

**В. Поздюнинъ.**

Корабельный инженеръ, преподаватель Политехническаго Института  
Императора Петра Великаго.

---

НОВЫЙ МЕТОДЪ  
РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВЪ  
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХЪ И ВОДЯНЫХЪ.

---

**Опредѣленіе размѣровъ трубъ круглago и прямоугольнаго  
сѣченій по заданнымъ расходу  $Q$  и напору  $H$ .**

---

**Приложеніе. Вспомогательныя формулы и таблицы для  
расчетовъ судовой вентиляціи.**

---

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія т-ва „Общественная Польза“, В. Подъяческая, 39.

1915.

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

При расчетъ сѣтей различныхъ трубопроводовъ часто приходится рѣшать слѣдующую задачу—опредѣлить размѣры сѣченія трубы по заданнымъ избытку напора и расходу какой-либо жидкости. Для заранѣе извѣстныхъ формы и длины трубы эта задача обыкновенно рѣшается рядомъ попытокъ.

Нельзя не признать, что такой способъ рѣшенія задачи является чрезвычайно громоздкимъ и требующимъ много времени, такъ какъ для лицъ, рассчитывающихъ трубопроводы, остается совершенно неизвѣстнымъ, какимъ образомъ и сколько нужно сдѣлать попытокъ, чтобы притти къ конечному результату.

Предлагаемый мной методъ рѣшенія поставленной задачи устраняетъ указанные недостатки практикуемаго способа рѣшенія, давая отвѣтъ по конечнымъ вычисленіямъ и обнимая собой рѣшительно всѣ случаи, какіе только могутъ встрѣтиться на практикѣ.

Этотъ методъ даетъ возможность быстро получать результатъ не только для трубъ круглаго сѣченія, но и прямоугольнаго.

Все изложеніе разбито на двѣ части:

- I) общія основанія предлагаемаго метода рѣшенія задачи и
- II) практическое примѣненіе этого метода къ расчетамъ судовой вентиляціи.

Вторая часть является только иллюстраціей къ первой.

Въ качествѣ иллюстраціи, какъ пользоваться предлагаемымъ методомъ, взята судовая вентиляція исключительно потому, что занятіе этой отраслю судостроительной техники привело меня къ мысли о необходимости дать методъ, который бы значительно сэкономилъ столь цѣнное въ заводской жизни время.

Возможность пользоваться моимъ методомъ и для другихъ областей трубопроводной техники, указанныхъ въ заголовкѣ книги, такимъ случайнымъ выборомъ иллюстраціи совершенно не исключается.

Въ концѣ книги я счелъ умѣстнымъ дать нѣкоторыя вспомогательныя формулы и таблицы для расчетовъ судовой вентиляціи, разработанныя мной въ удобный для практики видъ; матеріалъ для этихъ таблицъ частью заимствованъ изъ сочиненій, цитированныхъ въ сноску <sup>1)</sup>, а частью составленъ самостоятельно.

Въ заключеніе считаю пріятнымъ долгомъ выразить особую признательность чертежнику Балтійскаго Судостроительнаго Завода С. Г. Григорьеву, исполнившему діаграмму и эскизы для моей книги съ той тщательностью, которая возможна для современнаго чертежнаго искусства.

Корабельный инженеръ *В. Поздюхихъ*

С.-Петербургъ,  
9 мая 1914 года.

- 
- 1) 1) Rietschel—Versuche über den Widerstand bei Bewegung der Luft in Rohrleitungen.
  - 2) Boris—Note au sujet des installations de ventilation a bord des navires.
  - 3) Knipping—Entwurf und Berechnung von Lüftanlagen für Schiffe.
  - 4) V. Blaeß—Die Strömung in Röhren.

## 1) Общія основанія предлагаемаго метода расчета сѣченій трубопроводовъ.

Для рѣшенія задачи объ опредѣленіи размѣровъ трубъ какого угодно сѣченія по заданнымъ избытку напора и расходу въ единицу времени для произвольной жидкости, движущейся по трубѣ извѣстныхъ формы и длины, воспользуемся основнымъ уравненіемъ движенія жидкостей по трубамъ.

Это уравненіе, отнесенное къ рассматриваемому участку длиной  $L$ , можетъ быть написано на основаніи такъ называемаго „принципа наложенія потерь“ въ слѣдующемъ видѣ:

$$H = \frac{v^2}{2g} (1 + \Sigma \xi) \quad (1) \dots$$

Значенія отдѣльныхъ величинъ, входящихъ въ написанное уравненіе, слѣдующія:

$H$  — потеря напора на заданномъ участкѣ трубы, измѣряемая высотой столба той жидкости, движеніе которой рассматривается;

$v$  — скорость движенія жидкости по трубѣ;

$g$  — ускореніе силы тяжести

$\Sigma \xi$  — сумма коэффиціентовъ отдѣльныхъ сопротивленій движенію жидкости по трубѣ; эта сумма выражается всегда отвлеченнымъ числомъ и представляетъ ничто иное, какъ коэффиціентъ пропорціональности при членѣ уравненія, содержащемъ квадратъ скорости.

Написанное уравнение имѣетъ смыслъ не всегда, а лишь при соблюденіи нѣкоторыхъ условій.

Эти условія таковы:

1) плотность движущейся жидкости остается неизмѣнной;

2) движеніе жидкости на разсматриваемомъ участкѣ трубы вполнѣ установившееся;

3) скорость движенія жидкости превосходитъ критическую, т.-е. ту, выше которой всѣ сопротивленія движенію жидкости можно считать пропорціональными квадрату скорости.

Эти условія вполнѣ очерчиваютъ кругъ примѣнимости основного уравненія движенія жидкостей по трубамъ, а слѣдовательно и всѣхъ тѣхъ выводовъ, которые будутъ изъ него сдѣланы ниже. Первое условіе опредѣляетъ собой родъ трубопроводовъ, къ которымъ приложимъ нашъ методъ расчета.

Это будутъ всѣ трубопроводы, предназначенные для теченія капельныхъ жидкостей, которыя могутъ считаться практически несжимаемыми, а также трубопроводы для движенія газообразныхъ жидкостей при такихъ измѣненіяхъ давленія, при которыхъ можно принимать безъ большой ошибки плотность газовъ постоянной.

При этомъ температура движущейся жидкости должна оставаться на разсматриваемомъ участкѣ трубопровода постольку неизмѣнной, поскольку она вліяетъ на измѣняемость плотности жидкости.

Говоря практически, примѣнимость нашего метода распространяется на водяные и воздушные вентиляціонные трубопроводы.

Остальныя условія для указанныхъ трубопроводовъ въ большинствѣ случаевъ практики можно считать выполненными, такъ какъ почти всегда требуется

имѣть трубопроводы для вполне опредѣленныхъ расходовъ жидкости, а допускаемая на практикѣ скорости движенія жидкостей въ трубопроводахъ, вообще говоря, лежатъ значительно выше критическихъ скоростей, величины которыхъ даны Reynolds'омъ <sup>1)</sup>).

Преобразуемъ теперь основное уравненіе (1), исходя изъ слѣдующихъ соображеній.

Разобъемъ всѣ коэффициенты сопротивленія движенію жидкостей на двѣ группы:

1) коэффициенты сопротивленія, независящіе отъ размѣровъ поперечнаго сѣченія трубъ и

2) коэффициенты сопротивленія, зависящіе отъ этихъ размѣровъ.

Къ числу первыхъ отнесемъ всѣ коэффициенты такъ называемыхъ „*мѣстныхъ сопротивленій*“, а къ числу вторыхъ исключительно коэффициентъ сопротивленія движенію жидкости отъ тренія.

Такое подраздѣленіе всѣхъ коэффициентовъ сопротивленія является до извѣстной степени условнымъ, такъ какъ далеко не всѣ коэффициенты мѣстныхъ сопротивленій могутъ считаться независящими отъ размѣровъ поперечнаго сѣченія трубъ.

Но мы можемъ до извѣстной степени избавиться отъ указанной условности.

Для большинства случаевъ практики можно заранее установить конструктивныя нормы отдѣльныхъ частей трубопроводовъ, опредѣляющихъ величины коэффициентовъ мѣстныхъ сопротивленій.

Напримѣръ, сопротивленія различныхъ отводовъ въ трубопроводахъ зависятъ отъ радіусовъ ихъ загиба, опредѣляемыхъ, въ свою очередь, размѣрами поперечнаго сѣченія трубъ.

---

<sup>1)</sup> Phil. Trans. R. S. 1883.

Условимся дѣлать радіусы загиба отводо́въ для каждаго частнаго случая въ опредѣленномъ отноше́ннн къ неизвѣстнымъ намъ пока размѣрамъ поперечнаго сѣченія тру́бъ, согласуясь либо съ практической выполнимостью загибовъ тру́бъ, либо съ мѣстными условіями.

Очевидно, что при такомъ условіи и всѣ коэффиціенты сопротивленія этихъ отводо́въ могутъ быть назначены заранѣе, и величины ихъ будутъ постоянными.

Если бы въ нѣкоторыхъ случаяхъ не удалось привести указаннымъ путемъ коэффиціенты мѣстныхъ сопротивленій къ постояннымъ величинамъ, то данное выше подраздѣленіе всѣхъ коэффиціентовъ сопротивленія можетъ быть освобождено отъ присущей ему условности слѣдующимъ путемъ: придадимъ этимъ коэффиціентамъ мѣстныхъ сопротивленій нѣкоторыя среднія величины и будемъ понимать наше подраздѣленіе всѣхъ коэффиціентовъ сопротивленія въ томъ смыслѣ, что оно вѣрно въ первомъ приближеніи.

Зависимость коэффиціента сопротивленія движенію отъ тренія отъ размѣровъ сѣченія тру́бъ, какъ извѣстно, выражается для произвольной формы сѣченія слѣдующимъ образомъ:

$$\xi_r = \frac{U \cdot L}{F} \cdot \rho \dots (2)$$

Въ этой формулѣ значенія отдѣльныхъ величинъ слѣдующія:

$\xi_r$  — коэффиціентъ сопротивленія движенію отъ тренія;

$U$  — длина периметра сѣченія тру́бы;

$L$  — длина тру́бы;

$F$  — площадь сѣченія трубы и

$\rho$  — коэффициентъ тренія.

Величина коэффициентовъ тренія  $\rho$  изучена въ настоящее время для самыхъ разнообразныхъ жидкостей при самыхъ различныхъ условіяхъ.

Численныя значенія коэффициентовъ тренія  $\rho$ , вообще говоря, зависятъ отъ размѣровъ трубъ, а также и отъ скоростей движенія, но вліяніе этихъ обстоятельствъ на окончательный результатъ можетъ быть принято порядкомъ второй малости по мотивамъ изложеннымъ ниже и для перваго приближенія для значенія  $\rho$  можетъ быть принята нѣкоторая средняя постоянная величина для рассматриваемой жидкости.

Послѣ сдѣланныхъ разъясненій перепишемъ основное уравненіе (1) въ слѣдующемъ видѣ:

$$H = \frac{v^2}{2g} \left( R + \frac{UL}{F} \rho \right) . . . . (1') . . .$$

Черезъ  $R$  здѣсь обозначена сумма всѣхъ коэффициентовъ мѣстныхъ сопротивленій, увеличенная на единицу, которая, какъ извѣстно, соотвѣтствуетъ коэффициенту потери напора на созданіе скорости движенія  $v$ .

Условившись выражать всѣ величины, входящія въ уравненіе (1'), чтобы не потерять однородности уравненія, нужной намъ въ послѣдствіи, въ опредѣленной системѣ единицъ, за которую для насъ удобно сейчасъ взять „дециметръ-секунду“ и назвавъ черезъ  $Q$  — расходъ жидкости для рассматриваемаго участка въ кубическихъ дециметрахъ, т.-е. въ литрахъ, въ секунду, введемъ слѣдующую зависимость:

$$v = \frac{Q}{F} . . . . . (3) . . . .$$

Подставляя это выражение для  $v$  въ уравненіе (1'), придадимъ ему слѣдующій видъ:

$$F^3 = \frac{Q^2}{2gH} \cdot RF + \frac{Q^2}{2gH} \cdot UL\rho \dots (1'')$$

или, называя величину  $\frac{Q^2}{2gH}$  для краткости письма черезъ  $T$ , получимъ:

$$F^3 = TRF + TUL\rho \dots (1''')$$

Покажемъ, что уравненіе (1''') для трубъ любого сѣченія, т.-е. круглаго или прямоугольнаго, приводится къ нѣкоторому уравненію пятой степени одного и того же вида.

Для круглыхъ трубъ, называя ихъ діаметръ черезъ  $d$ , имѣемъ:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \text{ и } U = \pi d$$

Подставляя эти величины въ уравненіе (1''') и, дѣлая необходимыя сокращенія, получимъ:

$$a^5 = \frac{16TR}{\pi^2} d + \frac{64TL\rho}{\pi^2} \dots (4) \dots$$

Полагая для краткости письма

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{16TR}{\pi^2} \\ B_1 &= \frac{64TL\rho}{\pi^2} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

окончательно получаемъ:

$$a^5 = A_1 d + B_1 \dots (6)$$

Для трубъ прямоугольнаго сѣченія условимся всегда обозначать меньшую сторону черезъ  $a$ , а боль-

шую через  $na$ , гдѣ  $n \geq 1$  и зависитъ отъ выбранной формы прямоугольнаго сѣченія.

При принятыхъ обозначеніяхъ имѣемъ:

$$F = na^2 \text{ и } U = 2(n+1)a$$

Подставляя эти величины въ уравненіе (1''') и дѣлая необходимыя сокращенія, получимъ:

$$a^5 = \frac{TR}{n^2} a + \frac{2T(n+1)}{n^3} I\rho \dots (4')$$

Полагая для краткости письма

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= \frac{TR}{n^2} \dots \dots \dots \\ B_2 &= \frac{2T(n+1)}{n^3} I\rho \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5')$$

окончательно получаемъ:

$$a^5 = A_2 a + B_2 \dots \dots (7) \dots$$

Сравнивая уравненія (6) и (7), замѣчаемъ, что они оба пятой степени и имѣютъ одинъ и тотъ же видъ, что и требовалось доказать.

Такъ какъ коэффициенты уравненій (6) и (7) для каждаго частнаго случая легко могутъ быть вычислены, какъ это слѣдуетъ изъ выраженій (5) и (5'), то для окончательнаго рѣшенія задачи, т.-е. для опредѣленія  $d$  или  $a$ , нужно умѣть только находить положительный корень уравненія пятой степени вида

$$x^5 = Ax + B \dots \dots \dots (8)$$

Уравненіе (8), очевидно, имѣетъ всегда положительный корень, такъ какъ свободный членъ его  $B$  всегда число положительное, какъ то слѣдуетъ изъ выраженій (5) и (5').

Если одинъ изъ коэффициентовъ уравненія (8)  $A$  или  $B$  равенъ нулю, что соотвѣтствуетъ отсутствію сопротивленій той или иной группы изъ ранѣ установленныхъ, то это уравненіе рѣшается чрезвычайно легко, какъ двухчленное уравненіе пятой или четвертой степени.

Если же ни одинъ изъ названныхъ коэффициентовъ не равенъ нулю, то задача усложняется, такъ какъ алгебраическаго рѣшенія уравненій пятой степени не существуетъ и приходится рѣшать уравненіе (8) съ числовыми коэффициентами по приближенію по одному изъ способовъ, излагаемыхъ въ курсахъ высшей алгебры.

Для инженерной практики нужно считать такой способъ рѣшенія задачъ совершенно недопустимымъ, а въ данномъ случаѣ тѣмъ болѣе, такъ какъ при расчетѣ сѣтей трубопроводовъ приходилось бы каждый разъ удѣлять много времени, кропотливому самому по себѣ, рѣшенію по приближенію значительнаго количества уравненій вида (8).

Поэтому мы и предлагаемъ ниже методъ рѣшенія задачи, избавляющій инженеровъ отъ утомительныхъ вычисленій и лииной затраты времени.

Но прежде чѣмъ перейти къ изложенію этого метода, остановимся на одномъ свойствѣ корней уравненія (8), чрезвычайно важномъ для всего послѣдующаго.

Это свойство состоитъ въ томъ, что значенія корней разсматриваемаго уравненія измѣняются значительно медленнѣе, чѣмъ его коэффициенты  $A$  и  $B$ .

Изъ выраженій (5) и (5') легко замѣтить, что у насъ коэффициентъ  $A$  четвертаго измѣренія, а коэффициентъ  $B$  пятаго измѣренія, что, впрочемъ, и должно быть въ силу однородности уравненія (8).

Порядокъ измѣренія коэффициентовъ  $A$  и  $B$  и подтверждаетъ справедливость высказаннаго выше свойства корней.

Оцѣнивая это свойство качественно, мы можемъ сказать, что значенія корней уравненія (8) измѣняются примѣрно, какъ корни четвертой степени изъ  $A$  и какъ корни пятой степени изъ  $B$ .

Вотъ почему нѣтъ большой надобности знать особо точно значеній величинъ  $A$  и  $B$ , входящихъ въ уравненіе (8) постоянными коэффициентами, и вотъ та причина, по которой въ большинствѣ случаевъ можно довольствоваться первымъ приближеніемъ рѣшенія поставленной задачи и въ исключительныхъ случаяхъ вторымъ.

Въ самомъ дѣлѣ допустимъ, что мы ошиблись въ опредѣленіи величинъ  $A$  и  $B$  на  $100\%$ , иначе говоря ошиблись въ коэффициентахъ мѣстныхъ сопротивленій  $R$  и тренія  $\rho$ ; другой ошибки быть не можетъ, такъ какъ всѣ остальные величины, опредѣляющія коэффициенты  $A$  и  $B$  намъ извѣстны точно, какъ это легко усмотрѣть изъ выраженій (5) и (5').

Даже въ такомъ случаѣ, практически едва ли возможно, мы получимъ значеніе  $x$  въ первомъ приближеніи съ точностью въ предѣлахъ  $12\%$ — $18\%$ .

Нечего говорить о томъ, что рѣшеніе задачи въ этомъ исключительномъ случаѣ ошибки во второмъ приближеніи дастъ точность, далеко превосходящую предѣлы практически потребной точности.

Теперь, слѣдовательно, остается только дать методъ быстрого рѣшенія уравненія вида (8) съ произвольными числовыми значеніями положительныхъ коэффициентовъ  $A$  и  $B$ .

На первый взглядъ рѣшеніе это само напрашивается изъ разсмотрѣнія вида уравненія (8).

Въ самомъ дѣлѣ искомыя корни уравненія могутъ быть найдены, какъ абсциссы точекъ пересѣченія параболы пятой степени, даваемой лѣвой частью уравненія и прямой линіей, опредѣляемой правой частью уравненія.

Имѣемъ, казалось бы, очень простой графической методъ рѣшенія уравненія.

Но легко убѣдиться въ томъ, что практически этотъ методъ встрѣтитъ огромныя затрудненія въ выборѣ масштаба для построенія параболы пятой степени, такъ какъ значенія функции  $x^5$  растутъ чрезвычайно быстро.

Приходится отказаться отъ этого метода и искать другого выхода.

Этотъ выходъ составленіе таблицы значеній  $x$ —овъ для произвольныхъ числовыхъ значеній коэффициентовъ  $A$  и  $B$ , рѣшая соотвѣтствующее число уравненій (8) по приближенію.

Но вѣдь намъ нужна такая таблица, которая обнимала бы собой самыя различныя величины коэффициентовъ  $A$  и  $B$ , а вмѣстѣ съ тѣмъ и корней уравненія (8) соотвѣтственно размѣрамъ трубъ, какіе только могутъ встрѣтиться на практикѣ, т.-е. начиная отъ величинъ, измѣряемыхъ сантиметрами до величинъ, измѣряемыхъ метрами.

Ясно, что отъ созданія такой таблицы пришлось бы отказаться, если бы намъ не удалось подмѣтить нѣкоторыхъ обстоятельствъ, позволяющихъ составить таблицу для произвольныхъ чиселъ  $A$  и  $B$ , а слѣдовательно для опредѣленія любыхъ размѣровъ трубъ при сравнительно небольшой затратѣ труда.

Условимся выражать размѣры трубъ, т.-е. для круглыхъ трубъ ихъ діаметры  $d$ , а для прямоугольныхъ меньшія ихъ стороны  $a$ , всегда въ метрическихъ

мѣрахъ, но въ разныхъ единицахъ, а именно либо въ сантиметрахъ, либо въ дециметрахъ, либо въ метрахъ, десяткахъ метровъ и т. д.

Тогда очевидно, что для всѣхъ практически возможныхъ и невозможныхъ размѣровъ трубъ достаточно только составить такую таблицу, которая давала бы значенія корней уравненія (8) отъ 1 до 10.

Выражая каждый разъ коэффициенты уравненія  $A$  и  $B$  въ соответствующихъ единицахъ, что дѣлается крайне просто въ силу десятичности выбранныхъ единицъ и извѣстнаго намъ порядка измѣренія чиселъ  $A$  и  $B$ , мы найдемъ рѣшительно всѣ возможные корни уравненія (8) въ одной таблицѣ.

Таблицу, построенную на изложенныхъ основанiяхъ можно назвать универсальной: она будетъ годна для любыхъ значенiй  $x$ -овъ, т.-е. размѣровъ трубъ  $d$  или  $a$ .

Но даже съ введенiемъ этого значительно упрощающаго дѣло обстоятельства составленiе таблицы корней уравненiя (8) потребовало бы колоссальной затраты труда, если бы мы начали составлять таблицу на такихъ основанiяхъ, какъ составляется большинство различныхъ таблицъ, примѣняемыхъ въ инженерномъ дѣлѣ.

Мы подразумѣваемъ равные интервалы независимыхъ переменныхъ, на которыхъ строятся обыкновенно подобнаго рода таблицы.

Мы откажемся отъ подобнаго неправильнаго способа составленiя таблицъ и, пользуясь указаннымъ выше свойствомъ малой измѣняемости корней уравненiя (8) по сравненiю съ измѣненiемъ величинъ коэффициентовъ  $A$  и  $B$ , мы расположимъ при составленiи нашей таблицы значенiя  $A$  и  $B$  на неравныхъ интервалахъ, выбравъ нѣкоторый опредѣленный законъ возрастанiя этихъ чиселъ.

Выборъ неравныхъ интерваловъ избавить насъ отъ совершенно непроизводительной затраты труда, которую часто безсознательно совершаютъ.

Выборъ закона возрастанія чиселъ  $A$  и  $B$  необходимо согласовать съ тѣми формулами, которыми мы будемъ пользоваться для интерполированія значеній  $x$ -овъ по заданнымъ величинамъ  $A$  и  $B$ .

Возьмемъ законъ возрастанія чиселъ  $A$  и  $B$  по геометрической прогрессіи со знаменателемъ равнымъ 2 и будемъ всегда пользоваться интерполяціонной формулой Ньютона для неравныхъ интерваловъ, которая, какъ сейчасъ увидимъ, приметъ для выбраннаго закона возрастанія коэффициентовъ  $A$  и  $B$  особо простой и удобный для вычисленій видъ.

Если условимся вести всегда интерполированіе до разностей не выше вторыхъ, что для большинства случаевъ будетъ даже излишнимъ, то формулу Ньютона можно написать для интерполированія по какому-либо изъ параметровъ, скажемъ  $A$ , въ слѣдующемъ видѣ:

$$x_A = x_0 + C_0(A - A_0) - C_1(A - A_0)(A_1 - A) \quad \dots \quad (9)$$

Значенія коэффициентовъ формулы  $C_0$  и  $C_1$  будутъ вычисляться по слѣдующимъ выраженіямъ:

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \frac{x_1 - x_0}{A_1 - A_0} \\ C_1 &= \frac{D_0 - C_0}{A_2 - A_0} \\ D_0 &= \frac{x_2 - x_1}{A_2 - A_1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

Полагая для сокращенія письма

$$\begin{aligned} x_1 - x_0 &= \Delta x_0 \\ x_2 - x_1 &= \Delta x_1 \end{aligned}$$

и замѣчая, что въ силу выбраннаго расположенія интерваловъ

$$\begin{aligned} A_1 - A_0 &= A_0 \\ A_2 - A_1 &= 2A_0 \\ A_3 - A_2 &= 3A_0 \end{aligned}$$

и сдѣлавъ соотвѣтствующія подстановки въ выраженія (10), окончательно получимъ

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \frac{\Delta x_0}{A_0} \\ C_1 &= \frac{\Delta x_1 - 2\Delta x_0}{6A_0^2} \end{aligned} \right\} \dots (11) \dots$$

Теперь, имѣя простыя выраженія для  $C_0$  и  $C_1$ , подставимъ ихъ въ интерполяціонную формулу (9), получимъ

$$x_A = x_0 + \frac{A - A_0}{A_0} \Delta x_0 + \frac{(A - A_0)(A_1 - A)}{6A_0^2} (2\Delta x_0 - \Delta x_1) \quad (9')$$

Вводя сокращенныя обозначенія

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= \frac{A - A_0}{A_0} \dots \dots \dots \\ E_1 &= E_0 \frac{A_1 - A}{6A_0} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (12)$$

можемъ написать формулу (9') въ окончательномъ видѣ:

$$x_A = x_0 + E_0 \Delta x_0 + E_1 (2\Delta x_0 - \Delta x_1) \dots (9'')$$

Формула для интерполированія значеній  $x$ -овъ по  $B$  будетъ имѣть, очевидно, совершенно тотъ же видъ, что и написанная формула.

Какъ увидимъ ниже при изложеніи рѣшеній нѣкоторыхъ практическихъ задачъ, интерполяціонная формула Ньютона, преобразованная въ видъ (9'') сов-

мѣстно съ выраженіями (12) очень удобна для интерполированія, которое дѣлается при помощи этой формулы и соотношеній (12) чрезвычайно легко и быстро.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о расположеніи таблицы для опредѣленія размѣровъ трубъ, помѣщенной ниже.

Таблица составлена для значеній  $A$  и  $B$ , опредѣляемыхъ слѣдующими предѣлами:

$$0.5 \leq A \leq 16384$$

$$0.5 \leq B \leq 131072$$

Этимъ значеніямъ коэффициентовъ  $A$  и  $B$  соответствуютъ значенія  $x$ -овъ, т.-е.  $d$  или  $a$ , въ предѣлахъ:

$$1.00 \leq x \leq 11.79$$

Послѣдній столбецъ таблицы и ея послѣдняя строка для  $A = 32768$  и для  $B = 262144$  даны исключительно для цѣлей интерполированія.

Значенія коэффициентовъ  $A$  и  $B$  даны въ таблицѣ двоякимъ образомъ, а именно въ числахъ и степеняхъ двойки.

Послѣднее обозначеніе этихъ коэффициентовъ намъ понадобится для графическаго рѣшенія задачи.

Значенія  $x$ -овъ, помѣщенныхъ въ таблицѣ, вычислены съ точностью до двухъ десятичныхъ знаковъ, что даетъ относительную точность для всѣхъ чиселъ таблицы не меньшую, чѣмъ въ  $\frac{1}{2}\%$ , а въ среднемъ значительно большую.

Для графическаго рѣшенія задачи построена діаграмма, приложенная въ концѣ книги.

Эта діаграмма построена по значеніямъ  $x$ -овъ приведенной ниже таблицы.

По оси абсциссъ отложены показатели степеней 2, соответствующіе числовымъ значеніямъ коэффициентовъ  $B$ .

Эти показатели, которые будемъ называть буквой  $q$ , каждый разъ находятся изъ соотношенія

$$q = \frac{\lg B}{\lg 2} = 3.32 \lg B . . . (13)$$

По оси ординатъ отложены значенія  $x$ -овъ, для разныхъ значеній коэффиціентовъ  $A$  и  $B$ .

Такимъ образомъ получено нѣкоторое семейство кривыхъ вида  $x = f(A, B)$  съ параметромъ  $A$ .

Каждая кривая этого семейства обозначена показателемъ степени 2, дающей число  $A$ .

Эти показатели, которые будемъ называть буквой  $p$ , каждый разъ находятся изъ соотношенія

$$p = \frac{\lg A}{\lg 2} = 3.32 \lg A . . . (14) . .$$

Въ промежуткахъ между кривыми  $p$ , полученными по вычисленнымъ точкамъ, взятымъ изъ таблицы, построены добавочныя кривыя графическимъ путемъ съ такимъ расчетомъ, что дополнительные интервалы показателей  $p$  идутъ черезъ равныя промежутки по десятичной системѣ.

Такъ какъ кривыя  $p$  діаграммы имѣютъ свойство ассимптотически приближаться другъ къ другу, то для удобства нахождения нужныхъ кривыхъ значенія  $p$  поставлены въ разныхъ мѣстахъ діаграммы.

При помощи діаграммы значенія  $x$ -овъ, а слѣдовательно и искомыхъ размѣровъ трубъ  $d$  или  $a$ , находятся, какъ будетъ показано ниже на числовыхъ примѣрахъ, чрезвычайно быстро и съ достаточной точностью.

Съ лѣвой стороны діаграммы помѣщенъ масштабъ для чтенія искомыхъ размѣровъ.

**Т А Б Л И Ц А**  
**для опредѣленія размѣровъ трубъ круглаго и прямоугольнаго сѣченій.**

		Значенія коэффиціентовъ А и показателей р.																	
		А	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768
В	р	q	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Значенія коэффиціентовъ В и показателей q.	0.5	— 1	1.00	1.10	1.24	1.44	1.70	2.01	2.38	2.83	3.34	4.00	4.76	5.66	6.73	8.00	9.51
1	0		1.09	1.17	1.29	1.47	1.71	2.02	2.39	2.83	3.34	4.00	4.76	5.66	6.73	8.00	9.51	11.31	13.46
2	1		1.21	1.27	1.36	1.52	1.74	2.03	2.39	2.84	3.35	4.00	4.76	5.66	6.73	8.00	9.51	11.31	13.46
4	2		1.36	1.40	1.47	1.60	1.79	2.06	2.41	2.84	3.35	4.00	4.76	5.66	6.73	8.00	9.51	11.31	13.46
8	3		1.54	1.57	1.62	1.71	1.87	2.11	2.44	2.86	3.36	4.01	4.76	5.66	6.73	8.00	9.51	11.31	13.46
16	4		1.76	1.78	1.81	1.88	2.00	2.20	2.49	2.89	3.38	4.02	4.76	5.66	6.73	8.00	9.51	11.31	13.46
32	5		2.01	2.03	2.05	2.10	2.18	2.33	2.57	2.94	3.41	4.03	4.77	5.67	6.73	8.00	9.51	11.31	13.46
64	6		2.31	2.32	2.33	2.86	2.42	2.53	2.73	3.03	3.46	4.06	4.79	5.67	6.74	8.00	9.52	11.31	13.46
128	7		2.64	2.65	2.66	2.68	2.72	2.80	2.95	3.19	3.56	4.12	4.82	5.69	6.74	8.01	9.52	11.31	13.46
256	8		3.03	3.04	3.05	3.06	3.09	3.14	3.25	3.43	3.73	4.22	4.87	5.72	6.76	8.02	9.52	11.32	13.46
512	9		3.48	3.49	3.49	3.50	3.52	3.56	3.63	3.76	3.99	4.39	4.98	5.78	6.79	8.03	9.53	11.32	13.46
1024	10		4.00	4.00	4.00	4.01	4.03	4.05	4.10	4.19	4.36	4.67	5.16	5.88	6.85	8.06	9.54	11.33	13.47
2048	11		4.60	4.60	4.60	4.60	4.61	4.63	4.66	4.72	4.83	5.07	5.46	6.07	6.96	8.12	9.58	11.34	13.47
4096	12		5.28	5.28	5.28	5.28	5.29	5.30	5.32	5.36	5.44	5.60	5.89	6.39	7.15	8.23	9.63	11.38	13.49
8192	13		6.06	6.06	6.06	6.07	6.07	6.08	6.09	6.12	6.17	6.28	6.49	6.86	7.49	8.44	9.75	11.44	13.52
16384	14		6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.98	7.00	7.04	7.11	7.25	7.52	8.00	8.79	9.96	11.55	13.58
32768	15		8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.01	8.02	8.05	8.10	8.20	8.37	8.73	9.34	10.33	11.77	13.69
65536	16		9.19	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19	9.20	9.21	9.22	9.26	9.32	9.45	9.69	10.14	10.92	12.15	13.91
131072	17	10.56	10.56	10.56	10.56	10.56	10.56	10.56	10.57	10.58	10.60	10.64	10.73	10.89	11.21	11.79	12.78	14.31	
262144	18	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.14	12.16	12.18	12.24	12.35	12.57	12.98	13.72	14.97	

Діаграмма, какъ и данная выше таблица, можетъ быть названа также универсальной, такъ какъ она годна рѣшительно для всякихъ размѣровъ трубъ: стоитъ только числа  $A$  и  $B$  выразить въ такихъ единицахъ, чтобы показатели  $p$  и  $q$  заключались въ предѣлахъ данной діаграммы, и читать искомые размѣры трубъ по имѣемому масштабу въ соотвѣтствующихъ единицахъ.

Таковы общія основанія предлагаемаго нами метода рѣшенія поставленной выше задачи, столь часто встрѣчающейся при расчетѣ всякихъ трубопроводовъ.

---

## II. Практическое примѣненіе предлагаемаго метода къ расчетамъ судовой вентиляціи.

Обратимся теперь къ практическому примѣненію полученныхъ выше результатовъ для опредѣленія размѣровъ трубъ судовой вентиляціи по заданнымъ расходу воздуха  $Q$  и избытку напора  $H$  при извѣстныхъ формѣ и длинѣ трубъ.

Въ практикѣ расчетовъ судовой вентиляціи обычно принято выражать расходы воздуха  $Q$  въ кубическихъ метрахъ въ часъ, избытки напора  $H$  въ миллиметрахъ водяного столба, полагая температуру воздуха равной  $0^{\circ} C$  при нормальномъ барометрическомъ давленіи въ 760 м/м ртутнаго столба, и наконецъ длины трубъ въ метрахъ.

Данныя выше выраженія (5) и (5') для вычисленія коэффиціентовъ  $A$  и  $B$ , нужныхъ намъ для рѣшенія задачи, должны быть снабжены при указанныхъ здѣсь практически принятыхъ единицахъ нѣкоторыми переводными множителями, чтобы не была утрачена размѣрность этихъ величинъ.

Если будемъ выражать линейные размѣры сѣченій трубъ, т.-е.  $d$  или  $a$  въ сантиметрахъ и за единицу времени возьмемъ секунду, то эти множители найдутся слѣдующимъ образомъ:

$$Q \text{ куб. см./сек.} = \frac{Q_1 \times 10^3}{3.6} \dots \dots (1)$$

$$H \text{ см. возд. ст.} = \frac{H_1 \times 10^2}{1.293} \dots \dots (2), \text{ гдѣ}$$

$Q_1$  и  $H_1$  выражены соответственно въ кубическихъ метрахъ въ часъ и миллиметрахъ водяного столба при температурѣ воздуха равной  $0^\circ C$  и при нормальномъ барометрическомъ давленіи.

Данная выше вспомогательная величина  $T$  выразится теперь такъ:

$$T = \frac{Q^2}{2gH} = \frac{Q_1^2 \times 10^6 \times 1.293}{3.6^2 \times 2 \times 981 \times H_1 \times 10^2} = 0.508 \frac{Q_1^2}{H_1}. \quad (3)$$

Теперь коэффициенты  $A_1$  и  $B_1$  для опредѣленія диаметровъ круглыхъ трубъ, если назвать величину  $\frac{Q_1^2}{H_1}$  черезъ  $T_1$  и принять для коэффициента тренія воздуха  $\rho$  при теченіи по металлическимъ трубамъ среднюю величину въ 0.005, получаютъ слѣдующій видъ:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{16 TR}{\pi^2} = \frac{0.508 \times 16 \times T_1 R}{9.87} = 0.824 T_1 R \\ B_1 &= \frac{64 TL\rho}{\pi^2} = \frac{0.508 \times 64 \times 100 \times 0.005 T_1 L_1}{9.87} = 1.647 T_1 L_1 \end{aligned} \right\} (4)$$

Для тѣхъ же коэффициентовъ и при томъ же предположеніи относительно величины  $\rho$  для трубъ прямоугольнаго сѣченія будемъ имѣть:

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= \frac{TR}{n^2} = \frac{0.508 T_1 R}{n^2} \\ B_2 &= \frac{2T(n+1)L\rho}{n^3} = \frac{2 \times 0.508(n+1) \times 100 \times 0.005 T_1 L_1}{n^3} = \\ &= 0.508 \frac{n+1}{n^3} T_1 L_1 \end{aligned} \right\} (5)$$

Если бы намъ понадобилось выразить размѣры трубъ не въ сантиметрахъ, а въ другихъ единицахъ, на примѣръ въ дециметрахъ, то найти переходные

множители для этихъ единицъ не представляетъ рѣшительно никакого труда, такъ какъ мы знаемъ, что коэффициенты  $A$  у насъ четвертаго измѣренія, а коэффициенты  $B$  пятаго измѣренія.

Отбрасывая въ дальнѣйшемъ подстрочные значки у всѣхъ буквъ, дадимъ въ таблицѣ формулы для вычисленія коэффициентовъ  $A$  и  $B$  при разныхъ мѣрахъ.

$d$ или $a$ выражены въ	Круглыя трубы.		Прямоугольныя трубы.	
	$A$	$B$	$A$	$B$
сантиметр.	$0.824TR$	$1.647TL$	$0.508\frac{TR}{n^2}$	$0.508\frac{n+1}{n^3} TL$
дециметр.	$0.824TR \times 10^{-4}$	$1.647TL \times 10^{-5}$	$0.508\frac{TR}{n^2} \times 10^{-4}$	$0.508\frac{n+1}{n^3} TL \times 10^{-5}$
метрахъ.	$0.824TR \times 10^{-8}$	$1.647TL \times 10^{-10}$	$0.508\frac{TR}{n^2} \times 10^{-8}$	$0.508\frac{n+1}{n^3} TL \times 10^{-10}$

Если бы трубы рассчитывались для теченія воздуха съ температурой отличной отъ  $0^\circ C$ , то значенія коэффициентовъ  $A$  и  $B$  нужно исправлять, вводя нѣкоторый множитель  $K$ , значенія котораго даны въ приложеніи въ таблицѣ XIV для разныхъ температуръ.

Замѣтимъ еще здѣсь, что число  $n$  для прямоугольныхъ трубъ судовой вентиляціи выбирается обыкновенно въ предѣлахъ отъ  $n = 1.00$  до  $n = 3.00$ .

Очевидно, что совершенно такимъ же путемъ, какъ это только что было сдѣлано, каждымъ легко могутъ быть составлены выраженія для коэффициентовъ  $A$  и  $B$  для водяныхъ трубопроводовъ.

Покажемъ теперь, какъ пользоваться таблицей или діаграммой для опредѣленія размѣровъ трубъ круглаго или прямоугольнаго сѣченія для нѣкото-

рых числовыхъ задачъ, встрѣчающихся на каждомъ шагу при расчетахъ трубопроводовъ судовой вентиляции.

**Задача 1.** Отъ вентилятора съ часовой подачей  $Q = 1200$  куб. мтр. и давленіемъ  $H = 50$  м/м. водяного столба идетъ круглая труба общей длиною  $L = 40.0$  мтр. и имѣетъ форму изображенную на фиг. 1.

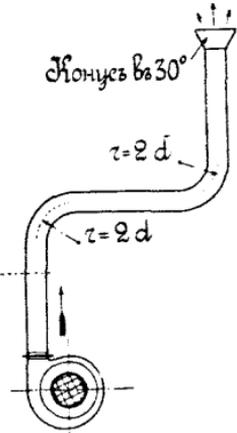
Опредѣлить діаметръ этой трубы?

Имѣемъ

$$T = \frac{Q^2}{H} = \frac{1200^2}{50} = 28800$$

Составляемъ таблицу для вычисленія величины коэффициента мѣстныхъ сопротивленій  $R$ .

Величины коэффициентовъ отдельныхъ сопротивленій беремъ изъ таблицъ помѣщенныхъ въ приложеніи къ книгѣ.



Фиг. 1.

№№	Названіе потерь и сопротивленій.	Значенія $\xi$ .	
		I прибл.	II прибл.
1	Скорость . . . . .	1.00	—
2	2 отвода ( $r = 2d$ ) . . . . .	0.40	—
3	Выходный конусъ въ $30^\circ$ .	0.73	—
4	. . . . .	—	—
5	. . . . .	—	—
	$R =$	2.13	—

Эту таблицу для вычисления коэффициента мѣстныхъ сопротивленій  $R$  мы предлагаемъ принять за образцовую.

Она предусматриваетъ случай, когда не всѣ мѣстные сопротивленія могутъ быть учтены въ первомъ приближеніи рѣшенія задачи; на примѣръ, въ разбираемой задачѣ, можетъ-быть, пришлось бы ввести въ послѣдствіи въ трубопроводъ переходной конусъ отъ выходнаго отверстія вентилятора, который вызвалъ бы новое мѣстное сопротивление.

Очевидно, что тогда нужно было бы только вписать это сопротивление въ свободную строчку уже готовой таблицы и найти для  $\Pi$  приближенія новое значеніе  $R$ .

Возвращаясь къ нашей задачѣ, далѣе имѣемъ

$$A = 0.824 \times TR = 0.824 \times 28800 \times 2.13 = 50600$$

$$B = 1.647 \times TL = 1.647 \times 28800 \times 40.00 = 1900000$$

Такихъ значеній для коэффициентовъ  $A$  и  $B$  въ таблицѣ для опредѣленія размѣровъ трубъ нѣтъ, а потому нужно взять

$$A = 5.06$$

$$B = 19.00$$

выражая діаметръ искомой трубы въ дециметрахъ.

Новыя значенія  $A$  и  $B$  заключаются въ предѣлахъ нашей таблицы.

Находимъ по таблицѣ ближайшія меньшія значенія  $A_0 = 4$  и  $B_0 = 16$ .

Интерполируемъ искомое значеніе  $d$  по даннымъ выше формуламъ Ньютона (12) и (9") сначала по  $A$

Имѣемъ:

$$\begin{array}{r|l} 5.06 & 8.00 \\ 4.00 & 5.06 \\ 1.06 & 2.94 \end{array} E_0 = \frac{1.06}{4.00} = 0.265; E_1 = \frac{0.265 \times 2.94}{6 \times 4.00} = 0.033$$

Составляемъ теперь разности:

$B$	$d_0$	$\Delta d_0$	$\Delta d_1$	$2 \Delta d_0 - \Delta d_1$
16	1.88	0.12	0.20	0.04
32	2.10	0.08	0.15	0.01
64	2.36	0.06	0.11	0.01

Далѣ имѣемъ

$$d_{B_0} = 1.88 + 0.265 \times 0.12 + 0.033 \times 0.04 = 1.88 + 0.03 = 1.91$$

$$d_{B_1} = 2.10 + 0.265 \times 0.08 + 0.033 \times 0.01 = 2.10 + 0.02 = 2.12$$

$$d_{B_2} = 2.36 + 0.265 \times 0.06 + 0.033 \times 0.01 = 2.36 + 0.02 = 2.38$$

Теперь интерполируемъ искомое значеніе  $d$  по  $B$ .

Имѣемъ:

$$E_0 = \frac{19.00 \mid 32.00}{16.00 \mid 19.00} = \frac{3.0}{16.0} = 0.188; E_1 = \frac{0.188 \times 13.0}{6 \times 16} = 0.025$$

Составляемъ разности:

$$\begin{aligned} \Delta d_{B_0} &= 0.21 \\ \Delta d_{B_1} &= 0.26 \end{aligned} \quad \text{и} \quad 2 \Delta d_{B_0} - \Delta d_{B_1} = 0.16$$

Искомый діаметръ трубы

$$\begin{aligned} d &= 1.91 + 0.188 \times 0.21 + 0.025 \times 0.16 = \\ &= 1.91 + 0.04 + \dots = 1.95 \text{ дцм.} \end{aligned}$$

Такимъ образомъ искомый діаметръ трубы

$$d = 195 \text{ м/м.}$$

Покажемъ теперь, какъ ту же задачу рѣшить при помощи діаграммы.

$$\text{Имѣемъ: } p = 3.32 \lg 5.06 = 3.32 \times 0.704 = 2.34$$

$$q = 3.32 \lg 19.00 = 3.32 \times 1.279 = 4.24$$

Откладываемъ по оси абсциссъ діаграммы  $q=4.24$ ; черезъ найденную точку проводимъ вертикаль, параллельную оси ординатъ до пересѣченія съ кривой  $p=2.34$ , которую вслѣдствіе отсутствія на діаграммѣ интерполируемъ на глазъ; проводя черезъ эту точку пересѣченія прямую, параллельную оси абсциссъ влѣво до масштаба, прочтемъ по послѣднему  $d=1.96$  дцм., т.-е. то же самое, что было найдено выше путемъ интерполированія по таблицѣ.

Посмотримъ теперь, какую ошибку даетъ первое приближеніе по сравненію со вторымъ приближеніемъ.

Для нахождения искомага діаметра во второмъ приближенніи опредѣлимъ скорость движенія воздуха по трубѣ въ первомъ приближеніи.

Воспользуемся формулой, приведенной въ приложеніи къ книгѣ; имѣемъ:

$$v = 3.535 \frac{Q}{d^2} = \frac{3.535 \times 1200}{19.5^2} = 11.2 \text{ мтр./сек.}$$

Далѣе имѣемъ периметръ сѣченія

$$U = \pi d = \pi \times 0.195 = 0.61 \text{ мтр.}$$

По таблицѣ I приложенія находимъ новое значеніе коэффиціента тренія  $\rho_1 = 40 \times 10^{-4}$ .

Значенія коэффиціентовъ  $A$  и  $B$  для второго приближенія будутъ:

$$A_1 = A = 5.06$$

$$B_1 = B \times \frac{40}{50} = 15.20$$

Находимъ по таблицѣ ближайшія меньшія значенія, какъ и прежде,  $A_0 = 4.00$  и  $B_0 = 8.00$ .

Для интерполированія по  $A$ , очевидно, вспомога-  
тельные коэффициенты  $E_0$  и  $E_1$  останутся прежними,  
т.-е.

$$E_0 = 0.265 \text{ и } E_1 = 0.033$$

Составляемъ разности:

$B$	$d_0$	$\Delta d_0$	$\Delta d_1$	$2 \Delta d_0 - \Delta d_1$
8	1.71	0.16	0.24	0.08
16	1.88	0.12	0.20	0.04
32	2.10	0.08	0.15	0.01

Далѣ имѣемъ

$$d_{B_0} = 1.71 + 0.265 \times 0.16 + 0.033 \times 0.08 = 1.71 + 0.04 = 1.75$$

$$d_{B_1} = 1.88 + 0.265 \times 0.12 + 0.033 \times 0.04 = 1.88 + 0.03 = 1.91$$

$$d_{B_2} = 2.10 + 0.265 \times 0.08 + 0.033 \times 0.01 = 2.10 + 0.02 = 2.12$$

Интерполируемъ теперь искомое значеніе по  $B$ ;  
имѣемъ:

$$\begin{array}{r|l} 15.20 & 16.00 \\ 8.00 & 15.20 \\ \hline 7.20 & 0.80 \end{array} E_0 = \frac{7.20}{8.00} = 0.900; E_1 = \frac{0.90 \times 0.80}{6 \times 80} = 0.015$$

Составляемъ разности:

$$\begin{array}{l} \Delta d_{B_0} = 0.16 \\ \Delta d_{B_1} = 0.21 \end{array} \text{ и } 2 \Delta d_{B_0} - \Delta d_{B_1} = 0.11$$

Искомый діаметръ во второмъ приближеніи бу-  
детъ

$$d = 1.75 + 0.90 \times 0.16 + 0.015 \times 0.11 = 1.75 + 0.14 = 1.89$$

Такимъ образомъ искомый діаметръ трубы во второмъ приближеніи будетъ

$$d = 189 \text{ м/м.}$$

Легко убѣдиться, что это рѣшеніе будетъ уже вполнѣ точнымъ; для этого нужно найти новое значеніе коэффиціента тренія: оно будетъ

$$\rho_2 = \rho_1 = 0.0040.$$

Ошибка перваго приближенія по отношенію ко второму будетъ

$$\frac{1.95 - 1.89}{1.89} \times 100 = \frac{6}{1.89} = \approx 3\%.$$

Видимъ, что можно было ограничиться для цѣлей практики и первымъ приближеніемъ.

Замѣтимъ еще, что выше мы вели интерполирование все время до вторыхъ разностей; какъ легко усмотрѣть, это было для данной задачи совершенно лишнимъ и сдѣлано исключительно для того, чтобы установить на примѣрѣ порядокъ всѣхъ вычисленій.

Для рѣшенія задачи во второмъ приближеніи при помощи діаграммы имѣемъ

$$p_1 = p = 2.34$$

$$q_1 = 3.32 \lg B_1 = 3.32 \times 1.182 = 3.92$$

Находимъ по діаграммѣ такимъ путемъ, какъ было указано выше

$$d = 1.90 \text{ дцм.}$$

Такимъ образомъ поставленная задача разрѣшается вполнѣ точно либо путемъ вычисленій, либо путемъ діаграммы.

Очевидно, что при рѣшеніи задачъ въ двухъ приближеніяхъ возможно комбинировать оба способа опредѣленія искомыхъ размѣровъ трубъ, опредѣляя на примѣръ, эти размѣры графически по діаграммѣ для перваго приближенія и вычисляя ихъ для втораго приближенія.

Поступимъ такимъ образомъ при рѣшеніи слѣдующей задачи.

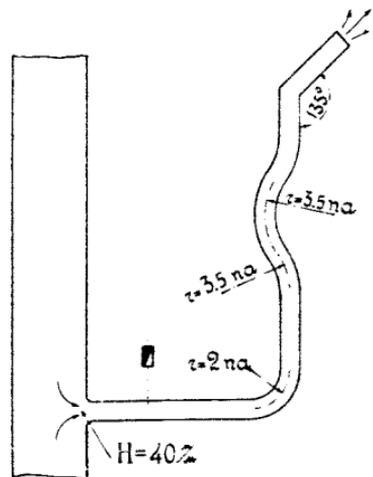
**Задача 2.** По нѣкоторому отвлѣтвленію отъ магистральнаго трубопровода должно проходить въ часъ количество воздуха  $Q = 800$  куб. мтр. при напорѣ у отвлѣтвленія  $H = 40$  м/м. при длинѣ этого отвлѣтвленія  $L = 8.5$  мтр. и формѣ его, изображенной на фиг. 2.

Опредѣлить размѣръ поперечнаго сѣченія отвлѣтвленія, если оно будетъ прямоугольнаго сѣченія съ отношеніемъ сторонъ  $\gg = 3.0$ ?

Имѣемъ

$$T = \frac{Q^2}{H} = \frac{800^2}{40} = 16000$$

Составимъ таблицу для вычисленія величины коэффиціента мѣстныхъ сопротивленій  $R$ , располагая ее такъ же, какъ это мы дѣлали выше.



Фиг. 2.

№№	Название потерь и сопротивлений.	Значения $\xi$ .	
		I прибл.	II прибл.
1	Скорость . . . . .	1.00	—
2	Входное сопротивление. .	0.51	—
3	Отводъ 90° ( $r=2 na$ ) . .	0.20	—
4	Обходной отводъ ( $r=3.5 na$ ).	0.25	—
5	Угловое колѣно 135° . .	0.30	—
6	Выходъ въ атмосферу . .	1.00	—
7	. . . . .	—	—
	$R =$	3.26	—

Находимъ значенія коэффициентовъ  $A$  и  $B$ ; имѣемъ

$$A = \frac{0.508 TR}{n^2} = \frac{0.508 \times 16000 \times 3.26}{9} = 2940$$

$$B = 0.508 \frac{n+1}{n^3} TL = \frac{0.508 \times 4 \times 16000 \times 8.5}{27} = 10230$$

Значенія коэффициентовъ заключаются въ предѣлахъ нашей таблицы для опредѣленія размѣровъ сѣченій трубъ; поэтому для нахождения меньшаго размѣра  $a$  въ сантиметрахъ имѣемъ

$$p = 3.32 \lg 2940 = 3.32 \times 3.468 = 11.50$$

$$q = 3.32 \lg 10230 = 3.32 \times 4.010 = 13.30$$

По диаграммѣ находимъ  $a = 8.00$  см., а слѣдовательно большая сторона  $= na = 24.00$  см.

Рѣшимъ теперь задачу во второмъ приближеніи при помощи таблицы.

Для этого находимъ скорость теченія воздуха по трубѣ

$$v = 2.780 \frac{Q}{\pi a^2} = \frac{2.780 \times 800}{8.0^2} = 11.6 \text{ мтр./сек.}$$

и периметръ сѣченія трубы

$$U = 2a (n + 1) \times 10^{-2} = 0.64 \text{ мтр.}$$

По величинамъ  $v$  и  $U$  находимъ изъ таблицы I новое значеніе коэффиціента тренія  $\rho_1$ : имѣемъ

$$\rho_1 = 39.5 \times 10^{-4}$$

Значенія коэффиціентовъ  $A$  и  $B$  для второго приближенія будутъ

$$A_1 = A = 2940$$

$$B_1 = B \times \frac{39.5}{50.0} = 8080$$

По таблицѣ для опредѣленія размѣровъ трубъ находимъ ближайшія меньшія значенія  $A_0 = 2048$  и  $B_0 = 4096$ .

Интерполируемъ искомое значеніе  $a$  по  $A$ :

$$\frac{2940}{2048} \left| \frac{4096}{892} \right| \frac{2940}{1156} E_0 = \frac{892}{2048} = 0.435; \quad E_1 = \frac{0.435 \times 1156}{6 \times 2048} = 0.041$$

Составляемъ разности

$B$	$a_0$	$\Delta a_0$	$\Delta a_1$	$2 \Delta a_0 - \Delta a_1$
4096	7.15	1.08	1.40	0.76
8192	7.49	0.95	1.31	0.59
16384	8.00	0.79	1.17	0.41

Далѣ имѣемъ:

$$a_{B_0} = 7.15 + 0.435 \times 1.08 + 0.041 \times 0.76 = 7.15 + 0.47 + 0.03 = 7.65$$

$$a_{B_1} = 7.49 + 0.435 \times 0.95 + 0.041 \times 0.59 = 7.49 + 0.41 + 0.02 = 7.92$$

$$a_{B_2} = 8.00 + 0.435 \times 0.79 + 0.041 \times 0.41 = 8.00 + 0.34 + 0.02 = 8.36$$

Теперь интерполируемъ искомое значеніе  $a$  по  $B$ :

$$\begin{array}{r|l} 8080 & 8192 \\ 4096 & 8080 \\ \hline 3984 & 112 \end{array} E_0 = \frac{3984}{4096} = 0.975; E_1 = \frac{0.975 \times 112}{6 \times 4096} = 0.004$$

Составляемъ разности

$$\begin{array}{l} \Delta a_{B_0} = 0.27 \\ \Delta a_{B_1} = 0.44 \end{array} \text{ и } 2 \Delta a_{B_0} - \Delta a_{B_1} = 0.10$$

Искомый размѣръ трубы  $a$  во второмъ приближеніи будетъ

$$a = 7.65 + 0.975 \times 0.27 = 7.65 + 0.26 = 7.91 \text{ см.}$$

и слѣдовательно другой стороны  $na = 23.73$  см.

Найдемъ ошибку, которую дало первое приближеніе по отношенію ко второму; имѣемъ

$$\frac{8.00 - 7.91}{7.91} \times 100 = \frac{9}{7.91} = \approx 1\frac{1}{10}\%$$

Такимъ образомъ видимъ, что и въ этой задачѣ вполнѣ свободно можно было ограничиться первымъ приближеніемъ.

Для рѣшенія задачи во второмъ приближеніи по диаграммѣ имѣемъ:

$$p_1 = p = 11.50$$

$$q_1 = 3.32 \lg 8080 = 3.32 \times 3.907 = 13.00$$

По этимъ значеніямъ  $p_1$  и  $q_1$  находимъ по диаграммѣ

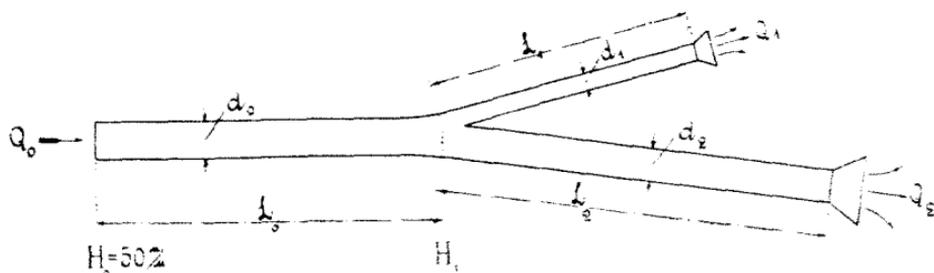
$$a = 7.90 \text{ см.}$$

Покажемъ теперь на численномъ примѣрѣ, какъ можетъ быть рѣшена при помощи нашего метода болѣе сложная задача, относящаяся, собственно говоря, къ болѣе трудному вопросу, совершенно здѣсь не затронутому, а именно къ расчету сѣтей трубопроводовъ.

**Задача 3.** Данъ развѣтвленный трубопроводъ круглаго сѣченія, схематически изображенный на фиг. 3; длины отдѣльныхъ участковъ этого трубопровода  $L_0 = 14.3$  м.,  $L_1 = 10.5$  м. и  $L_2 = 20.0$  м.

Часовой расходъ воздуха долженъ составить: для магистрали  $Q_0 = 2400$  куб. мтр., для перваго отростка  $Q_1 = 600$  куб. мтр. и для втораго отростка  $Q_2 = 1800$  куб. мтр. при напорѣ у начала магистрали  $H_0 = 50$  м/м. вод. ст. и при условіи, что отростки заканчиваются расходящимися конусами въ  $30^\circ$ .

Опредѣлить діаметры магистрали  $d_0$  и отростковъ  $d_1$  и  $d_2$  такъ, чтобы вѣсь всего трубопровода былъ наименьшій?



Фиг. 3.

Въ вопросѣ задачи поставлено дополнительное условіе минимума вѣса всего трубопровода; безъ этого условія или какого нибудь иного дополнительнаго условія задача остается неопредѣленной, такъ какъ въ ней есть одна лишняя неизвѣстная величина, а именно напоръ у развѣтвленія  $H_1$ , который является четвертой неизвѣстной, а уравненій мы можемъ написать только три.

Безъ дополнительнаго условія задача, слѣдовательно, можетъ имѣть сколько угодно рѣшеній.

Условіе минимума вѣса всего трубопровода при одинаковой толщинѣ стѣнокъ трубъ, что обыкновенно и бываетъ, сводится къ тому, чтобы выраженіе  $\sum d \times L$  было минимальнымъ.

Задача эта должна быть рѣшена въ двухъ приближеніяхъ, такъ какъ въ первомъ приближеніи мы не въ состояніи напередъ учесть коэффициентовъ сопротивленій Карно Борда при развѣтвленіи трубопровода; эти коэффициенты для перваго приближенія положимъ равными нулю.

При помощи нашей діаграммы эта сложная задача рѣшается очень просто и сравнительно быстро.

Найдемъ діаметры трубъ  $d_0$ ,  $d_1$  и  $d_2$  въ предположеніи различныхъ напоровъ у развѣтвленія  $H_1$ , а именно, положивъ послѣдовательно эту величину равной 40, 30, 20 и 10 м/м. вод. ст.

Всѣ величины, необходимыя для нахождения этихъ діаметровъ въ первомъ и второмъ приближеніяхъ равно, какъ и найденные по діаграммѣ діаметры помещаемъ въ одной таблицѣ:

	Магистраль.				1-ый отростокъ.				2-ой отростокъ.				
	$Q_0 = 2400 \text{ м}^3; L_0 = 14.3 \text{ м.}$				$Q_1 = 600 \text{ м.}^3; L_1 = 10.5 \text{ м.}$				$Q_2 = 1800 \text{ м}^3; L_2 = 20.0 \text{ м.}$				
$H_1 =$	40	30	20	10	40	30	20	10	40	30	20	10	
1-ое приближение.	$T \times 10^{-4}$	57.60	28.80	19.20	14.40	0.90	1.20	1.80	3.60	8.10	10.80	16.20	32.40
	R	1.00	1.00	1.00	1.00	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
	A	47.50	23.80	15.80	11.90	1.28	1.71	2.56	5.13	11.50	15.40	23.10	46.10
	B	136.00	68.00	45.30	34.00	1.56	2.08	3.11	6.23	26.80	35.70	53.50	107.00
	p	5.56	4.57	3.98	3.57	0.36	0.77	1.36	2.36	3.52	3.94	4.53	5.52
	q	7.07	6.08	5.50	5.08	0.64	1.06	1.64	2.64	4.75	5.15	5.73	6.74
	d	3.09	2.65	2.41	2.26	1.27	1.35	1.48	1.72	2.20	2.34	2.57	3.02
У мтр.	0.97	0.83	0.76	0.71	0.40	0.42	0.46	0.54	0.69	0.74	0.81	0.95	
в мтр. сек.	8.90	12.10	14.60	16.60	13.20	11.60	9.70	7.20	13.10	11.60	9.60	7.90	
$z_1 \times 10^4$	38	38	38	38	43	43	43	43	38	38	38	39	
$\frac{z_1}{z_0}$ и $\frac{v_2}{v_0}$	—	—	—	—	1.48	0.96	0.66	0.43	1.47	0.96	0.66	0.42	
$\zeta$ —Борда	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.05	0.56	1.97	0.12	0.05	0.56	2.10	
$R_1 = R + \frac{z}{2}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.85	1.78	2.29	3.70	1.85	1.78	2.29	3.83	
2-ое приближение.	$\Delta p$	0.00	0.00	0.00	0.00	+0.10	+0.04	+0.40	+1.10	+0.10	+0.04	+0.40	+1.14
	$\Delta q$	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.40	-0.40	-0.40	-0.36
	p	5.56	4.57	3.98	3.57	0.46	0.81	1.76	3.46	3.62	3.98	4.93	6.66
	q	6.67	5.68	5.10	4.68	0.42	0.84	1.42	2.42	4.35	4.75	5.33	6.38
	d	3.00	2.56	2.34	2.20	1.26	1.31	1.50	1.94	2.16	2.28	2.60	3.34

Въ этой таблицѣ всѣ диаметры трубъ получены въ дециметрахъ.

Значенія показателей  $p$  и  $q$  для второго приближенія найдены путемъ поправокъ  $\Delta p$  и  $\Delta q$ .

Эти поправки, какъ легко сообразить изъ основныхъ выраженій для  $p$  и  $q$ , вычисляются по слѣдующимъ простымъ формуламъ:

$$\left. \begin{aligned} \Delta p &= 3.32 \lg \frac{R_1}{R} \\ \Delta q &= 3.32 \lg \frac{\rho_1 \times 10^4}{50} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

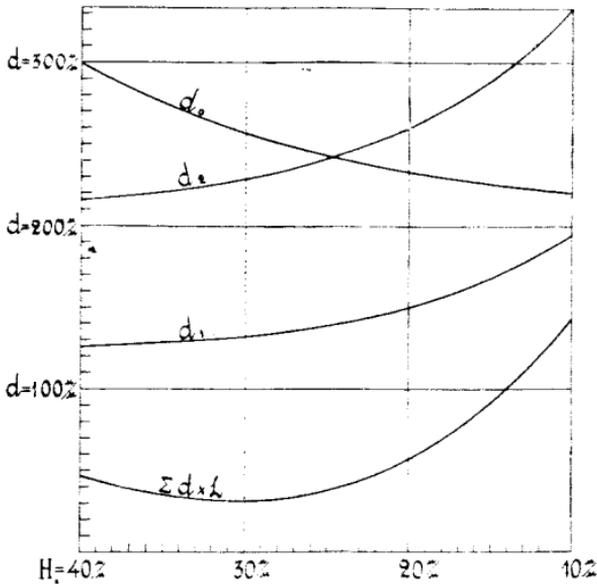
Эти формулы полезно имѣть въ виду для рѣшенія задачъ во второмъ приближеніи при помощи діаграммы.

Опредѣливъ теперь діаметры трубъ, составимъ для каждаго значенія  $H_1$  сумму  $\Sigma d \times L$ .

$H_1$	$d_0 \times L_0$	$d_1 \times L_1$	$d_2 \times L_2$	$\Sigma d \times L$
40	42.9	13.2	43.2	99.3
30	36.6	13.8	45.6	96.0
20	33.4	15.8	52.0	101.2
10	31.4	20.4	66.8	118.6

Изъ этой таблицы видимъ, что условіе минимума вѣса выполняется при значеніи  $H_1$  около 30 м/м.

Для болѣе правильнаго опредѣленія величины  $H_1$ , соотвѣтствующей минимуму вѣса, построимъ вспомогательную діаграмму, изображенную на фиг. 4, значеній  $\Sigma d \times L$  и попутно значеній  $d_0$ ,  $d_1$  и  $d_2$  для различныхъ значеній  $H_1$ .



Фиг. 4.

Изъ діаграммы фиг. 4 видимъ, что значеніемъ  $H_1$ , соответствующимъ минимуму вѣса, можно считать 30 м/м.

Слѣдовательно искомыя діаметры трубъ будутъ:

$$d_0 = 256 \text{ м/м.}$$

$$d_1 = 131 \text{ м/м.}$$

$$d_2 = 228 \text{ м/м.}$$

Такимъ образомъ поставленная выше задача рѣшена.

Сравнивая величины  $\Sigma d \times L$ , характеризующія вѣсъ трубопровода, мы видимъ, что, если бы напоръ  $H_1$  былъ взятъ равнымъ 10 м/м. вмѣсто 30 м/м., мы получили бы трубопроводъ тяжелѣе на

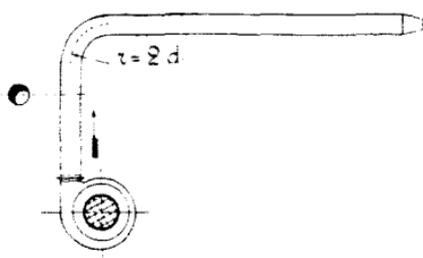
$$\frac{118.6 - 96.0}{96.0} 100 = \sim 23\%.$$

Изъ этого сравненія видно, насколько цѣлесообразно вводить въ условіе расчетовъ трубопроводовъ судовой вентиляции требованіе минимума вѣса.

Покажемъ теперь еще на нѣкоторыхъ примѣрахъ, какимъ образомъ можно использовать уравненіе вида (8) для рѣшенія другихъ задачъ, могущихъ часто имѣть мѣсто при расчетахъ судовой вентиляціи.

**Задача 4.** Вентиляторъ съ часовой подачей  $Q=3000$  куб. мтр. и давленіемъ  $H=100$  м/м. долженъ подавать указанное количество воздуха по трубопроводу круглаго сѣченія, схематически изображенному на фиг. 5, заданнаго діаметра  $d=300$  м/м. и длины  $L=15.0$  мтр.

Опредѣлить, какую насадку нужно имѣть на концѣ трубопровода, чтобы условія задачи были выполнены?



Фиг. 5.

Рѣшеніе предлагаемой задачи, очевидно, сводится къ отысканію величины коэффициента мѣстныхъ сопротивленій  $R$ , или иначе говоря, коэффициента  $A$  уравненія (8).

Находимъ сперва величину коэффициента  $B$ . Для этого вычисляемъ

$$T = \frac{Q^2}{H} = \frac{3000^2}{100} = 90000$$

Опредѣляемъ далѣе скорость теченія воздуха по трубѣ; имѣемъ

$$v = 3.535 \frac{Q}{d^2} = \frac{3\,535 \times 3000}{900} = 11.8 \text{ мтр./сек.}$$

При этой скорости и периметрѣ сѣченія трубы  $C=0.94$  мтр., по таблицѣ I приложенія находимъ

$$\rho_1 = 37 \times 10^{-4}$$

Предполагая діаметръ трубы  $d$  выраженнымъ въ дециметрахъ и вводя исправленный коэффициентъ

тренія, вычислимъ величину коэффиціента  $B$ ; получимъ

$$B = 1.647 \text{ TL} \times 0.74 \times 10^{-5} = 1.647 \times 0.9 \times 0.74 \times 15 = 16.4.$$

Слѣдовательно величина коэффиціента  $A$  будетъ:

$$A = \frac{d^5 - B}{d} = \frac{243.0 - 16.4}{3.0} = \frac{226.6}{3.0} = 75.5$$

Далѣе имѣемъ

$A = 0.824 \text{ TR} = 75.5$ , откуда находимъ интересующую насъ величину  $R$

$$R = \frac{75.5}{0.824 \times 9} = 10.10$$

Таковъ долженъ быть коэффиціентъ  $R$  мѣстныхъ сопротивленій, чтобы удовлетворить требуемому установившемуся движенію воздуха.

Въ разсматриваемомъ трубопроводѣ коэффиціентъ мѣстныхъ сопротивленій составляетъ всего величину  $R_1 = 1.20$  (скорость и отводъ).

Слѣдовательно, коэффиціентъ сопротивленія насадки долженъ быть

$$\xi = R - R_1 = 10.10 - 1.20 = 8.90$$

По таблицѣ VII приложенія находимъ подходящую насадку съ сопротивленіемъ  $\xi = 8.70$ , для которой

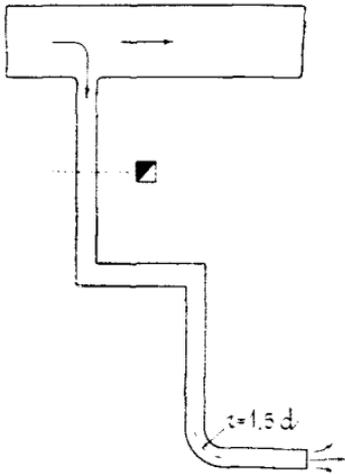
$$d_1 = 0.61 \quad d = 0.61 \times 300 = \sim 183 \text{ м/м.}$$

причемъ длина насадки будетъ равна 300 м/м.

Очевидно, что вмѣсто насадки, мы могли бы для

полученія нужной намъ величины  $R$  поставить на конецъ трубы діафрагму (табл. V).

**Задача 5.** Дано отвѣтвление отъ магистральнаго трубопровода, схематически изображенное на фиг. 6; сѣченіе этого отвѣтвления квадратъ со стороной  $a = 200$  м. м. при длинѣ его  $L = 12.0$  мтр.



Фиг. 6.

Опредѣлить, какое давленіе  $H$  должно быть у начала отвѣтвления, чтобы по нему протекало въ часъ количество воздуха  $Q = 1700$  куб. метр.?

Рѣшеніе задачи сводится къ опредѣленію величины  $T$ .

Составимъ таблицу мѣстныхъ сопротивленій.

№№	Названіе потерь и сопротивленій.	Значенія $\xi$ .
1	Скорость . . . . .	1.00
2	Сопротивленіе входу. . . . .	0.51
3	2 угловыхъ колѣна въ $90^\circ$ . . . . .	2.20
4	1 отводъ въ $90^\circ$ ( $r = 1.5a$ ) . . . . .	0.20
5	Выходъ въ атмосферу . . . . .	1.00
	$R =$	4.91

Опредѣлимъ теперь скорость течения воздуха по отвѣтвленію: имѣемъ

$$v = 2.780 \frac{Q}{\pi a^2} = \frac{2.78 \times 1700}{400} = 11.8 \text{ мтр./сек.}$$

При этой скорости и периметръ сѣченія отвѣтвленія  $U = 0.8$  мтр., по таблицѣ I приложенія находимъ

$$\rho_1 = 38 \times 10^{-4}$$

Предполагая размѣръ  $a$  стороны квадрата выраженнымъ въ сантиметрахъ и вводя исправленный коэффициентъ тренія, мы можемъ для рассматриваемаго случая написать уравненіе (8) въ такомъ видѣ:

$$\begin{aligned} a^5 &= 0.508 T \left( \frac{Ra}{n^2} + 0.76 \frac{n+1}{n^3} L \right) = \\ &= 0.508 T (Ra + 1.52 L) \end{aligned}$$

Опредѣляя отсюда величину  $T$  и дѣлая числовыя подстановки для величинъ  $a$ ,  $R$  и  $L$ , получимъ

$$\begin{aligned} T &= \frac{a^5}{0.508 (Ra + 1.52 L)} = \frac{32 \times 10^5}{0.508 (4.91 \times 20 + 1.52 \times 12)} = \\ &= \frac{32 \times 10^5}{0.508 \times 116.4} = 54200 \end{aligned}$$

Зная величину  $T$ , легко получаемъ искомый напоръ  $H$ , имѣемъ

$$H = \frac{Q^2}{T} = \frac{1700^2}{54200} = \sim 53 \text{ м/м. вод. ст.}$$

Предложенныя вниманію читателя послѣднія двѣ задачи, конечно, могли бы быть рѣшены, исходя изъ обычнаго вида уравненія движенія жидкостей по трубамъ, написаннаго нами въ началѣ книги подъ обозначеніемъ (1').

Мы отказались отъ этого способа рѣшенія, полагая, что въ техническихъ расчетахъ, подобныхъ расчетамъ трубопроводовъ, желательно по возможности вездѣ пользоваться одними и тѣми же приемами.

Въ заключеніе скажемъ, что изъ разобранныхъ выше примѣровъ видно, что въ большинствѣ задачъ можно для цѣлей практики довольствоваться первымъ приближеніемъ рѣшенія и, что второе приближеніе слѣдуетъ находить только въ тѣхъ случаяхъ, когда ожидается чрезмѣрно большая разница между рѣшеніями того и другого приближеній ( $\gt 5\%$ ) или же, когда первое приближеніе дастъ размѣры трубъ завѣдомо меньше, нежели второе.

Въ послѣднемъ случаѣ второе приближеніе является необходимымъ въ связи съ требованіемъ, чтобы отдѣльныя количества воздуха, подаваемые трубопроводами въ различныя помѣщенія, не были нигдѣ менѣе напередъ заданныхъ величинъ.

Нужно полагать, что число случаевъ, требующихъ второго приближенія рѣшенія, будетъ ограничено.

Если бы этого и не было, мы видѣли, насколько легко и быстро можно получить при помощи нашего метода рѣшеніе во второмъ приближеніи, дающемъ точность, уже превосходящую практически потребную.

**В. Поздюнинъ.**

С.-Петербургъ.

9 мая 14 г.

## П Р И Л О Ж Е Н І Е.

Вспомогательныя формулы и таблицы для  
расчетовъ судовой вентидяціи.

# I. Вспомогательныя формулы.

Обозначенія.

$Q$ —количество воздуха въ куб. мтр. въ часъ.

$H$ —избытокъ напора въ м. м. вод. столба.

при температурѣ воздуха  $t=0^{\circ} C$ .

$v$ —скорость теченія воздуха въ мтр. въ сек.

$x = \left\{ \begin{array}{l} d \text{ и } D \text{—дiаметръ трубъ и отверстiй въ метри-} \\ \text{ческихъ мѣрахъ.} \\ a \text{—меньшая сторона прямоугольнаго сѣченiя} \\ \text{трубъ и отверстiй въ метрическихъ мѣрахъ.} \end{array} \right.$

$n$ —отношенiе сторонъ прямоугольнаго сѣченiя,  
причемъ  $n \geq 1$ .

$U$ —длина периметра сѣченiя трубъ въ мтр.

$L$ —длина трубъ въ мтр.

$\rho$ —коэффициентъ тренiя при движенiи воздуха  
по металлическимъ трубамъ.

$R$ —сумма коэффициентовъ мѣстныхъ сопротивленiй  
(включая потерю на скорость=1.00)

$A$  и  $B$ —коэффициенты уравненiя:  $x^2 = Ax + B$ .

## Формулы.

№№	Для трубъ круглаго сѣченiя.	Для трубъ прямоугольнаго сѣченiя.
I	$v = 3.535 \frac{Q}{a^2}$	$v = 2.780 \frac{Q}{na^2}$
II	$d = 1.880 \sqrt{\frac{Q}{v}}$	$a = 1.668 \sqrt{\frac{Q}{nv}}$
III	$U = \pi d$ въ мтр.	$U = 2(n+1)a$ въ мтр.

№№	Для трубъ круглаго сѣченія.	Для трубъ прямоугольнаго сѣченія.
IV	$T = \frac{Q^2}{H}$	$T = \frac{Q^2}{H}$
V	$A = 0.824 TR$ для см. $A = 0.824 TR \times 10^{-4}$ для дцм. $A = 0.824 TR \times 10^{-8}$ для мтр.	$A = 0.508 \frac{TR}{n^2}$ . . для см. $A = 0.508 \frac{TR}{n^2} \times 10^{-4}$ для дцм. $A = 0.508 \frac{TR}{n^2} \times 10^{-8}$ для мтр.
VI	$B = 1.647 TL$ для см. $B = 1.647 TL \times 10^{-5}$ для дцм. $B = 1.647 TL \times 10^{-10}$ для мтр.	$B = 0.508 \frac{n+1}{n^3} TL$ для см. $B = 0.508 \frac{n+1}{n^3} TL \times 10^{-5}$ для дцм. $B = 0.508 \frac{n+1}{n^3} TL \times 10^{-10}$ для мтр.
VII	$p = 3.32 \lg A; \angle p = 3.32 \lg \frac{R_1}{R}$ $q = 3.32 \lg B; \triangle q = 3.32 \lg \frac{2, \sqrt{10}}{50}^4$	

Прочія формулы, въ которыхъ можетъ встрѣтиться надобность при расчетахъ судовой вентиляціи, будутъ помѣщены при соответствующихъ таблицахъ.

## II. Вспомогательныя таблицы.

Коэффициенты тренія $\rho \times 10^4$ при движеніи воздуха по металлическимъ трубамъ . . . . .	табл. I
Коэффициенты сопротивленія колѣнъ и отводовъ . . . . .	табл. II
Коэффициенты сопротивленія при внезап- ныхъ измѣненіяхъ скоростей . . . . .	табл. III
Коэффициенты сопротивленія переходныхъ конусовъ отъ одного сѣченія трубо- провода къ другому . . . . .	табл. IV

### I. Коэффициенты сопротивленія выходу воздуха въ атмосферу:

#### A. Насадки и отверстія на концахъ трубъ.

Коэффициенты сопротивленія діафрагмъ . . . . .	табл. V
Коэффициенты сопротивленія коническихъ расходящихся насадокъ . . . . .	табл. VI
Коэффициенты сопротивленія коническихъ сходящихся насадокъ . . . . .	табл. VII

#### B. Насадки и отверстія на стѣнкахъ трубъ и большихъ резервуаровъ.

Коэффициенты сопротивленія отверстій и цилиндрическихъ насадокъ . . . . .	табл. VIII
Коэффициенты сопротивленія коническихъ расходящихся насадокъ . . . . .	табл. IX
Коэффициенты сопротивленія коническихъ сходящихся насадокъ . . . . .	табл. X

**II. Коэффициенты сопротивленія входу воздуха  
въ трубы и отвѣтвленія . . . . . табл. XI**

---

Коэффициенты сопротивленія сѣтокъ, рѣше-  
токъ и броневыхъ колосниковъ . . . . . табл. XII

Переводъ скоростей воздуха въ напоры и  
обратно . . . . . табл. XIII

Поправочные множители  $K$  напоровъ  $H$ ,  
скоростей  $v$  и коэффициентовъ  $A$  и  $B$   
для разныхъ температуръ воздуха въ  
градусахъ Цельзія . . . . . табл. XIV

Четырехзначные Бригговы логариемы табл. XV

---

ТАБЛИЦА I.

Коэффициенты трения  $\rho \times 10^4$  при движении воздуха по металлическимъ трубамъ

$$0.1 \leq U \leq 1.1$$

Скорости V въ мтр./сек.	Периметры сѣченія трубъ U въ метрахъ.											Скорости V въ мтр./сек.
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	
1	173	113	92	82	76	72	69	67	65	64	63	1
2	119	80	67	61	57	54	53	51	50	49	49	2
3	101	69	59	54	51	48	47	46	45	44	44	3
4	92	64	55	50	47	45	44	43	42	42	41	4
5	86	61	52	48	45	44	42	42	41	40	40	5
6	83	59	50	47	44	43	41	40	40	39	39	6
7	80	57	49	45	43	42	41	40	39	39	38	7
8	78	56	48	45	42	41	40	39	38	38	38	8
9	77	55	48	44	42	40	39	39	38	38	37	9
10	76	54	47	44	42	40	39	38	38	37	37	10
11	75	54	47	43	41	40	39	38	37	37	37	11
12	74	53	46	43	41	40	39	38	37	37	37	12
13	73	53	46	43	41	39	38	38	37	37	37	13
14	72	52	46	42	40	39	38	37	37	36	36	14
15	72	52	46	42	40	39	38	37	37	36	36	15
16	71	52	45	42	40	39	38	37	37	36	36	16
17	71	52	45	42	40	39	38	37	36	36	36	17
18	71	51	45	42	40	38	38	37	36	36	36	18
19	70	51	45	42	40	38	38	37	36	36	36	19
20	70	51	45	42	40	38	37	37	36	36	36	20
21	70	51	44	41	39	38	37	37	36	36	35	21
22	69	51	44	41	39	38	37	36	36	36	35	22
23	69	50	44	41	39	38	37	36	36	36	35	23
24	69	50	44	41	39	38	37	36	36	35	35	24
25	69	50	44	41	39	38	37	36	36	35	35	25
26	69	50	44	41	39	38	37	36	36	35	35	26
27	69	50	44	41	39	38	37	36	36	35	35	27
28	68	50	44	41	39	38	37	36	36	35	35	28
29	68	50	44	41	39	38	37	36	36	35	35	29
30	68	50	44	41	39	38	37	36	36	35	35	30

$$1.1 \leq U \leq 2.1$$

Скорости V въ мтр./сек.	Периметры сѣченія трубъ U въ метрахъ.											Скорости V въ мтр./сек.
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	
1	63	62	62	61	60	60	59	59	59	58	58	1
2	49	48	48	47	47	47	46	46	46	46	46	2
3	44	43	43	43	43	42	42	42	42	42	41	3
4	41	41	41	41	40	40	40	40	40	39	39	4
5	40	39	39	39	39	39	39	38	38	38	38	5
6	39	39	39	38	38	38	38	38	37	37	37	6
7	38	38	38	38	38	37	37	37	37	37	37	7
8	38	37	37	37	37	37	37	36	36	36	36	8
9	37	37	37	37	37	36	36	36	35	36	36	9
10	37	37	37	37	36	36	36	36	36	36	36	10
11	37	37	37	36	36	36	36	36	36	35	35	11
12	37	36	36	36	36	36	35	35	35	35	35	12
13	37	36	36	36	36	36	35	35	35	35	35	13
14	36	36	36	36	36	35	35	35	35	35	35	14
15	36	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35	15
16	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35	35	16
17	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35	34	17
18	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35	34	18
19	36	35	35	35	35	35	35	35	34	34	34	19
20	36	35	35	35	35	35	35	35	34	34	34	20
21	35	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34	21
22	35	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34	22
23	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34	34	23
24	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34	34	24
25	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34	34	25
26	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34	34	26
27	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34	33	27
28	35	35	34	34	34	34	34	34	34	33	33	28
29	35	35	34	34	34	34	34	34	34	33	33	29
30	35	35	34	34	34	34	34	34	34	33	33	30

Коэффициенты тренія вычислены по формуль Rietschel'я

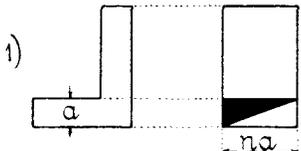
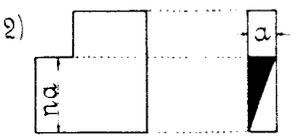
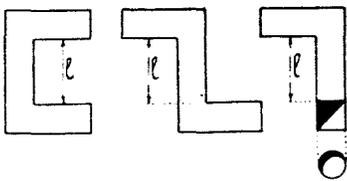
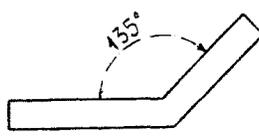
$$\rho \times 10^4 = 30.90 + \frac{20.90}{v} + \frac{3.37}{u} + \frac{8.78}{vu}, \text{ гдѣ}$$

$v$ —скорость теченія воздуха въ мтр. въ сек. и

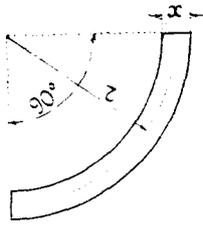
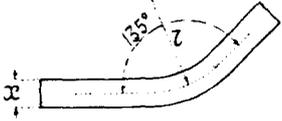
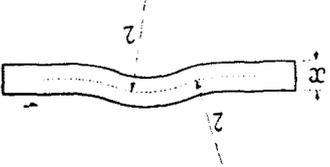
$u$ —периметръ сѣченія трубы въ мтр.

## ТАБЛИЦА II.

## Коэффициенты сопротивления колѣнъ и отводовъ.

Назменаванія и эскпы колѣнъ и отводовъ.	Различные частные случаи.	Значенія $\xi$ .
<p>I. Угловыя колѣна подь 90°.</p> <p>1) </p> <p>2) </p>	<p>a) Для круглыхъ и квадратныхъ трубъ . . . . .</p> <p>b) Для трубъ прямоугольнаго сѣченія:</p> <p>1) Изгибъ въ плоскости меньшей стороны <math>a</math> . . . . .</p> <p>2) Изгибъ въ плоскости большей стороны <math>na</math> . . . . .</p>	<p>1.10</p> <p>1.10</p> <p><math>1.10 + \frac{n-1}{2}a</math></p>
<p>II. Двойныя угловыя колѣна подь 90°.</p> <p></p>	<p>Для произвольнаго взаимнаго расположенія для <i>одного</i> колѣна для разныхъ <math>l</math>:</p> <p><math>0 &lt; l \leq 3a</math> . . . . .</p> <p><math>3a &lt; l \leq 5a</math> . . . . .</p> <p><math>5a &lt; l \leq 8a</math> . . . . .</p> <p><math>8a &lt; l \leq \infty</math> . . . . .</p>	<p>*)</p> <p>1.50 <math>\xi l</math></p> <p>1.50 <math>\xi l</math></p> <p>1.30 <math>\xi l</math></p> <p>1.00 <math>\xi l</math></p>
<p>III. Угловыя колѣна подь 135°.</p> <p></p>	<p>Для трубъ круглаго и прямоугольнаго сѣченій . . . . .</p>	<p>0.30</p>

\*) Значенія  $\xi$  брать для случая I—угловыя колѣна подь 90°.

Наименованія и эскизы колънъ и отводовъ.	Различные частные случаи.	Значеніе $\xi$ .
<p data-bbox="164 287 377 317"><b>IV. Отводы въ 90°.</b></p> 	<p data-bbox="484 287 877 355">Для произвольныхъ сѣченій и взаимнаго расположенія для одного отвода для разныхъ <math>r</math>:</p> <p data-bbox="606 370 877 400"><math>r = x</math> . . . . . 0.25</p> <p data-bbox="563 415 877 446"><math>x &lt; r \leq 2x</math> . . . . . 0.20</p> <p data-bbox="547 461 877 491"><math>2x &lt; r \leq 4x</math> . . . . . 0.15</p> <p data-bbox="547 506 877 536"><math>4x &lt; r \leq 5x</math> . . . . . 0.12</p> <p data-bbox="547 551 877 582"><math>5x &lt; r \leq 6x</math> . . . . . 0.07</p> <p data-bbox="547 597 877 627"><math>6x &lt; r \leq \infty</math> . . . . . 0.00</p>	
<p data-bbox="164 657 377 687"><b>V. Отводы въ 135°.</b></p> 	<p data-bbox="484 665 877 718">Для трубъ круглаго и прямоугольнаго сѣченій для одного отвода</p> <p data-bbox="547 733 877 763">для <math>r \leq 3x</math> . . . . . 0.15</p>	
<p data-bbox="148 869 399 899"><b>VI. Обходные отводы.</b></p> 	<p data-bbox="484 869 877 922">Для трубъ произвольнаго сѣченія для одного отвода для разныхъ <math>r</math>:</p> <p data-bbox="553 937 877 967"><math>0 &lt; r \leq 3x</math> . . . . . 0.40</p> <p data-bbox="553 982 877 1013"><math>3x &lt; r \leq 8x</math> . . . . . 0.25</p> <p data-bbox="553 1028 877 1058"><math>8x &lt; r \leq 12x</math> . . . . . 0.10</p> <p data-bbox="542 1073 877 1103"><math>12x &lt; r \leq \infty</math> . . . . . 0.00</p>	

Для произвольнаго числа колънъ или отводовъ данныя величины  $\xi$  слѣдуетъ складывать.

## ТАБЛИЦА III.

Коэффициенты сопротивления при внезапных изменениях скоростей.

(Потери Карно-Борда).

$\frac{v_1}{v_0}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.1	80.50	65.00	53.50	44.40	37.40	31.80	27.40	23.50	20.50	18.00
0.2	15.80	13.90	12.40	11.10	9.90	8.88	8.00	7.23	6.53	5.95
0.3	5.41	4.95	4.51	4.13	3.81	3.51	3.24	3.00	2.77	2.58
0.4	2.41	2.24	2.10	1.97	1.84	1.73	1.63	1.54	1.45	1.35
0.5	1.28	1.21	1.15	1.09	1.03	0.98	0.93	0.88	0.83	0.79
0.6	0.75	0.71	0.68	0.65	0.62	0.59	0.56	0.54	0.51	0.48
0.7	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
0.8	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.14
0.9	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.02	0.01
1.	0.00	0.03	0.05	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19
2.	0.20	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29
3.	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33	0.33	0.34	0.34	0.35	0.35
4.	0.36	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39
5.	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41
6.	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43
7.	0.43	0.43	0.43	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
8.	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
9.	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46

Всѣ коэффициенты таблицы даны для отношеній послѣдующей скорости  $v_1$  къ предыдущей  $v_0$  и величины этихъ коэффициентовъ всегда относятся къ послѣдующей скорости  $v_1$ .

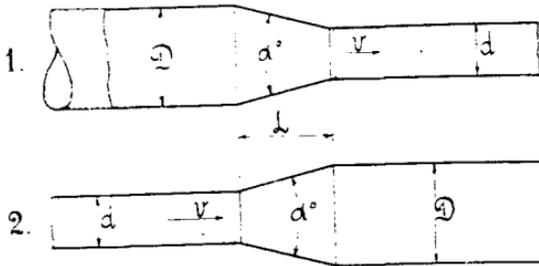
Потери Карно-Борда существуютъ всякій разъ, какъ происходитъ внезапное измененіе скорости и, слѣдовательно, онѣ должны учитываться:

- 1) при явныхъ измененіяхъ сѣченій трубопроводовъ
- 2) при неявныхъ измененіяхъ этихъ сѣченій, какъ-то: при узлахъ развѣтвленій, отвѣтвленій и т. д.

## ТАБЛИЦА IV.

Коэффициенты сопротивления переходных конусовъ отъ одного сѣченія трубопровода къ другому.

(Для круглыхъ трубъ)



$\alpha$	Сходящиеся конуса.	Расходящиеся конуса.	$\alpha'$	Сходящиеся конуса.	Расходящиеся конуса.
	$\xi_1$	$\xi_2$		$\xi_1$	$\xi_2$
7°	0.16	0.22	50°	0.31	0.91
10°	0.16	0.46	55°	0.31	0.91
15°	0.18	0.54	60°	0.32	0.91
20°	0.20	0.60	65°	0.33	0.91
25°	0.22	0.67	70°	0.34	0.91
30°	0.24	0.73	75°	0.34	0.91
35°	0.26	0.79	80°	0.35	0.91
40°	0.28	0.84	85°	0.36	0.91
45°	0.30	0.88			

Коэффициенты  $\xi_1$  и  $\xi_2$  слѣдуетъ всегда относить къ участку трубопровода съ большей скоростью, т.-е. къ меньшему сѣченію этого трубопровода.

Коэффициенты  $\xi_1$  и  $\xi_2$  учитываютъ:

- 1) измѣненіе скорости,
- 2) треніе.

Выборъ угла растворенія конусовъ  $\alpha$  слѣдуетъ сообразовать съ длиной этихъ конусовъ  $L$ , руководствуясь формулой:

$$L = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} (D - d).$$

Коэффициенты  $\xi_1$  и  $\xi_2$  имѣютъ мѣсто для конусовъ длиной  $L \geq d$ ; высшій предѣлъ длины безразличенъ.

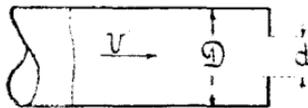
## Коэффициенты сопротивления выходу воздуха в атмосферу.

А. Насадки и отверстия на концах трубъ.

ТАБЛИЦА V.

Коэффициенты сопротивления диафрагмъ.

(Для круглыхъ трубъ).



Значения  $\xi$ .

$d/D$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.4	90.0	77.5	67.7	61.2	55.5	51.0	47.5	44.0	41.0	38.1
0.5	35.5	33.1	30.8	28.6	26.7	24.8	23.0	21.5	19.7	18.5
0.6	17.0	15.7	14.5	13.4	12.4	11.5	10.6	10.0	9.2	8.6
0.7	8.0	7.4	6.8	6.4	5.9	5.5	5.1	4.7	4.4	4.1
0.8	3.8	3.5	3.3	3.1	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1
0.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
1.0	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Коэффициенты сопротивления  $\xi$  относятся къ скорости воздуха  $v$  въ самой трубѣ и учитываютъ:

- 1) внезапное измѣненіе скорости,
- 2) выходъ воздуха въ атмосферу.

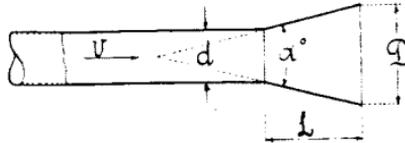
**Частный случай.** При  $d = D$  коэффициентъ сопротивления  $\xi = 1.00$ ; этотъ случай распространяется на трубы съ произвольнымъ поперечнымъ сѣченіемъ и можетъ быть формулированъ такъ:

Коэффициентъ сопротивления выходу воздуха въ атмосферу черезъ трубу всегда равенъ 1.00.

## ТАБЛИЦА VI.

Коэффициенты сопротивления конических расходящихся насадокъ.

(Для круглыхъ трубъ),



$\alpha^\circ$	$\xi$	$\alpha^\circ$	$\xi$	$\alpha^\circ$	$\xi$
7°	0.22	30°	0.73	55°	0.91
10°	0.46	35°	0.79	60°	0.91
15°	0.54	40°	0.84	65°	0.91
20°	0.60	45°	0.88	70°	0.91
25°	0.67	50°	0.91	75°	0.91

Всѣ коэффициенты сопротивления  $\xi$  относятся къ скорости  $v$ —въ самой трубѣ и учитываютъ:

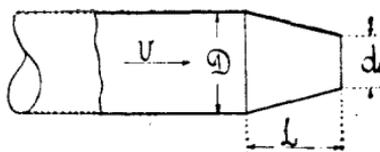
- 1) измѣненіе скорости,
- 2) треніе,
- 3) выходъ воздуха въ атмосферу.

Коэффициенты  $\xi$  имѣютъ мѣсто для насадокъ длиной  $L \geq d$ ; высшій предѣлъ длины насадокъ безразличенъ.

## ТАБЛИЦА VII.

Коэффициенты сопротивленія конических сходящихся насадокъ.

(Для круглыхъ трубъ).



Значенія  $\xi$  для  $L = D$ .

$d/D$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.4	52.2	46.7	41.5	37.5	31.5	27.0	23.7	21.5	19.7	18.3
0.5	17.3	16.4	15.5	14.7	13.9	13.1	12.3	11.6	10.9	10.1
0.6	9.5	8.7	8.2	7.6	7.1	6.6	6.2	5.8	5.4	5.1
0.7	4.8	4.5	4.3	4.1	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	2.9
0.8	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7
0.9	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1
1.0	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Всѣ коэффициенты сопротивленія  $\xi$  относятся къ скорости воздуха  $v$  въ самой трубѣ и учитываютъ:

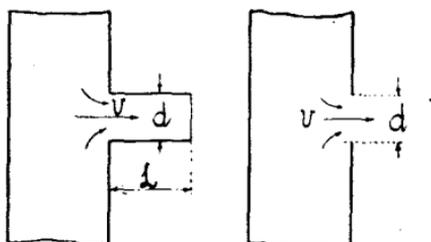
- 1) измѣненіе скорости,
- 2) треніе,
- 3) выходъ воздуха въ атмосферу.

Коэффициенты  $\xi$  справедливы для насадокъ съ острыми краями.

*В. Насадки и отверстия на стѣнкахъ трубъ и большихъ резервуаровъ.*

ТАБЛИЦА VIII.

**Коеффициенты сопротивленія отверстій и цилиндрическихъ насадокъ.**



№№	Названія составляющихъ сопротивленій.	Значенія отношеній $L/d$ .					
		0.00	0.20	0.58	0.97	2.90	$\infty$
1	Отъ сжатія струй . . . . .	1.37	1.37	0.65	0.45	0.45	0.51
2	Потеря на созданіе скорости.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	Сопротивленіе тренія . . . . .	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	УЧИТЫВАТЬ ОСОБО
4	Сопротивл. выхода въ атм. .	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	Общее сопротивленіе $\xi =$ . .	3.37	3.37	2.65	2.45	2.45	—
	Множители $k =$ . . . . .	1.29	1.29	1.22	1.19	1.19	—

Диаметръ отверстія или насадки  $d$  при условіи отсутствія потери на треніе опредѣлится изъ уравненія (8), положивъ въ немъ коеффициентъ  $B = 0$ ; получаемъ слѣдующую формулу:

$$d \text{ въ см.} = \sqrt[4]{A} = \sqrt[4]{0.824 TR} = 0.951 \sqrt[4]{\frac{Q^2}{H} R} =$$

$$= 0.951 \sqrt[4]{\frac{Q^2}{H} \xi} = k \sqrt[4]{\frac{Q^2}{H}}, \text{ гдѣ множитель } k \text{ опредѣ-}$$

$$\text{ляется изъ: } k = 0.951 \sqrt[4]{\xi}; \text{ этотъ множитель вычис-}$$

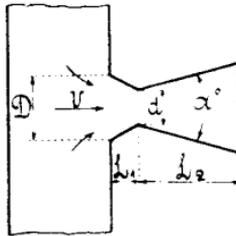
ленъ въ послѣдней строкѣ таблицы для соответствующихъ значеній  $\xi$ .

Не слѣдуетъ забывать, что величина  $H$  должна быть въ данномъ случаѣ, такъ называемымъ, статическимъ напоромъ.

**Практическое замѣчаніе.** Величина  $H$  должна быть такова, чтобы діаметры  $d$  не получались болѣе  $0.75 D$ , т.-е. діаметровъ трубъ, на которыхъ дѣлаются отверстія или насадки.

## ТАБЛИЦА IX.

Коэффициенты сопротивленія конических расходящихся насадокъ.



$\alpha^\circ$	$\xi$	$k$	$\alpha^\circ$	$\xi$	$k$
7°	1.22	1.00	30°	4.05	1.35
10°	2.56	1.20	35°	4.40	1.38
15°	3.00	1.25	40°	4.67	1.40
20°	3.34	1.29	45°	4.90	1.42
25°	3.72	1.32	50°	5.05	1.43

Всѣ коэффициенты сопротивленія  $\xi$  относятся къ скорости  $v$  въ сѣченіи дополнительной насадки діаметромъ  $D$  и учитываютъ рѣшительно всѣ сопротивленія.

Таблица составлена въ предположеніи дополнительной насадки съ угломъ конусности  $\alpha = 30^\circ$  и длиной ея  $L_1 = d$ , для каковыхъ величинъ будемъ имѣть

$$d = 0.65 D.$$

Таблица содержитъ множители  $k$  для опредѣленія діаметровъ  $D$  по формулѣ

$$D \text{ въ смтр.} = k \times \sqrt[4]{\frac{Q^2}{H}}, \text{ гдѣ множитель } k$$

опредѣленъ изъ выраженія, даннаго въ объясненіяхъ къ таблицѣ VIII, относящихся цѣликомъ и къ настоящей таблицѣ. При помощи данныхъ здѣсь насадокъ можно уменьшать для заданныхъ  $Q$  и  $H$  діаметръ вырѣза  $D$  въ трубѣ по сравненію со случаемъ отверстія въ стѣнкѣ трубы безъ насадки.

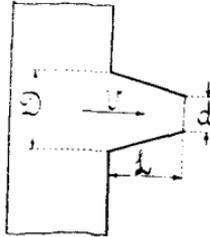
Это слѣдуетъ изъ сравненія множителей  $k$  настоящей таблицы и таблицы VIII.

Коэффициенты  $\xi$  справедливы только для насадокъ съ острыми краями и длиной  $L_2 \overline{\geq} d$ .

---

## ТАБЛИЦА X.

Коеффіцієнти сопротивленія коническихъ сходящихся насадокъ.



$d/D$	$L = 1.00 D.$		$L = 1.25 D.$		$L = 1.50 D.$	
	$\xi$	$k$	$\xi$	$k$	$\xi$	$k$
0.60	7.85	1.59	8.00	1.60	8.10	1.61
0.65	5.75	1.47	5.85	1.48	6.00	1.49
0.70	4.35	1.37	4.35	1.37	4.45	1.38
0.75	3.30	1.28	3.35	1.29	3.40	1.29
0.80	2.55	1.20	2.60	1.21	2.70	1.22
0.85	2.05	1.14	2.10	1.15	2.20	1.16
0.90	1.75	1.10	1.85	1.11	1.90	1.12

Всѣ коеффіцієнти сопротивленія  $\xi$  относятся къ скорости  $v$  въ сѣчені насадки діаметромъ  $D$  и учитываютъ рѣшительно всѣ сопротивленія.

Таблица содержитъ множители  $k$  для опредѣленія діаметровъ  $D$  по формулѣ

$D$  въ смтр. =  $k \times \sqrt[4]{\frac{Q^2}{H}}$ , гдѣ множитель  $k$  опредѣленъ

изъ выраженія, даннаго въ объясненіяхъ къ таблицѣ VIII, относящихся цѣликомъ и къ настоящей таблицѣ. При помощи данныхъ здѣсь насадокъ можно уменьшать для заданныхъ  $Q$  и  $H$  діаметръ вырѣза  $D$  въ трубѣ по сравненію со случаемъ отверстія въ стѣнкѣ трубы безъ насадки.

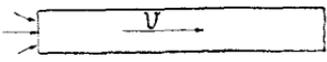
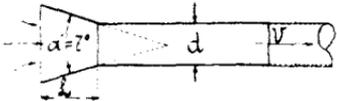
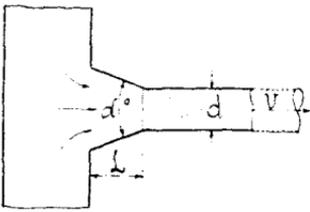
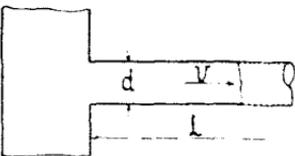
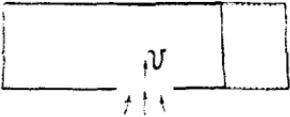
Это слѣдуетъ изъ сравненія множителей  $k$  настоящей таблицы и таблицы VIII.

Коэффициенты  $\xi$  справедливы только для насадокъ съ острыми краями.

---

## ТАБЛИЦА XI.

Коэффициенты сопротивления входу воздуха въ трубы и отвѣтвления.

Эскизы различныхъ случаевъ.	Поясненія.	Значенія $\xi$ .
	Для трубъ произвольнаго сѣченія. . . . .	2.10
	Для угла конусности $\alpha = 7^\circ$ и для $L > d$ . . . . .	0.00
	Для $\alpha = 10^\circ$ . . . . . $= 20^\circ$ . . . . . $= 30^\circ$ . . . . . $= 40^\circ$ . . . . . $= 50^\circ$ . . . . .	0.07 0.04 0.01 0.13 0.57
	При $L > 3d$ . . . . . Для большихъ прямоугольныхъ отвѣтвленій . . . . .	0.51 1.00
	Коэффициенты $\xi$ брать тѣ же, что и для выходныхъ отвѣрстій согласно табл. VIII.	

Всѣ коэффициенты сопротивления  $\xi$  относятся къ скорости  $v$ , представленной на эскизахъ.

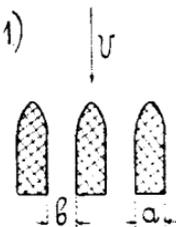
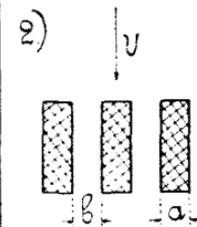
ТАБЛИЦА XII.

### Коэффициенты сопротивления сѣтокъ, рѣшетокъ и броневыхъ колосниковъ.

$F$  — площадь трубы или канала

$S_1$  — площадь отверстій сѣтки или рѣшетки

$S_2$  — полная площадь сѣтки или рѣшетки.

Наименованія.	$S_1, S_2$	$S_1=1.0 F$	$S_2=1.5 F$	
		$\xi$	$\xi$	
<b>I. Сѣтки</b>				
изъ тонкихъ проволокъ съ крупными клетками $> 1$ кв. смтр. . . . .	1.00	0.00	0.00	
<b>II. Рѣшетки . . . . .</b>				
	0.50 0.20	1.50 2.00	0.75 1.00	
<b>III. Броневые колосники.</b>				
	$a$ м. м.	$b$ м. м.	$\xi_1$	$\xi_2$
1) 	25	50	0.50	1.00
	20	40	0.40	0.80
	12	50	0.30	0.40
2) 				

Всѣ коэффициенты сопротивления  $\xi$ ,  $\xi_1$  и  $\xi_2$  относятся къ скорости воздуха  $v$  въ самихъ трубахъ и каналахъ.

Въ устройствахъ судовой вентиляціи рекомендуется ставить сѣтки съ крупными клетками, чтобы сѣтки не засорялись, почему сопротивленіемъ сѣтокъ въ большинствѣ случаевъ можно пренебрегать.

## ТАБЛИЦА XIII.

Переводъ скоростей воздуха  $v$  въ м./сек. въ напоры  $H$  въ м. м. вод. столба при  $t = 0^{\circ}C$  и обратно.

$$(1 \leq v \leq 30).$$

$v$ м./сек.	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	8	.9
1	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.24
2	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.52	0.55
3	0.59	0.63	0.68	0.72	0.76	0.81	0.85	0.90	0.95	1.00
4	1.06	1.11	1.16	1.22	1.28	1.34	1.40	1.46	1.52	1.58
5	1.65	1.72	1.78	1.85	1.93	2.00	2.06	2.14	2.22	2.30
6	2.37	2.45	2.54	2.62	2.70	2.79	2.88	2.96	3.05	3.14
7	3.23	3.32	3.42	3.52	3.61	3.71	3.81	3.91	4.01	4.11
8	4.21	4.33	4.43	4.54	4.65	4.76	4.88	5.00	5.10	5.22
9	5.34	5.45	5.58	5.70	5.82	5.95	6.07	6.20	6.34	6.46
10	6.60	6.73	6.85	7.00	7.13	7.25	7.40	7.55	7.70	7.85
11	7.97	8.10	8.25	8.40	8.56	8.72	8.86	9.02	9.16	9.33
12	9.50	9.65	9.82	10.00	10.20	10.30	10.50	10.60	10.80	11.00
13	11.10	11.30	11.50	11.70	11.80	12.00	12.20	12.40	12.50	12.70
14	12.90	13.10	13.30	13.50	13.70	13.90	14.10	14.20	14.40	14.60
15	14.80	15.00	15.20	15.40	15.60	15.80	16.00	16.20	16.50	16.70
16	16.90	17.10	17.30	17.50	17.70	17.90	18.10	18.40	18.60	18.80
17	19.00	19.20	19.50	19.70	20.00	20.20	20.40	20.60	20.90	21.10
18	21.40	21.60	21.80	22.10	22.30	22.60	22.80	23.00	23.30	23.60
19	23.80	24.00	24.30	24.60	24.80	25.10	25.30	25.60	25.80	26.10
20	26.40	26.60	26.90	27.20	27.40	27.70	28.00	28.20	28.60	28.80
21	29.10	29.40	29.60	29.90	30.20	30.40	30.80	31.00	31.30	31.60
22	31.80	32.20	32.60	32.80	33.10	33.40	33.70	34.00	34.30	34.60
23	34.80	35.20	35.50	35.80	36.10	36.40	36.70	37.00	37.30	37.60
24	38.00	38.30	38.60	38.90	39.20	39.60	39.90	40.20	40.50	40.90
25	41.20	41.50	41.90	42.10	42.50	42.90	43.20	43.50	43.90	44.20
26	44.50	44.90	45.20	45.60	46.00	46.30	46.60	47.00	47.30	47.70
27	48.00	48.40	48.80	49.10	49.50	49.90	50.30	50.60	51.00	51.30
28	51.60	52.00	52.50	52.80	53.20	53.50	54.00	54.30	54.60	55.00
29	55.40	55.90	56.20	56.60	57.00	57.40	57.80	58.10	58.50	59.00
30	59.30	59.80	60.20	60.60	60.90	61.30	61.70	62.10	62.60	63.00

## Т А Б Л И Ц А XIV.

Поправочные множители  $K$  напоров  $H$ , скоростей  $v$  и коэффициентов  $A$  и  $B$  для разных температур воздуха в градусах Цельсия.

$t^{\circ}C$	$K_1$	$K_2$	$t^{\circ}C$	$K_1$	$K_2$	$t^{\circ}C$	$K_1$	$K_2$
-20°	1.079	0.964	20°	0.932	1.036	60°	0.820	1.105
-15°	1.058	0.973	25°	0.917	1.045	65°	0.808	1.112
-10°	1.038	0.982	30°	0.902	1.054	70°	0.796	1.120
-5°	1.018	0.992	35°	0.887	1.061	75°	0.785	1.129
0°	1.000	1.000	40°	0.873	1.070	80°	0.774	1.138
5°	0.982	1.009	45°	0.859	1.080	85°	0.763	1.145
10°	0.965	1.018	50°	0.846	1.088	90°	0.752	1.153
15°	0.948	1.027	55°	0.833	1.096	95°	0.742	1.160

Множители  $K_1$  и  $K_2$  служат для исправления чисел предыдущей таблицы при температурах воздуха  $t$  отличных от  $0^{\circ}C$ ; имеем:

- 1) для заданной скорости  $v$  при  $t^{\circ}C$  напор  $H_t = K_1 \times H_0$
- 2) для заданного напора  $H$  при  $t^{\circ}C$  скорость  $v_t = K_2 \times v_0$

Множитель  $K_1$  служит, кроме того, для исправления коэффициентов  $A$  и  $B$ ; имеем:

$$A_t = K_1 \times A_0 \text{ и } B_t = K_1 \times B_0.$$

Таблица составлена в предположении сухого воздуха и нормального барометрического давления в  $760 \frac{м}{м}$ .

## ТАБЛИЦА XV.

## Четырехзначные Бригговы логарифмы.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	N
<b>0</b>	— ∞	0000	3010	4771	6021	6990	7782	8451	9031	9542	<b>0</b>
1	0000	0414	0792	1139	1461	1761	2041	2304	2553	2788	1
2	3010	3222	3424	3617	3802	3979	4150	4314	4472	4624	2
3	4771	4914	5051	5185	5315	5441	5563	5682	5798	5911	3
4	6021	6128	6232	6335	6435	6532	6628	6721	6812	6902	4
5	6990	7076	7160	7243	7324	7404	7482	7559	7634	7709	5
6	7782	7853	7924	7993	8062	8129	8195	8261	8325	8388	6
7	8451	8513	8573	8633	8692	8751	8808	8865	8921	8976	7
8	9031	9085	9138	9191	9243	9294	9345	9395	9445	9494	8
9	9542	9590	9638	9685	9731	9777	9823	9868	9912	9956	9
<b>10</b>	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	<b>10</b>
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	11
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	12
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	13
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	14
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	15
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	16
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	17
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	18
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	19
<b>20</b>	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	<b>20</b>
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	21
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	22
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	23
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	24
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	25
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	26
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	27
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	28
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	29
<b>30</b>	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	<b>30</b>
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	31
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	32
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	33
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	34
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	35
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	36
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	37
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	38
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	39
<b>40</b>	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	<b>40</b>
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	41
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	42
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	43
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	44
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	45
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	46
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	47
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	48
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	49

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	N
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	50
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	51
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	52
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	53
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	54
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	55
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	56
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	57
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	58
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	59
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	60
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	61
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	62
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	63
64	8062	8069	8075	8082	8089	80.6	8102	8109	8116	8122	64
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	65
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	66
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	67
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	68
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	69
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	70
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	71
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	72
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	73
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	74
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	75
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	76
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	77
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	78
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	79
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	80
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	81
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	82
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	83
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	84
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	85
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	86
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	87
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	88
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	89
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	90
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	91
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	92
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	93
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	94
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	95
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	96
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	97
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	98
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	99