1} = \frac{64}{250} = 0,256.$$

Из формулы (102) находим относительную скорость входа пара в турбину W_1 :

$$W_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2uc_1 \cos \alpha_1} = \\ = \sqrt{250^2 + 64^2 - 2 \cdot 64 \cdot 250 \cdot 0,96} \cong 190 \text{ м/сек.}$$

Угол этой скорости находим из соотношения (103):

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{W_1} \cdot \sin \alpha_1 = \frac{250}{190} \cdot 0,2756 = 0,362.$$

Угол. $\beta_1 = 21,25^\circ$.

Относительная скорость выхода пара из лопаток турбины по формуле (104):

$$W_2 = \psi W_1 = 0,7 \cdot 190 = 133 \text{ м/сек.}$$

Абсолютная скорость выхода пара из лопаток турбины при угле

$$\beta_2 = \beta_1 = \beta = 21,25^\circ$$

равна по формуле (105):

$$c_2 = \sqrt{W_2^2 + u^2 - 2u \cdot W_2 \cos \beta_2} = \\ = \sqrt{133^2 + 64^2 - 2 \cdot 64 \cdot 133 \cdot 0,932} = 77 \text{ м/сек.}$$

Угол этой скорости α_2 определяем из соотношения (106)

$$\sin \alpha_2 = \frac{W_2}{c_2} \sin \beta_2 = \frac{133}{77} \cdot 0,362 = 0,626$$

Угол $\alpha_2 = 38,75^\circ$.

Диаметр диска турбины находим из формулы (107)

$$D = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot n} = \frac{60 \cdot 64}{3,14 \cdot 1625} = 0,75 \text{ м.}$$

Высоту лопаток турбины находим из формулы (108):

$$\begin{aligned} l &= \frac{U_m \cdot V_2 \cdot \tau}{3600 \cdot \pi D c_1 \sin \alpha_1} + (0,0015 \div 0,002) = \\ &= \frac{D_{\text{сек}} \tau}{\gamma_n \cdot \pi \cdot D c_1 \sin \alpha_1} + (0,0015 \div 0,002) = \\ &= \frac{2,22 \cdot 1,08}{0,6 \cdot 3,14 \cdot 0,75 \cdot 250 \cdot 0,2756} + 0,0014 = 0,026 \text{ м} = 26 \text{ мм}, \end{aligned}$$

Шаг лопаток по формуле (109) равен при толщине края лопатки

$$s_1 = 1,5 \text{ мм} \text{ и } \tau = 1,08:$$

$$t = \frac{\tau \cdot s_1}{\tau - 1} = \frac{1,08 \cdot 1,5}{1,08 - 1} \cong 20 \text{ мм.}$$

Радиус кривизны лопатки из формулы (110) равен:

$$r = 2(t - s_1) \sin \beta_1 = 2(20 - 1,5) 0,362 = 13,4 \text{ мм.}$$

Ширина лопатки по формуле (111) равна:

$$b = 2r \cos \beta = 2 \cdot 13,4 \cdot 0,932 \cong 25 \text{ мм.}$$

Число лопаток по формуле (112) равно:

$$Z_o = \frac{\pi D}{t} = \frac{3,14 \cdot 750}{20} = 118.$$

Выходное сечение сопел (направляющего аппарата), перпендикулярное к оси их, по формуле (113) равно:

$$f_c = \frac{U_m \cdot V_2 \cdot \tau}{3600 \cdot c_1} = \frac{D_{\text{сек}} \tau}{\gamma_n \cdot c_1} = \frac{2,72 \cdot 1,08}{0,6 \cdot 250} = 0,016 \text{ м.}$$

что при высоте сопел

$$l_c = l - 0,0014 = 0,0246 \text{ м.}$$

дает ширину каждого канала

$$b_c = \frac{0,016}{118 \cdot 0,0246} = 0,0055 \text{ м} = 5,5 \text{ мм.}$$

а при выходе в турбину

$$f_{c_1} = \frac{f_c}{\sin \alpha_1} = \frac{0,016}{0,2756} = 0,0582 \text{ м}^2$$

$$b_{c_1} = \frac{f_{c_1}}{z_0 l_c} = \frac{0,0582}{118 \cdot 0,0246} = 0,02 \text{ м} = 20 \text{ мм.}$$

Выходной диаметр конического патрубка (сопла) паровпускной трубы равен:

$$d_c = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{D_{сек}}{\gamma_n \cdot c_1}} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \frac{2,22}{0,6 \cdot 250}} = 0,137 \text{ м} = 137 \text{ мм.}$$

Диаметр паровпускной и паровыпускной трубы турбины при $W_{вып.} = 100 \text{ м/сек.}$ из формулы (114) равен:

$$d_{вн. тр.} = d_{вып. тр.} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_m \cdot V_2}{3600 \cdot W_{вып.}}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{D_{сек.}}{\gamma_n \cdot W_{вып.}}} = \sqrt{\frac{4}{3,44} \cdot \frac{2,22}{0,6 \cdot 100}} = 0,225 \text{ м.}$$

РАСЧЕТ СИФОНА

Пользуясь прежними обозначениями и называя давление пара при входе в сифон через p_1 атм. абс., а давление при выходе из сифона через p атм. абс., имеем для расчета сифона следующие уравнения:

1) Скорость вытекания пара из кольцевого сифона:

$$W_{сиф} = \varphi \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_1 V_1 10^4} = 100\varphi \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_1 V_1} \text{ м/сек.} \quad (115)$$

где коэффициент скорости $\varphi \cong 0,9$.

k —показатель адиабаты расширения пара при вытекании из сифона

$$= 1,035 + 0,1 x,$$

причем x —сухость пара при входе в сифон:

$$x = 0,85 \div 0,95;$$

при $x = 0,95$.

$$W_{сиф} = 203 \varphi \sqrt{p_1 V_1} \text{ м/сек.}$$

$$p_1 = (p_n + 1) - \Sigma K \frac{W^2}{2g} \cdot \gamma_n \cdot 0,0001 \text{ атм. абс.}$$

причем p_n —давление в котле в атм. ман.; ΣK —сумма коэффициентов сопротивлений протеканию пара в паропроводе от котла к сифону; W —скорость пара в этом паропроводе в м/сек.,

γ_p — удельный вес пара при давлении — p_k ,

V_1 — удельный объем пара при давлении p_1 :

$$V_1 = x V_{s_1} + (1 - x) \sigma_1 = x (V_{s_1} - \sigma_1) + \sigma_1 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

В виду малой длины паропровода от котла к сифону

$$\Sigma K \frac{W^2}{2g} \gamma_{п.} 10^{-4}$$

можно считать равным

$$0,4 \div 0,6 \text{ атм.}$$

2) Давление пара при вытекании из сифона:

$$p' = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} p_1 \cong 0,577 p_1 \text{ атм. абс.} \quad (116)$$

3) Удельный объем пара при вытекании из сифона

$$V' = V_1 \left(\frac{p_1}{p'} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (117-a)$$

Поэтому удельный вес пара при вытекании из сифона:

$$\gamma_{п.}^1 = \frac{1}{V'} = \frac{1}{V_1} \left(\frac{p'}{p_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \text{ кг/м}^3. \quad (117-b)$$

4) Секундный расход пара через сифон:

$$D_1 = \gamma_{п.}^1 \cdot \alpha'_{oc} f_{сиф.} W_{сиф.} \text{ кг/сек.} \quad (118)$$

Здесь α'_{oc} — коэффициент сжатия струи пара, вытекающей из сифона:

$$\alpha'_{oc} = 0,7.$$

$f_{сиф.}$ — сумма площадей выходных отверстий сифона

$$= 100 \div 400 \text{ кв. мм.}$$

Число отверстий обычно $15 \div 30$ при диаметре их

$$d_{сиф.} = 1,5 \div 4 \text{ мм.}$$

Площадь сечения трубки, подводящей пар к сифону

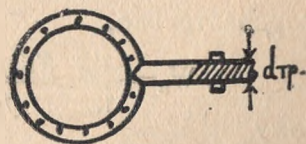
$$f_{тр.} = 123 \div 490 \text{ кв. мм,}$$

при диаметре ее

$$d_{тр.} = 12,5 \div 25 \text{ мм.}$$

Обычно расход пара через сифон равен

$$D_{1\text{мин.}} = 5 \div 20 \text{ кг/мин.}$$



Черт. 21.

Для определения разрежения, производимого кольцевым или трубчатым сифоном воспользуемся уравнением живых сил, пренебрегая членами, учитывающими работу паровых частиц и

работу трения газов о стенки дымовой трубы в виду их незначительности:

$$D_1 \frac{W_{\text{сиф.}}^2}{2g} + H_1 \frac{W_{\text{д. з.}}^2}{2g} - D_1 \frac{(W_{\text{сиф.}} - W_a)^2}{2g} - H_1 \frac{(W_{\text{д. з.}} - W_a)^2}{2g} - (D_1 + H_1) \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\text{см}}} = (D_1 + H_1) \frac{W_a^2}{2g} \quad (119)$$

Отсюда имеем:

$$(D_1 W_{\text{сиф.}} + H_1 W_{\text{д. з.}}) \frac{W_a}{g} - (D_1 + H_1) \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\text{см}}} = (D_1 + H_1) \frac{W_a^2}{g}$$

или

$$(\gamma'_n \alpha'_{oc} f_{\text{сиф.}} W_{\text{сиф.}}^2 + \gamma_{\text{д. з.}} f_r K'_o W_r^2) \frac{W_a}{g} - \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\text{см}}} f_a \cdot W_a \gamma_{\text{см}} = \gamma_{\text{см}} f_a W_a \frac{W_a^2}{g}$$

причем отношение

$$\frac{W_{\text{д. з. 1}}}{W_r} = K'_o;$$

в этом отношении $W_{\text{д. з.}}$ представляет скорость дымовых газов при входе в дымовую трубу.

W_r —скорость дымовых газов при выходе из трубчатой решетки; обычно

$$K'_o = 1,8 \div 2.$$

Разделив уравнение на

$$\gamma_{\text{см}} \cdot f_a \cdot W_a,$$

имеем:

$$\frac{p_a - p_x}{\gamma_{\text{см}}} = \frac{\gamma'_n}{\gamma_{\text{см}}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} f_{\text{сиф.}}}{f_a} \cdot \frac{W_{\text{сиф.}}^2}{g} + \frac{\gamma_{\text{д. з.}}}{\gamma_{\text{см}}} \cdot \frac{K'_o f_r}{f_a} \cdot \frac{W_r^2}{g} - \frac{W_a^2}{g} \quad (119-a)$$

Так как

$$\gamma_{\text{см}} f_a \cdot W_a = \gamma'_n \alpha'_{oc} f_{\text{сиф.}} W_{\text{сиф.}} + \gamma_{\text{д. з.}} f_r \cdot W_r$$

то, следовательно,

$$W_a = \frac{\gamma'_n}{\gamma_{\text{см}}} \frac{\alpha'_{oc} f_{\text{сиф.}}}{f_a} W_{\text{сиф.}} + \frac{\gamma_{\text{д. з.}}}{\gamma_{\text{см}}} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot W_r$$

Поэтому

$$\frac{W_a^2}{g} = \left(\frac{\gamma'_n}{\gamma_{\text{см}}} \right)^2 \left(\frac{\alpha'_{oc} f_{\text{сиф.}}}{f_a} \right)^2 \cdot \frac{W_{\text{сиф.}}^2}{g} + 2 \frac{\gamma'_n}{\gamma_{\text{см}}} \frac{\gamma_{\text{д. з.}}}{\gamma_{\text{см}}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} f_{\text{сиф.}}}{f_a} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot \frac{W_{\text{сиф.}} W_r}{g} + \left(\frac{\gamma_{\text{д. з.}}}{\gamma_{\text{см}}} \right)^2 \left(\frac{f_r}{f_a} \right)^2 \cdot \frac{W_r^2}{g}$$

Так как

$$W_r = \psi \cdot \sqrt{2g \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial. z.}}}$$

то

$$W_r^2 = \psi^2 \cdot 2g \cdot \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial. z.}}$$

Подставляя значения $\frac{W_a^2}{g}$ и W_r^2 в вышеприведенное уравнение (119-а) получаем:

$$\begin{aligned} \frac{p_a - p_x}{\gamma_{см}} = & \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{W^2_{сиф}}{g} + \frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{K'_o \cdot f_r}{f_a} \cdot 2\psi^2 \cdot \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial. z.}} - \\ & - \left(\frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\alpha'_{oc} f_{сиф}}{f_a} \right)^2 \cdot \frac{W^2_{сиф}}{g} - \\ & - 2 \cdot \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot \frac{W_{сиф}}{g} \cdot \psi \cdot \sqrt{2g \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial. z.}}} - \\ & - \left(\frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \right)^2 \cdot \left(\frac{f_r}{f_a} \right)^2 \cdot 2\psi^2 \cdot \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial. z.}} \end{aligned}$$

Отсюда имеем:

$$\begin{aligned} \frac{p_a - p_x}{\gamma_{см}} \left[1 + \frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \cdot \left(\frac{f_r}{f_a} \right)^2 \cdot 2\psi^2 - K'_o \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot 2\psi^2 \right] + \\ + 2\psi \cdot \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}}} \cdot \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot \frac{W^2_{сиф}}{g}} \cdot \sqrt{\frac{p_a - p_x}{\gamma_{см}}} - \\ - \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{W^2_{сиф}}{g} \left(1 - \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \right) = 0 \end{aligned}$$

Таким образом

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{p_a - p_x}{\gamma_{см}}} = & \frac{\psi \cdot \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}}} \cdot \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot \frac{W_{сиф}}{g}}}{1 + 2\psi^2 \cdot \frac{f_r}{f_a} \left(\frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{f_r}{f_a} - K'_o \right)} + \\ + & \sqrt{\left[\frac{\psi \cdot \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}}} \cdot \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot \frac{W_{сиф}}{g}}}{1 + 2\psi^2 \cdot \frac{f_r}{f_a} \left(\frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{f_r}{f_a} - K'_o \right)} \right]^2 + \dots} + \\ + & \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{W^2_{сиф}}{g} \left(1 - \frac{\gamma'_n}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} \cdot f_{сиф}}{f_a} \right)}{1 + 2\psi^2 \cdot \frac{f_r}{f_a} \left(\frac{\gamma_{\partial. z.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{f_r}{f_a} - K'_o \right)} \end{aligned} \quad (120)$$

Разрежение, производимое сифоном по формуле (120) равно:

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{p_a - p_x}{\gamma_{cm}}} &= \frac{\psi \frac{\gamma'_n}{\gamma_{cm}} \sqrt{\frac{\gamma \cdot \partial \cdot z}{\gamma_{cm}}} \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha'_{oc} f_{сиф}}{g} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot \frac{W_{сиф}}{f_a}}}{1 + 2\psi^2 \frac{f_r}{f_a} \left(\frac{\gamma \cdot \partial \cdot z}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_a} - K'_{o'} \right)} + \\ &+ \sqrt{\left[\frac{\psi \frac{\gamma'_n}{\gamma_{cm}} \sqrt{\frac{\gamma \cdot \partial \cdot z}{\gamma_{cm}}} \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha'_{oc} f_{сиф}}{g} \cdot \frac{f_r}{f_a} \cdot \frac{W_{сиф}}{f_a}}}{1 + 2\psi^2 \frac{f_r}{f_a} \left(\frac{\gamma \cdot \partial \cdot z}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_a} - K'_{o'} \right)} \right]^2} + \\ &+ \frac{\frac{\gamma'_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} f_{сиф}}{f_a} \cdot \frac{W_{сиф}^2}{g} \left(1 - \frac{\gamma'_n}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{\alpha'_{oc} f_{сиф}}{f_a} \right)}{1 + 2\psi^2 \frac{f_r}{f_a} \left(\frac{\gamma \cdot \partial \cdot z}{\gamma_{cm}} \cdot \frac{f_r}{f_a} - K'_{o'} \right)} = \\ &= \frac{0,188 \cdot \frac{2,97}{0,61} \sqrt{\frac{0,612}{0,61}} \cdot \sqrt{\frac{2}{9,81} \cdot \frac{0,7 \cdot 0,000377}{0,229} \cdot \frac{0,664}{0,229}} \cdot 388}{1 + 2 \cdot 0,188^2 \frac{0,664}{0,229} \left(\frac{0,612}{0,61} \cdot \frac{0,664}{0,229} - 2 \right)} + \\ &+ \sqrt{0,446^2 + \frac{\frac{2,97 \cdot 0,7 \cdot 0,000377 \cdot 388^2}{0,61 \cdot 0,229} \left(1 - \frac{2,97 \cdot 0,7 \cdot 0,000377}{0,61 \cdot 0,229} \right)}{1 + 2 \cdot 0,188^2 \frac{0,664}{0,229} \left(\frac{0,612}{0,61} \cdot \frac{0,664}{0,229} - 2 \right)}} \\ &= -0,446 + 8,536 = 8,09. \end{aligned}$$

Поэтому

$$\frac{p_a - p_x}{\gamma_{cm}} = 8,09^2 = 65,45$$

или

$$p_a - p_x = 65,45 \gamma_{cm} = 65,45 \cdot 0,61 = 40 \text{ мм вод. ст.}$$

Здесь γ_{cm} принята в виду незначительной примеси пара при атмосферном давлении к дымовым газам (γ'_n при атм. давлении = $0,6 \text{ кг/м}^3$) равной $0,61 \text{ кг/м}^3$.

При этом имеем: Скорость дымовых газов при выходе из передней трубчатой решетки:

$$W_r = \psi \sqrt{2g \frac{p_a - p_x}{\gamma_{\partial \cdot z}}} = 0,188 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{40}{0,612}} = 6,73 \text{ м/сек.}$$

Скорость дымовых газов при входе в дымовую трубу

$$W_{\partial \cdot z} = K'_{o'} W_r = 2 \cdot 6,73 = 13,46 \text{ м/сек.}$$

Скорость парогазовой смеси при выходе из дымовой трубы

$$W_a = \frac{\gamma'_{п.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{\alpha^*_{oc} f_{сиф}}{f_a} W_{сиф} + \frac{\gamma_{д.з.}}{\gamma_{см}} \cdot \frac{f_r}{f_a} W_r =$$

$$= \frac{2,97}{0,61} \cdot \frac{0,7 \cdot 0,000377}{0,229} \cdot 388 +$$

$$+ \frac{0,612}{0,61} \cdot \frac{0,664}{0,229} \cdot 6,63 = 2,18 + 19,51 = 21,7 \text{ м/сек.}$$

Секундный расход дымовых газов

$$H_1 = \gamma_{д.з.} \cdot f_r \cdot W_r = 0,612 \cdot 0,664 \cdot 6,73 = 2,73 \text{ кг/сек.}$$

Секундный расход парогазовой смеси:

$$D_1 + H_1 = \gamma_{см} \cdot f_a \cdot W_a = 0,61 \cdot 0,229 \cdot 21,7 = 3,044 \text{ кг/сек.}$$

Проверим правильность расчета сифона по уравнению (119)

$$D_1 \frac{W_{сиф}^2}{2g} + H_1 \frac{W_{д.з.}^2}{2g} = (D_1 + H_1) \frac{W_a^2}{2g} + (D_1 + H_1) \frac{p_a - p_x}{\gamma_{см}} +$$

$$+ D_1 \frac{(W_{сиф} - W_a)^2}{2g} + H_1 \frac{(W_{д.з.} - W_a)^2}{2g}$$

или

$$0,304 \frac{388^2}{2 \cdot 9,81} + 2,73 \frac{13,46^2}{2 \cdot 9,81} = 3,034 \frac{21,7^2}{2 \cdot 9,81} + 3,034 \frac{40}{0,61} +$$

$$+ 0,304 \frac{(388 - 21,7)^2}{2 \cdot 9,81} + 2,73 \frac{(13,46 - 21,7)^2}{2 \cdot 9,81};$$

таким образом, получаем:

$$2340 + 25 = 73 + 197,5 + 2085 + 9,5.$$

Отсюда имеем

$$2365 = 2365.$$

Таким образом, расчет сделан правильно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проф. Мухачев—Паровозы, ч. I, 1927 г.
2. Сборник.—Конструкции паровозов жел. дор. СССР, вып. IV, 1934 г.
3. Кнорре и Семенов.—Девятков.—,Курс паровых котлов*, ч. I, 1934 г.
4. Проф. Шеголев.—Топливо, топки и котельные установки, ч. I и II, 1935 г.
5. Проф. Бутаков.—Механическая тяга в котельной, 1935 г.
6. Проф. Ладыженский.—Конуса, дымовые трубы и поддувала паровозов, 1927 г.
7. Проф. Карташов.—Курс паровозов, ч. II, 1929 г.
8. Инж. Терлугов.—Реконструкция паровоза, 1934 г.
9. Проф. Игель.—Руководство к паровозостроению, 1924 г.
10. Справочник ИТС.—,Паровозы*, 1935 г.
11. Проф. Эйкен.—,Основные начала физической химии*, 1929 г.