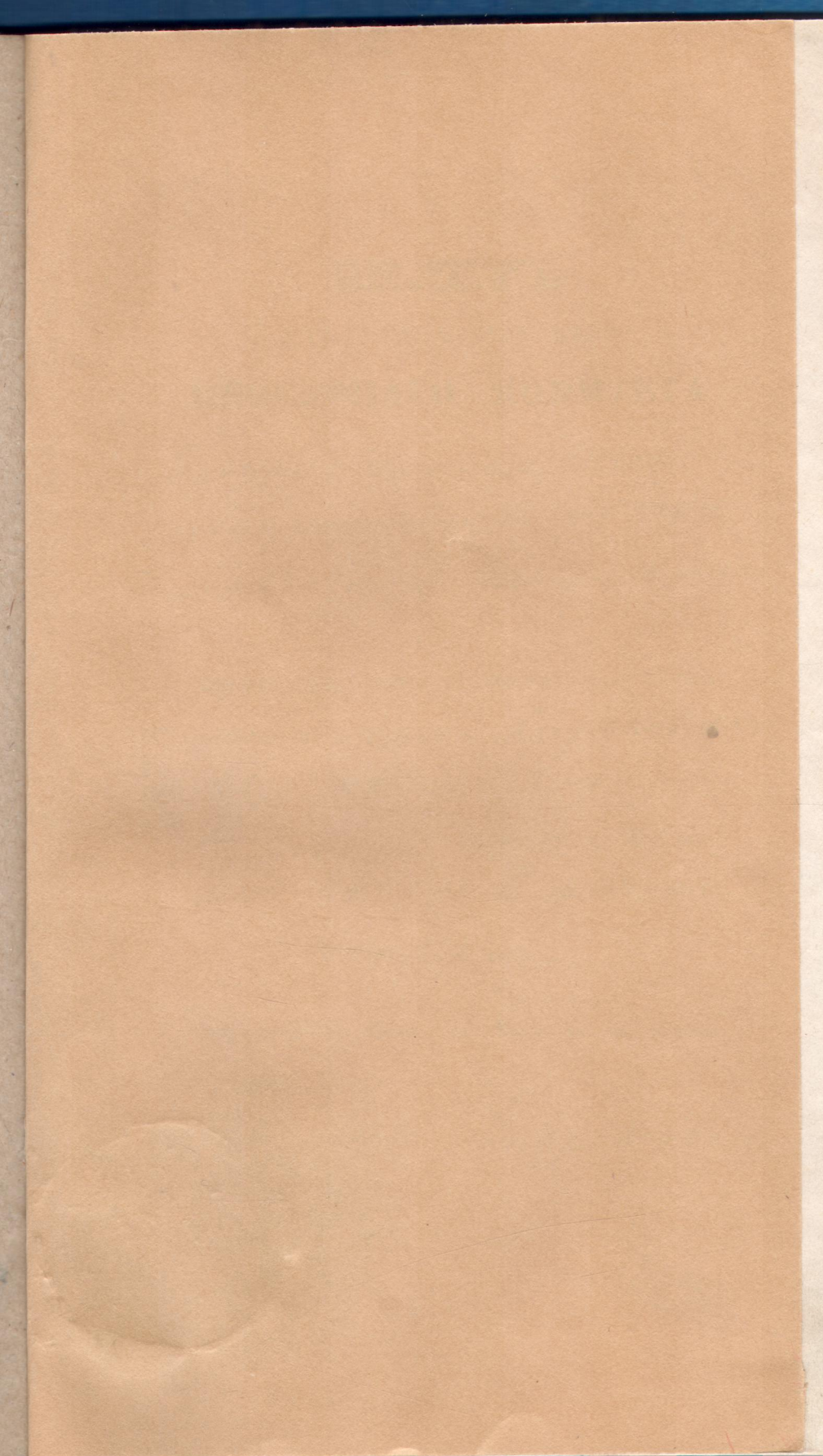


PK-XFY-1

A 426709

5-00



№ 112

БИЛЕТЪ

ИЗЪ С. ПЕТЕРБУРГСКАГО

ЦЕНСУРНАГО КОМИТЕТА

брошюру подъ заглавіемъ: *Теорія
движеній воды въ тру-
бахъ. Соч. Д. Петровскаго.*

№ 8

напечатанную сходно съ приложеннымъ у сего
экземпляромъ въ типографіи *Харьковскаго
университета*

выпустить въ свѣтъ поз-

воляется *Января 2* дня 1852 года.

Ценсоръ

Е. Каннинъ

Слѣдующіе въ Ценсурный Комитетъ экземпляры
получены.

Секретарь

А. А. Графъ



Проверено
ЦМБ
1852

№ 112

ТЕОРІЯ

ДВИЖЕНІЯ ВОДЫ ВЪ ТРУБАХЪ.

Проверено
ЦГБ
1930

2/10/2

1901

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ЕГО ПРЕВОСХОДИТЕЛЬСТВУ,

СЕРГІЮ АЛЕКСАНДРОВИЧУ

КОКОШКИНУ,

*Господину Черниговскому, Полтавскому и Харьковскому
Генералъ-Губернатору, Генералъ-Адъютанту, и разныхъ
Россійскихъ и иностранныхъ Орденовъ Кавалеру.*

ЕТО ПРЕВОСХОДИТЕЛЬСТВО

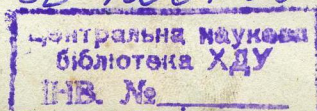
СЕРГЕИ АЛЕКСАНДРОВИЧ

НОШЕНА

Российская империя. Министерство
Внутренних Дел. Департамент
Юстиции. Канцелярия
Генерал-прокурора.

PK(1)

426709



Ваше Превосходительство!

Просвѣщенному вниманію Вашему обязанъ управляемый Вами край, въ особенности городъ Харьковъ, замѣтнымъ улучшеніемъ: общественныя зданія, дороги, мостовыя, набережныя и мосты свидѣтельствуютъ о Вашемъ попеченіи.

Вамъ еще угодно было, къ довершенію всѣхъ о городѣ Харьковѣ попеченій, провести въ 3-й части его воду изъ Карпова источника. Сочувствуя предположенію Вашему, чтобъ облегчить исполненіе проэкта, я составилъ Теорію движенія воды въ водопроводахъ, облекши всѣ законы этого движенія въ простыя Алгебраическія формулы для руководства Техниковъ, которымъ поручено будетъ исполненіе проэкта.

Трудъ мой, въ которомъ руководимъ я былъ желаніемъ общей пользы, примите Ваше Превосходительство, какъ доказательство глубокаго уваженія къ особѣ Вашей.

Вашего Превосходительства,

покорнѣйшій слуга

Дмитрій Петровскій.

1709
1702+

ТЕОРІЯ

ДВИЖЕНІЯ ВОДЫ

ВЪ ТРУБАХЪ.

Инженеръ-Подполковника Петровскаго.

ХАРЬКОВЪ.

ВЪ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ТИПОГРАФІИ.

—
1 8 5 1.

1862
1861

ТЕОРИЯ

ВНЕШНЯЯ ВОДА

ПЕЧАТАТЬ ПОЗВОЛЯЕТСЯ:

съ тѣмъ, чтобы по отпечатаніи представлено было въ Цензурный
Комитетъ узаконенное число экземпляровъ, С.-Петербургъ. 20 Фев-
раля 1851 года.

Ценсоръ Н. Елагинъ.

Императоръ Николай Александровичъ

ХАРАКТЕРЪ

ОБЪЯВЛЕНІЕ

1851

I.

ТЕОРІЯ ДВИЖЕНІЯ ВОДЫ ВЪ ТРУБАХЪ.

I. Общее понятіе о жидкости.

Жидкость въ Механикѣ разсматриваютъ, какъ собраніе матеріальныхъ точекъ неимѣющихъ связи. Достаточно малѣйшаго усилія, чтобы измѣнить взаимное положеніе частицъ жидкости; по тому, что по предположенію принятому въ Механикѣ, частицы жидкости съ своей стороны не оказываютъ ни какого сопротивленія силѣ стремящейся раздвинуть ихъ—или отдѣлить однѣ отъ другихъ. Это свойство жидкостей называютъ удободвижимостію или текучестью. Строго разсматривая, мы не имѣемъ ни одной жидкости вполне обладающей совершенною удободвижимостію. Жидкости, которыя природа представляетъ нашему разсмотрѣнію болѣе или менѣе приближаются къ этому состоянію. Совершенной удободвижимости жидкостей, препятствуетъ сила сцѣпленія существующая между частицами ихъ, она производитъ то, что называютъ вязкостію.

Вообще жидкостей различаютъ два рода собственно жидкости (капельныя) и (воздухообразныя).

II. Объ истеченіи воды чрезъ отверстія.

Скорость истечения.

При изслѣдованіи законовъ истеченія воды изъ сосудовъ чрезъ отверстія, намъ представляется первый вопросъ, съ какою скоростью вода вытекаетъ изъ сосуда?

1.). Скорость истеченія воды изъ сосуда зависитъ: отъ величины давленія, которое оказываетъ вода на площадь сѣченія отверстія, величина же этого давленія зависитъ отъ высоты воды въ сосудѣ и отъ величины площади сѣченія отверстія, то очевидно, что съ измѣненіемъ высоты уровня воды надъ отверстіемъ измѣняется и скорость истеченія.

Теперь рождается вопросъ, какъ измѣняется скорость истеченія при измѣненіи высоты уровня воды надъ отверстіемъ? Теоретически рѣшить этотъ вопросъ можно только посредствомъ высшаго анализа, но еслибъ мы хотѣли его рѣшить посредствомъ опыта, то нужно былобы найти, сколько воды вытечетъ изъ отверстія при извѣстной высотѣ уровня въ единицу времени, потомъ повторить опытъ притомъ же отверстіи но при другой высотѣ, и еслибы при повтореніи опыта въ ту же единицу времени вытекло воды болѣе въ четыре раза, то очевидно, это произошлобы отъ того только, что скорость истеченія воды при повтореніи опыта сдѣлалась въ четыре раза больше, изъ

этого мы моглибы заключить, какъ относятся высоты между собою, когда скорости относятся какъ 1: 4. Опыты нужно производить такъ, чтобы высота уровня въ сосудъ оставалась въ продолженіи опыта одинаковою, тогда они покажутъ, что скорости истечения относятся между собою, какъ корни квадратные изъ высотъ уровня. Пусть v будетъ скорость при высотъ уровня h , и v' при высотъ h' , то $v: v' = \sqrt{h}: \sqrt{h'}$.

Этотъ выводъ мы получили, предполагая, что высота уровня воды въ сосудъ въ продолженіи опыта не измѣняется, то есть когда мы будемъ приливать въ сосудъ столько воды, сколько изъ него вытекаетъ; но съ измѣненіемъ высоты уровня воды надъ отверстіемъ, измѣняется скорость истечения, и отношеніе существующее между скоростью пониженія уровня и скоростью истечения есть слѣдующее: скорость съ которою вода вытекаетъ изъ отверстія въ призматическомъ сосудѣ, относится къ скорости пониженія уровня, какъ площадь сѣченія сосуда—къ площади сѣченія отверстія. Пусть v будетъ скорость истечения изъ отверстія и w скорость пониженія уровня, a —площадь сѣченія отверстія и A площадь сѣченія сосуда, то $v: w = A: a$.

Выраженіе скорости истечения воды изъ сосуда.

2.) Если въ сосудъ наполненномъ до извѣстной высоты водою сдѣлаемъ отверстіе очень маленькое въ сравненіи съ сѣченіемъ сосуда, то скорость истечения воды чрезъ отверстіе будетъ равна скорости свободно

упавшаго тѣла съ высоты уровня воды надъ отверстиемъ. Пусть будетъ h высота воды въ сосудѣ, v скорость истеченія воды изъ отверстія, g дѣйствіе тяжести, то получимъ:

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Въ этомъ состоитъ законъ Торичелія. Результатъ этотъ, хотя приближенный, но всегда имѣетъ мѣсто, когда отверстие будетъ сдѣлано въ днѣ сосуда. Его можно приложить и къ тому случаю, когда отверстие будетъ сдѣлано въ боку сосуда, потому что и въ этомъ случаѣ параллельность слоевъ жидкости¹ имѣетъ мѣсто, лишьбы только отверстие не было близко къ поверхности жидкости.

Расходъ жидкости.

3.) Зная скорость пониженія уровня жидкости и площадь сѣченія сосуда, легко можно найти количество вытекшей жидкости или расходъ ея въ продолженіи извѣстнаго времени. Но кромѣ того, что скорость пониженія уровня не постоянна, часто встрѣчается невозможность измѣрять ее; въ такомъ случаѣ можно найти расходъ по извѣстной скорости при отверстіи и площади сѣченія отверстія.

Пусть V будетъ скорость при отверстіи, S площадь сѣченія отверстія, Q количество вытекшей жидкости или расходъ ея въ какое ни есть время t , то расходъ

¹ Теорія истеченія жидкостей основана на предположеніи параллельнаго пониженія слоевъ уровня.

въ единицу времени будетъ $=VS$ или $S\sqrt{2gh}$, а во время t , $Q=t.S\sqrt{2gh}$.

Вычисленный такимъ образомъ расходъ называется теоретическимъ расходомъ.

Въ какой степени теоретическій расходъ согласенъ съ дѣйствительнымъ, можно видѣть смѣривъ точно количество жидкости полученное изъ опыта, и потомъ сравнивъ его съ количествомъ вычисленнымъ по формулѣ $Q=t.S\sqrt{2gh}$.

Разность теоретическаго расхода съ дѣйствительнымъ будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе соблюдены условія употребленныя при исчисленіи формулы для опредѣленія расхода.

При теоретическомъ опредѣленіи расхода мы полагаемъ:

1.) Что отверстіе весьма мало въ сравненіи съ сѣченіемъ сосуда, безъ этого условія скорость не будетъ постоянна.

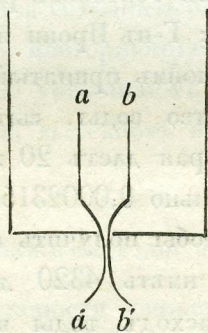
2.) Что нѣтъ ни какихъ препятствій движенію жидкости.

На опытѣ ни одно изъ этихъ условій не выполняется, въ особенности второе; — а по этому и теоретическій расходъ не согласенъ съ дѣйствительнымъ. Опытъ показываетъ, что если стѣнки сосуда будутъ очень толсты, и если отверстіе вовнутрь нѣсколько расширится, то дѣйствительный расходъ почти согласенъ съ теоретическимъ. — Если стѣнки сосуда будутъ тонки, то дѣйствительный расходъ весьма не сходенъ съ теоретическимъ; одно только остается вѣрнымъ,

что количество жидкости пропорционально площади сечения умноженной на корень квадратный изъ высоты. И такъ чтобы теоретическій расходъ былъ сходенъ съ дѣйствительнымъ нужно удержать формулу $Q = St\sqrt{2gh}$ и умножить ее на численнаго множителя, который получится изъ опытовъ. Для полученія этаго численнаго множителя, измѣряютъ дѣйствительный расходъ жидкости въ различные времена и сравниваютъ съ теоретическимъ расходомъ въ тоже самое время. Каждый расходъ изъ опыта полученный, который пусть будетъ P для времени t , дѣлятъ на расходъ теоретическій Q для тогоже времени t и получаютъ численный множитель; и такъ пусть будетъ для времени t , $\frac{P}{Q} = K$, для t_1 , $\frac{P_1}{Q_1} = k_1$, для t_2 , $\frac{P_2}{Q_2} = k_2$ и т. д. изъ вычисленныхъ для различныхъ временъ k , k_1 , k_2 берутъ арифметическую средину, которая пусть будетъ K ; такъ что дѣйствительный расходъ равенъ расходу теоретическому умноженному на численнаго множителя то есть $P = K Q$. Если къ малому отверстию въ тонкой стѣнкѣ сосуда приложить извнѣ трубочку цилиндрическую длиною отъ 1 до $1\frac{1}{2}$ діаметра отверстия то дѣйствительно расходъ жидкости увеличится и будетъ меньше разнится отъ теоретическаго, такъ что $K = 0,82$, безъ трубочки $K = 0,62$; а съ различными усѣченными коническими трубочками множитель K измѣняется отъ 0,85 до 0,95, то есть почти уравнивается единицѣ. Если цилиндрическую трубочку продолжить внутрь сосуда, то $K = 0,5$, то есть уменьшится.

Теперь рождается вопросъ, отъ чего же происходитъ разность дѣйствительнаго расхода жидкости отъ теоретическаго?

Непосредственная причина этого различія, какъ я уже сказалъ, зависитъ отъ несоблюденія двухъ вышеупомянутыхъ условій. И дѣйствительно не всѣ части истекающей жидкости имѣютъ скорость опредѣленную по формулѣ $v = \sqrt{2gh}$. Тѣ частицы жидкости, которыя находятся близъ отверстія замедляются, потому что должны отрываться отъ стѣнъ отверстія. Но главною причиною этого несогласія предполагаютъ сжатіе струи. Сжатіе же струи происходитъ, какъ думаютъ отъ того, что каждая частица жидкости вертикально понижается къ отверстию, близъ отверстія измѣняетъ свое направленіе, такъ что частица а описываетъ кривую aa' , а частица b кривую bb' .



Всѣ же вмѣстѣ производятъ суженіе струи, которое называютъ *сжатіемъ струи*. — Опытъ показываетъ, что наибольшее сжатіе струи находится отъ отверстія на $1\frac{1}{2}$ діаметра самого отверстія. Если при вычисленіи

расхода брать не площадь отверстия, но площадь сечения сжатія струи, то расходъ опытный съ теоретическимъ почти будутъ согласны.

По опытамъ Французскаго Математика Бордо отношеііе между площадью сечения струи и площадью отверстия заключается въ предѣлахъ отъ 1 до 0,5. или среднимъ числомъ 0,75. По опытамъ Боссю площадь сечения сжатой струи = 0,66; по опытамъ Вентура = 0,63; а по Эйтельвейну = 0,64 площади цѣлаго сечения отверстия; т. е. діаметръ отверстия относится къ діаметру сжатой струи, какъ 5: 4. Дѣйствительной расходъ увеличится если уменьшить силу сцѣпленія частицъ жидкости; изъ наблюденій извѣстно, что сцѣпленіе уменьшается теплою, то очевидно, что дѣйствительный расходъ увеличится съ увеличеніемъ теплоты. Г-нъ Герстнеръ первый подтвердилъ это опытами.

4.) При устройствѣ фонтановъ расходы воды выражаются въ дюймахъ; Г-нъ Прони называетъ это двойнымъ модулемъ.—Дюймъ принятый Господиномъ Прони, будетъ количество воды, вытекающее изъ фонтанной трубки которая даетъ 20 куб. метр. воды въ 24 часа и слѣдовательно 0,0002315 куб. метр. въ одну секунду. И такъ чтобы получить въ это время одинъ куб. метръ должно имѣть 4320 дюймовъ; по этому, чтобы привести расходъ воды въ дюймы, стоитъ только найденныя нами количества въ кубическихъ метрахъ умножить на 4320 и окончательно получимъ $P = 15028 \text{ м. } k \sqrt{d^2 \sqrt{h}}$ дюймовъ воды.

Это уравненіе служитъ къ опредѣленію одной изъ трехъ величинъ P , d и h , зная другія двѣ и k .

III. О движеніи воды въ трубахъ.

—

Простыя трубы.

5.) Длинная цилиндрическая труба, горизонтальная или наклонная, имѣющая по всей длинѣ своей одинаковый діаметръ, открытая въ оконечностяхъ и представленная къ отверстию водоема называется простою трубою.

Если простая труба будетъ наклонена къ горизонту, то скорость жидкаго столба въ немъ заключающагося увеличивается дѣйствіемъ тяжести, по крайній мѣръ до извѣстнаго предѣла, далѣе котораго скорость переднихъ частей жидкости начинаетъ уменьшаться отъ непрерывно повторяющихся препятствій. Если простая труба будетъ горизонтальна, то жидкость по всей длинѣ трубы старается сохранить одинаковую скорость; но здѣсь препятствія повторяющіяся на большомъ протяженіи непрерывно уменьшаютъ эту скорость, такъ что жидкость иногда вытекаетъ изъ трубы по каплѣ.

Сопротивленія движенія воды въ простой трубѣ.

6.) Уменьшеніе скорости движенія воды въ простой трубѣ, а слѣдовательно и уменьшеніе расхода ея, зависитъ отъ слѣдующихъ причинъ:

1.) Отъ дѣйствія стѣнъ трубы на жидкость. Слой воды непосредственно прилегающій къ стѣнкамъ трубы трется объ оныя, и отъ того движеніе частицъ

этого слоя замедляется. 2.) Движеніе замедляется при-
цѣпленіемъ частицъ жидкости къ стѣнкамъ трубъ. 3.)
Силою сцѣпленія частицъ жидкости между собою или
ихъ вязкостію. Замедленіе это, постепенно уменьшаясь
передается внутреннимъ слоямъ до центральной струи.
4.) Ударомъ движущейся жидкости о другія тѣла.

Законы сопротивленія.

7.) Сопротивленіе производимое дѣйствіемъ стѣнъ,
очевидно, будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе поверхность
этихъ стѣнъ, т. е. чѣмъ длиннѣе будутъ трубы малого
діаметра, потому что въ такихъ трубахъ дѣйствіе стѣнъ
простирается на всю поверхность движущейся массы,
между тѣмъ какъ въ трубахъ большаго діаметра стѣ-
ны дѣйствуютъ только на боковыя части воды, а
слѣдовательно замедленіе будетъ тѣмъ менѣе чѣмъ
болѣе площадь сѣченія трубы. И въ самомъ дѣлѣ,
чѣмъ это сѣченіе больше, тѣмъ на большее число ча-
стей воды, проходящей чрезъ сѣченія, раздѣляется
сопротивленіе и отъ этого оно становится тѣмъ менѣе.
Изъ этого слѣдуетъ, что, сопротивленіе прямо про-
порціонально всей поверхности трубы и обратно про-
порціонально площади поперечнаго сѣченія его. И такъ
означая чрезъ D діаметръ, чрезъ L длину трубы, по-
верхность ея будетъ $= \pi \cdot D \cdot L$, а площадь поперечнаго
сѣченія проводника $= \frac{\pi D^2}{4}$; слѣдовательно пропорціо-
нальность выразится такъ $\frac{\pi \cdot D \cdot L}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{4L}{D}$; и такъ $\frac{4L}{D}$ будетъ

количество пропорціональное сопротивленію зависящему отъ длины и діаметра трубы.

Наконецъ сопротивленіе пропорціонально еще квадрату скорости, потому что если скорость сдѣлается вдвое больше, то въ тоже время вдвое большая масса будетъ стремиться проходить вдвое большее пространство, следовательно и преодолѣть въ четверо большее сопротивленіе. Дѣйствительно, опыты и выведенныя изъ нихъ слѣдствія Г-мъ Куломбомъ показываютъ, что отношеніе между сопротивленіемъ и скоростью составлено изъ двухъ членовъ: одинъ заключаетъ вторую степень скорости, а другой первую; но этотъ послѣдній соотвѣтствуя чрезвычайно малымъ скоростямъ (въ нѣсколько сантиметровъ), уменьшается очень быстро относительно другаго, по мѣрѣ увеличенія скорости, и когда скорость въ трубѣ сдѣлается обыкновенною (4 или 5 дециметровъ) членъ заключающій первую степень скорости, по малости своей, можетъ быть пренебреженъ, тогда сопротивленіе пропорціонально квадрату скорости. По этому пусть будетъ: L длина трубки, D ея діаметръ, V средняя скорость жидкости когда движеніе ея достигло въ проводникъ однообразности, то сопротивленіе будетъ пропорціонально $\frac{LV^2}{D}$.

ВЫРАЖЕНІЕ СОПРОТИВЛЕНІЯ ВЪ ПРОСТОЙ ТРУБѢ.

8.) Сила побуждающая воду выходить изъ отверстія водоема или напоръ воды измѣряется разстояніемъ H уровня воды въ водоемѣ до центра отвер-

стія. Прежде мы замѣтили, что вода изливается изъ отверстія со скоростью равною скорости свободно упавшаго тѣла съ высоты равной высотѣ уровня надъ центромъ отверстія, то есть со скоростью $V = \sqrt{2gH}$. Дѣйствительно вода стала бы изливаться съ этою скоростью, если бы въ трубѣ приложенной къ отверстию небыло никакихъ препятствій движенію; но какъ эти препятствія постоянно существуютъ, то и скорость истеченія v обыкновенно бываетъ меньше V , слѣдовательно зависитъ отъ другой меньшей высоты h , т. е. $V = \sqrt{2gh}$. Очевидно, что здѣсь часть напора H уничтожается противудѣйствіемъ стѣнъ. Разность $H - h$ будетъ потерянная часть напора, которая и даетъ полное выраженіе для сопротивленія движенію воды въ трубѣ. И такъ все сопротивленіе $H - h = n \frac{LV^2}{D}$, то есть пропорціонально длинѣ проводника, квадрату скорости и обратно пропорціонально его діаметру. Здѣсь n есть постоянный коэффиціентъ, опредѣляемый обыкновенно изъ опытовъ.

Такъ какъ h есть высота которою выражается скорость дѣйствительнаго истеченія воды изъ трубы и g дѣйствіе тяжести, то ихъ можно выразить въ футахъ:

$$V = \sqrt{2gh} = 2.9,8088 \ h. \text{ откуда}$$

$$h = 0,015 \ V^2 \text{ футовъ.}$$

Слѣдовательно все дѣйствіе сопротивленія выразится такъ: $H - 0,015 \ V^2 = n \frac{LV^2}{D}$. Какъ величина n должна

¹ g. Дѣйствіе тяжести измѣняется для всякой сѣверной широты здѣсь оно взято для 50°—10°, сѣверной широты.

всегда оставаться постоянною величиною для всѣхъ величинъ L , D , H и V , то одинъ тщательный опытъ могъ бы достаточно опредѣлить ее. Для опредѣленія n берутъ трубу опредѣленной длины, известную въ діаметръ, измѣряютъ количество вытекшей воды подъ постояннымъ и въ точности опредѣленнымъ давленіемъ въ известное время, потомъ вычисляютъ количество вытекшей воды въ одну секунду, раздѣляютъ это послѣднее количество на площадь сѣченія трубы выраженную въ квадратной мѣрѣ, и такимъ образомъ получаютъ длину столба вытекшей жидкости въ одну секунду или скорость истечения. Данныя величины L , D , H и опредѣленную V , вставивши въ выраженіе $H = 0,015 V^2 = n \frac{LV^2}{D}$, получаютъ величину для n .

Изъ опытовъ Г-на Купле надъ скоростію истечения воды въ проводникъ Версальскаго Парка, длиною $L = 1169^m42$, въ діаметръ $D = 0^m4873$, при дѣйствіи напора $H = 3^m932$ найдена скорость $V = 1^m061$ и величина $n = 0,001435$. Нетолько одинъ этотъ опытъ, но и пятьдесятъ другихъ, сдѣланныхъ Купле, Боссю и Дюбуа искуснѣйшими Гидравликами, дали средній выводъ весьма сходный съ выше приведеннымъ. И такъ сопротивленіе, зависящее отъ замедляющаго дѣйствія стѣны трубы, или уничтоженная часть напора этимъ сопротивленіемъ будетъ выражена такъ, $H = 0,015 V^2 = 0,001435 \frac{L}{D} V^2$ это для того случая, когда діаметръ D слишкомъ малъ сравнительно съ длиною L .

9.) Для общаго выраженія, соответствующаго какъ малымъ, такъ и большимъ скоростямъ, пятьдесятъ одинъ опытъ, о которомъ мы сей часъ говорили, даютъ:

$$0^m,00137 \frac{L}{D} (V^2 + 0,055 V.)$$

ОБЩЕЕ ВЫРАЖЕНІЕ ДВИЖЕНІЯ ВОДЫ ВЪ ТРУБАХЪ.

10.) Изобразивъ сопротивленіе чрезъ $H = 0,155 V^2$, получимъ $H = 0,015 V^2 = 0,00137 \frac{L}{D} (V^2 + 0,055 V) \dots (A)$ уравненіе, изъ котораго опредѣлится всею точностію въ настоящемъ положеніи Физико-Математическихъ наукъ, одна изъ 4-хъ величинъ V , D , H и L , зная три другія.

ВЫРАЖЕНІЕ СКОРОСТИ.

11.) Изъ Формулы (A) получается выраженіе для скорости очень сложное, и оно употребляется тогда только, когда скорость бываетъ меньше 0,98 ф. или 1,31 ф.

12.) Въ другихъ случаяхъ обыкновенное уравненіе $H = 0,015 V^2 = 0,001435 \frac{LV^2}{D}$ даетъ $V = 26,40 \sqrt{\frac{H \cdot D}{L + 36D}}$ или $V = 26,40 \sqrt{\frac{HD}{L}}$.

ВЫРАЖЕНІЕ РАСХОДА.

13.) Скорость умноженная на площадь сѣченія трубы равна количеству или объему воды, вытекшей въ одну секунду.

Пусть будет q этотъ объемъ, умножая площадь поперечнаго сѣченія проводника $\frac{\pi D^2}{4} = 0,785 D^2$ на скорость V , получимъ $q = 20,73 \sqrt{\frac{HD^5}{L+36D}}$ кубич. фут. или $q = 20,73 \sqrt{\frac{HD^5}{L}}$ кубич. футовъ.

Если расходъ, по обыкновенію долженъ быть выраженъ въ дюймахъ (или двойномъ модуль) воды, и если Q изобразить этотъ расходъ, то будетъ $Q = 43209$ (§. 4) или $Q = 89553 \sqrt{\frac{HD^5}{L+36D}}$.

14.) Это выраженіе можетъ принять простѣйшій видъ: длина проводника обыкновенно бываетъ весьма велика въ сравненіи съ его діаметромъ, почти всегда превышаетъ его въ тысячу разъ, тогда членъ $36D$ не будетъ составлять и 4 сотыхъ величины L , пренебрегая его въ величинѣ для расхода, гдѣ онъ входитъ подъ корнемъ, можетъ произойти ошибка только въ 2 сотыхъ и обыкновенно еще менѣе; но какъ эта ошибка даетъ расходъ больше настоящаго, чего именно мы должны избѣгать въ практикѣ, то и можно ее предупредить, уменьшивъ коэффициентъ 2-мя сотыми и тогда получимъ окончательно $Q = 87749 \sqrt{\frac{HD^5}{L}}$ дюйм..... (В)

15.) Изъ формулы (В) найдемъ выраженіе для діаметра $D = 0,01054 \sqrt[5]{\frac{LQ^2}{H}}$.

Помощію этого выраженія можно видѣть какой должно дать діаметръ проводнику при извѣстной длинѣ, чтобы онъ изливалъ извѣстное количество дюймовъ воды въ извѣстное время.

Сложной водопроводъ.

16.) До сихъ поръ мы разсматривали движеніе воды въ простомъ проводникѣ, направленномъ по прямой линіи, имѣющемъ на всемъ своемъ протяженіи одинакій діаметръ и совершенно открытый въ оконечностяхъ.

Но простой проводникъ не всегда можетъ быть употребленъ. Иногда употребляютъ болѣе сложный, состоящій изъ трубокъ различнаго діаметра и почти всегда имѣющій суженіе и изгибы болѣе или менѣе значительные.

Сопротивленіе движенію воды въ сложныхъ водопроводахъ.

Сопротивленіе движенію воды въ сложномъ водопроводѣ бываетъ больше, чѣмъ въ простомъ, потому что въ сложномъ проводникѣ, кромѣ дѣйствія стѣнъ и силы сцѣпленія, имѣетъ вліяніе на уменьшеніе скорости движущейся воды суженія и изгибы проводника. Отъ суженія проводника, т. е. отъ уменьшенія сѣченія его, происходитъ сжатіе струи при переходѣ ея изъ большаго отверстія въ меньшее и отъ этого происходитъ потеря скорости движенія струи. Эта потеря скорости еще болѣе увеличивается отъ изгибовъ или колѣнъ проводника. — Всякое движущееся тѣло, встрѣтивъ препятствіе, заставляющее его перемѣнить направленіе, теряетъ часть своей скорости; а потому перемѣна направленія струи въ изгибъ уменьшитъ скорость, съ которою вода двигалась бы въ

проводникъ; еслибъ въ немъ небыло изгибовъ. Для уменьшенія потери скорости струи, изгибъ долженъ быть совершенно закругленъ, и жидкость, составляя одну массу, должна скользить покривизнѣ; но сила сцѣпленія частицъ воды препятствуетъ этому, слѣдовательно всегда будетъ уменьшеніе скорости или потеря напора производящаго ее.

Выраженіе сопротивленія въ сложномъ водопроводѣ.

18.) Потеря скорости движенія воды въ сложномъ водопроводѣ происходитъ, какъ мы сказали, отъ трехъ слѣдующихъ причинъ: 1.) Отъ дѣйствія стѣнъ проводника на жидкость, 2.) Отъ суженія проводника; 3.) Отъ удара жидкости въ изгибъ или колѣно. Разыскавши отдѣльно для каждой потери скорости движенія, или потерю напора отъ дѣйствія порознь каждаго изъ трехъ сопротивленій, сложимъ эти потери, и сумму вычтемъ изъ дѣйствительнаго напора или изъ выраженія силы, побуждающей воду входить въ проводникъ, полученная разность и будетъ выражать напоръ или силу, побуждающую воду выходить изъ проводника.

Такимъ образомъ получится напоръ или высота уровня воды въ водоемѣ, посредствомъ которой выразится скорость истеченія воды изъ проводника. Найдя скорость истеченія, найдемъ и расходъ жидкости.

Положимъ, что мы имѣемъ проводникъ составленный изъ трубъ различныхъ діаметровъ, представляющихъ различныя сжатія и разные изгибы, изливающій всю воду чрезъ насадку на оконечности послѣдней

трубы. Пусть будет d діаметръ отверстія въ насадкѣ проводника; h высота или напоръ заставляющій изливаться воду изъ отверстія насадки; m , Коэффициентъ сжатія соответствующій этому отверстию; V скорость истеченія выраженная высотой h , тогда $h=0,015 V^2$ и $m V$ будетъ дѣйствительная скорость истеченія.

D діаметръ трубы, на которую сдѣлана насадка, L длина насадки, V скорость движущейся въ ней жидкости.

D' , L' и V' діаметръ, длина и скорость для послѣдующей части,

D'' , L'' и V'' тоже для третій части
и т. д.

Не приступая еще къ опредѣленію сопротивленій, сдѣлаемъ замѣчаніе о скорости жидкости въ различныхъ частяхъ водопровода.

При постоянномъ расходѣ чрезъ каждое поперечное сѣченіе проводника какой бы длины онъ ни былъ, проходитъ одинъ и тотъ же объемъ воды въ одно и тоже время: такъ что при меньшемъ сѣченіи жидкость должна имѣть большую скорость [ибо $Q=S \cdot V$ (§. 3)] и вообще въ одномъ и томъ же проводникѣ скорости въ различныхъ его частяхъ должны быть въ обратномъ отношеніи сѣченія этихъ частей.

По этому если сравнимъ скорость въ той части проводника, которой діаметръ D , со скоростью при выходѣ, то получимъ:

$$V: m V = 0,785 d^2: 0,785 D^2 \text{ откуда}$$

$$V = V \frac{m d^2}{D^2} = 8,2 \sqrt{h \frac{m d^2}{D^2}} \text{ такимъ же образомъ бу-}$$

$$\text{демъ имѣть: } V' = 8,2 \sqrt{h \frac{m \cdot d^2}{D^2}}$$

а.) Сопротивление стѣнъ.

19.) Изъ того, что было сказано (§. 8) о сопротивленіи или потерѣ напора, зависящей отъ дѣйствія стѣнъ на жидкость, это сопротивление для первой части проводника выразится:

$0,001455 \frac{L}{D} V^2$ или $0,02815 h.m^2. d^4 \frac{L}{D^5}$ для второй части:

$0,00035 \frac{L'}{D'} V'^2$ или $0,02815 h.m^2 d'^2 \frac{L'}{D'^5}$ и такъ дальѣ.

Въ вышеозначенныхъ выраженіяхъ, назвавъ множителей величины h , чрезъ F, F', F'' и такъ дальѣ, получимъ $Fh, F'h, F''h$... величины выражающія сопротивление каждой части водопровода порознь, а сложивъ ихъ, получимъ все сопротивление, зависящее отъ дѣйствія стѣнъ водопровода на жидкость. $h (F + F' + F''$ и т. д.)

б.) Сопротивление отъ суженій трубъ.

20.) Опредѣлимъ величину сопротивленія отъ суженія трубы. Это сопротивление происходитъ или отъ сжатія струи въ трубѣ на маломъ протяженіи, или отъ суженія самой трубы.

Чтобы имѣть полное понятіе о сопротивленіи, происходящемъ отъ сжатія струи и отъ самаго проводника, предположимъ, что въ водопроводной трубѣ поставлена поперегъ тонкая пластинка съ отверстіемъ. Когда жидкость, двигаясь, достигнетъ ее, то струя сожмется, и это сжатіе еще уменьшитъ отверстіе; чрезъ это то уменьшенное отверстіе жидкость должна

проходить, принимая тѣмъ большую скорость чѣмъ отверстіе будетъ меньше, и эта скорость всегда будетъ болѣе той, какую имѣетъ жидкость въ трубѣ до пластинки. Излишество напора, необходимое для произведенія излишества скорости, выразить дѣйствіе сопротивленія отъ суженія струи, которое намъ и нужно опредѣлить.

Пусть будетъ B діаметръ отверстія въ пластинкѣ помѣщенной въ трубѣ, имѣющей діаметръ D , пусть будетъ еще m' коэффициентъ сжатія для площади сѣченія этого отверстія.

Такъ какъ скорости содержатся въ обратномъ отношеніи къ площадямъ сѣченія отверстій, то скорость при суженіи будетъ $V \frac{m d^2}{m B^2}$ и напоръ или высота выражающая эту скорость будетъ $0,015 V^2 \frac{m^2 d^4}{m'^2 B^4}$ или $h \frac{m^2 d^4}{m'^2 B^4}$, ибо $0,015 V^2 = h$ (§. 18). Но въ трубѣ за пластинкой вода сохраняетъ часть этой скорости, равную $V \frac{m d^2}{D^2}$ (§. 18) и напоръ или высота, выражающая эту скорость, будетъ $h \frac{m d^4}{D^4}$; и такъ излишество напора, зависящее отъ суженія, выразится такъ:

$$h.m^2 d^4 \left(\frac{1}{m'^2 B^4} - \frac{1}{D^4} \right).$$

Жидкость, доходя до пластинки, имѣла уже скорость V , и слѣдовательно напоръ, зависящій отъ суженія, взятый отдѣльно, долженъ быть уменьшенъ высотой, выражающую эту скорость; но какъ эта высота или напоръ также уничтоженъ или измѣненъ чрезъ суженіе, то онъ долженъ входить въ потерю давленія имъ причиненнаго.

Вообще въ какой бы точкѣ проводника не происходило суженіе, если k изображаетъ высоту, которая выражаетъ соответствующую ей скорость, V высоту, выражающую скорость во время суженія, k высоту, выражающую скорость въ трубѣ тотчасъ послѣ суживанія; $K - k$ выразитъ напоръ, происходящій отъ суженія; но какъ изъ этого напора и изъ напора k вмѣстѣ взятыхъ остается только k' , то потеря напора отъ суженія будетъ $K - k$. Вышепоказанная формула послужитъ такъ же къ исправленію дѣйствія отъ суженія, произведеннаго посторонними тѣлами: камнями, землею и проч., могущими попасть въ проводникъ. Должно замѣтить, что если земля, попавши въ проводникъ, засыплетъ его на большомъ протяженіи, то этотъ случай мы будемъ разсматривать не какъ обыкновенное сжатіе, но какъ трубу меньшаго сѣченія, и вычисленія сопротивленія будемъ производить по формуламъ §. 19.

21.) Сопротивленія, происходящія отъ обыкновеннаго сжатія струи при входѣ ея въ трубу меньшаго діаметра, въ практикѣ исправляются частію тѣмъ, что въ соединеніи обѣихъ трубокъ вставляется конусъ, имѣющій видъ сколько возможно болѣе походящій на сжатую струю (§. 3). Но, не смотря на эту предосторожность, должно побѣдить еще одно сопротивленіе, котораго коэффициентъ простирается отъ 0,90 до 0,95; если m' изображаетъ этотъ коэффициентъ, B здѣсь равно D , то для выраженія сопротивленія будемъ имѣть:

$$h \frac{m^2 d^4}{D^4} \left(\frac{1}{m'^2} - 1 \right).$$

Если обѣ трубы соединены безъ промежуточнаго уширенія, то сжатіе при входѣ самой узкой трубы кажется тѣмъ менѣе, чѣмъ діаметръ этой трубы будетъ болѣе, а потому оно будетъ менѣе того сжатія, которое происходитъ при входѣ маленькихъ цилиндрическихъ насадокъ, и котораго коэффициентъ 0,82. Впрочемъ во избѣжаніе всякаго недочета при вычисленіи сопротивленія берутъ этотъ коэффициентъ. Напоръ или высота, относящаяся къ этому сопротивленію, въ такомъ случаѣ будетъ

$$0,487 h \frac{m^2 d^4}{D^4}.$$

Это почти половина высоты, выражающей скорость въ трубѣ.

Замѣтимъ, что для полученія дѣйствительнаго напора или высоты, выражающей скорость жидкости при выходѣ изъ проводника, не должно вычитать изъ существующаго напора напоровъ, производящихъ скорости въ частяхъ проводника. Эти напоры менѣе напора h тѣмъ, чѣмъ должно было произвести эту скорость, еслибы жидкость была въ покоѣ предъ выходомъ изъ трубы. Но чтобы имѣть это, должно чтобы скорости однажды произведенныя сохранялись постоянно до этого отверстія; а слѣдовательно нужно, чтобы діаметръ различныхъ частей проводника, если они не равны, постепенно уменьшался. И точно, если между двухъ трубъ, была бы одна шире другихъ, то вода, изъ нее распространяясь, потеряла бы часть своей скорости; чтобы возвратить ее при входѣ въ слѣдующую трубу, то должна бы употребить новое усиліе, слѣдовательно потерять часть силы.

22.) Обратимся къ общему выраженію (§ 20). Назовемъ чрезъ E величину умножающую въ немъ h , чрезъ E' умножающую ту же высоту для втораго сжатія и т. д. Выраженіе всего сопротивленія отъ сжатія будетъ:

$$h (E + E' + E'' + \dots).$$

Сопротивленіе отъ изгибовъ или колѣнъ.

23.) Остается опредѣлить сопротивленіе отъ изгибовъ или колѣнъ. При этомъ изгибы или колѣна изображаются углами паденій или отраженій жидкой струи находящейся въ оси проводника.

Если изгибъ не довольно закругленъ, и какъ отъ этого будетъ одно только отраженіе, то уголъ его будетъ половина дополненія угла изгиба, то есть, угла составленнаго продолженіемъ обоихъ прямолинейныхъ частей проводника прилежащихъ изгибу. Если изгибъ представляетъ дугу круга, то въ немъ будетъ нѣсколько равныхъ отраженій; а синусъ-верзусъ угла отраженія будетъ половина внутренняго діаметра проводника, этотъ полудіаметръ раздѣленной на радіусъ дуги круга въ изгибъ даетъ табличный синусъ-верзусъ и опредѣлитъ уголъ отраженія.

24.) Пусть будетъ: S^2 сумма квадратовъ синусовъ угловъ отраженій, происходящихъ во всѣхъ изгибахъ проводника одинакаго діаметра, V скорость воды въ этомъ проводникѣ.

По опытамъ Г-на Дюбуа, сопротивленіе отъ изгибовъ выражается чрезъ 0,0123. Для той части проводника, которой діаметръ D , имѣя $V=8,23 \sqrt{h \frac{md^2}{D^2}}$ будетъ $0,2413 h S^2 \frac{m^2 d^4}{D^4} \dots\dots (a)$

Для второй части діаметръ которой D' , имѣемъ $0,2413 h. S^2 \frac{m^2 d^4}{D'^4}$ и такъ далѣе.....(b)

Назовемъ чрезъ S множитель при h въ выраженіи (a), чрезъ S' множитель при h въ выраженіи (b) и чрезъ S', S'' и такъ далѣе въ прочихъ выраженіяхъ, все сопротивленіе зависящее отъ угловъ выразится такъ

$$h (S+S'+S'' \dots\dots)$$

Вся потеря напора.

25.) Когда сложимъ найденныя нами три потери напора или высоты отъ дѣйствія трехъ различныхъ родовъ сопротивленія, то получимъ всю потерю напора въ сложномъ проводникѣ:

$$h (F+F' \dots\dots + E+E' \dots\dots)$$

Высота чрезъ которую выражается скорость воды
привыходѣ изъ проводника.

26.) Всѣ полученныя нами потери напора съ прибавленіемъ къ нему напора h , производящаго скорость при выходѣ, должны равняться дѣйствующему напору H и такъ $H=h+h(F+F'+\dots+E+E'+\dots+S'+S'+\dots)$

$$H = \frac{h}{1} + h(F+F'+\dots+E+E'+\dots+S'+S'+\dots) + 1.$$

Расходъ жидкости.

27.) Величина для h , вставленная въ выраженіе расхода (§. 3.), даетъ число кубическихъ футовъ воды въ секунду; вставленная въ выраженіе $Q = 15028kd^2\sqrt{h}$ дастъ расходъ въ дюймахъ воды (или въ двойныхъ модуляхъ).

28.) Въ § 18 предполагали, что проводникъ изливаетъ всю воду проходящую чрезъ него; но, почти всегда, по длинѣ проводника застоявшася, вода уменьшаетъ вытекшее количество оной. Это новое препятствіе затрудняетъ не много рѣшеніе задачи, не отымая впрочемъ ея точности. Для избѣжанія этого затрудненія раздѣляютъ проводникъ на столько частей, сколько будетъ различныхъ діаметровъ, потомъ каждую часть раздѣляютъ на число частей единицею больше противъ числа застоевъ воды; такъ, что каждая часть будетъ проводить одинаковое количество воды.

По извѣстнымъ уже правиламъ вычисляютъ величину каждого изъ трехъ родовъ сопротивленій для каждой части отдѣльно; соединяютъ всѣ эти сопротивленія, вычитаютъ изъ дѣйствующаго напора надъ крайнимъ отверстіемъ, остальное будетъ высота, выражающая скорость при истокѣ чрезъ это отверстіе, изъ которой можно будетъ вычислить расходъ.

Какъ въ этомъ новомъ рѣшеніи количество проводимой воды каждою частию проводника извѣстно, то вычисленіе будетъ проще, вставивъ это количество

вмѣсто скорости въ различныхъ выраженіяхъ сопротивленія.

Такъ какъ $Q = 3393 D^2 V$ или

$$V = 0,0002947 \frac{Q}{D^2} \quad (\S 13),$$

то эти выраженія для сопротивленія отъ стѣнъ сосуда пріймутъ видъ:

обыкновенно (§ 8) $0,000\ 000\ 000\ 000\ 1247 \frac{L}{D^5} Q^2$, когда $Q < 1600 D^2$ (§ 9) $0,000\ 000\ 000\ 1190 \frac{L}{D^5} (Q^2 + 187 Q d^2)$.

Сопротивленіе отъ суженія (§ 20)

$$0,000\ 000\ 004428 Q^2 \left(\frac{1}{m'^2 B^4} - \frac{1}{D^4} \right)$$

Сопротивленіе отъ угловъ (§ 24)

$$0,000\ 000\ 0010685^2 \frac{Q^2}{D^4}$$

ВОДОБОЙ.

Высота вертикальной струи.

29.) Въ водобой дѣйствующій напоръ H будетъ разность между высотой отъ уровня воды въ водоемѣ, до центра отверстія въ началѣ проводника и высотой отъ отверстія въ началѣ надъ горизонтальною плоскостію, проходящею чрезъ центръ отверстія, а дѣйствительный напоръ или высота, выражающая скорость съ какою струя стремится выйти, будетъ дана формулой въ § 26.

Если отверстіе сдѣлано въ тонкой стѣнѣ, то вода выходя со всею скоростию зависящею отъ высоты h должна-бы подняться на сію высоту, но сопротивленіе воздуха, давленіе верхнихъ частей воды на нижнія, раздѣленіе струи, особливо если она тонка и бѣтъ

съ большею скоростію и проч. уменьшаетъ высоту не большимъ количествомъ, простирающимся до 5 и 6 тысячныхъ, не подлежащихъ даже вычисленію.

Если струя извергается изъ цилиндрической насадки, то какъ скорость при истокѣ будетъ только 0,82 часть скорости, зависящей отъ высоты h , и какъ высоты содержатся какъ квадраты скоростей, то возвышеніе струи будетъ только $0,67h$.

Наконецъ если насадка коническая, то коэффициентъ сжатія или уменьшенія скорости будетъ измѣняться отъ 0,85 до 0,95 (§. 3) смотря по степени разширенія трубки и высоты содержащіяся между собою какъ квадраты сихъ величинъ будутъ измѣняться отъ $0,72h$ до $0,90h$(с)

Высота и дальность полета наклонной струи.

30.) Если насадку наклонить, то струя опишетъ параболу. Назвавъ чрезъ a уголъ наклоненія составленный насадкою съ горизонтомъ, и чрезъ h' вертикальную высоту, на которую струя поднялась и для которой мы опредѣлили величины, смотря по различнымъ насадкамъ, будемъ имѣть по свойствамъ сказанной нами выше кривой.

Для высоты струи $h' \sin^2 a$. Для дальности полета или горизонтальнаго разстоянія отъ начала изверженія до паденія струи $2h' \sin^2 a$. Здѣсь также высота и дальность полета будутъ нѣсколько уменьшены тѣми же причинами, кои изъяснены въ предыдущемъ параграфѣ, а равно и большею длиною насадки.

ПРИМѢРЪ I.

По данной длинѣ трубъ, угламъ ими составленными, количеству вытекаемой воды въ сутки и паденію воды требуется опредѣлить діаметръ трубы

пусть будетъ $L = 3,221$ ф.

$Q = 6,000$ ф. к.

$H = 3$ ф.

и пять угловъ 1.) 144°

2.) 159°

3.) 104°

4.) 98°

и 5.) 86°

Изъ формулы § 15. $D = 0,0105 \sqrt[5]{\frac{LQ^2}{H}} \dots (D)$

Найдется что $D = 0,347$ ф. или 4,16 дюйма.

Но какъ количество вытекаемой воды уменьшается отъ сопротивленій произходящихъ отъ изгибовъ трубъ, то и высота соотвѣтствующая этому количеству воды будетъ менѣ той, отъ которой зависитъ скорость воды при входѣ въ трубы, а чтобы найти дѣйствующую высоту, то обратимся къ формулѣ § 26

$$h = \frac{H}{F + F + \dots E + E' + \dots C + C' + \dots + 1.}$$
 или въ нашемъ случаѣ

$$h = \frac{H}{C + 1}$$
 гдѣ C по формулѣ § 24 будетъ равно 0,010908

слѣдовательно
$$h = \frac{3}{1,010908} = 2,97$$
 ф. вставивъ эту вы-

соту въ выраженіе (D), получимъ измѣненіе въ діаметръ весьма не значительное, такъ что безъ большей погрѣшности можно ее пренебречь, что подтверждается самыми опытами. Численныя величины здѣсь предло-

женныя выведены нами изъ мѣстныхъ обстоятельствъ города Харькова, гдѣ можетъ быть проведена вода изъ источника называемаго Карповскимъ на площадь противъ Жаудармскихъ конюшенъ.

П Р И М Ъ Р Ъ II.

По данной длинѣ трубъ, угламъ ими составленными, количеству вытекаемой воды въ сутки и паденію воды, требуется опредѣлить діаметръ трубы и высоту водобоя.

Пусть будутъ $L = 4181$. ф.

$Q = 6000$. ф. куб.

$H = 17$. ф.

$1L = 144$. °

$2L = 159$. °

$3L = 104$. °

$4L = 98$. °

$5L = 86$. °

$6L = 155$. °

Изъ формулы § 15. $D = 0,0154 \sqrt[5]{\frac{LQ^2}{H}}$

Получимъ что $D = 4,5$ дюйма.

Употребивъ для насадки коническую трубку получимъ для высоты водобоя изъ [§. 29. (C)] $0,72 h$ или $0,72.17$ ф. или высота водобоя будетъ равна $12,2$ фут.

Въ этомъ вычисленіи мы не принимали въ разсужденіе сопротивленія отъ изгибовъ, такъ, какъ мы уже выше видѣли, что численныя ихъ величины незначительны.

Примѣръ этотъ можетъ имѣть примѣненіе для города Харькова, если провести воду изъ Карпова источника на площадь Тюремнаго замка.

Для полученія толщины стѣнъ трубъ прилагается здѣсь таблица Г. Герстнера.



ТАБЛИЦА

ЧИСЕЛЪ ПОЛУЧЕННЫХЪ ИЗЪ ОПЫТОВЪ ДЛЯ ТОЛЩИНЫ СТѢНЪ ЧУГУННЫХЪ ТРУБЪ,

Г. ГЕРСТНЕРА.

Диаметръ трубъ въ дюймѣ.	ВЫСОТА ПАДЕНІЯ ВЪ ФУТАХЪ.											
	50.	100.	150.	200.	250.	300.	350.	400.	450.	500.	550.	600.
	ТОЛЩИНА ТРУБЪ ВЪ ЛИНІЯХЪ.											
1.—	4,64	4,71	4,79	4,86	4,94	5,02	5,09	5,17	5,24	5,32	5,39	5,47
2.—	4,71	4,86	5,02	5,17	5,32	5,47	5,62	5,77	5,93	6,03	6,23	6,38
3.—	4,79	5,02	5,24	5,47	5,70	5,93	6,15	6,38	6,61	6,84	7,06	7,29
4.—	4,86	5,17	5,47	5,77	6,08	6,38	6,68	6,99	7,29	7,59	7,90	8,20
5.—	4,94	5,32	5,70	6,08	6,46	6,84	7,22	7,59	7,97	8,35	8,73	9,11
6.—	5,02	5,47	5,93	6,38	6,84	7,29	7,75	8,20	8,66	9,11	9,57	10,02
7.—	5,09	5,62	6,15	6,68	7,22	7,75	8,28	8,81	9,34	9,87	10,40	10,93
8.—	5,17	5,77	6,38	6,99	7,59	8,20	8,81	9,42	10,02	10,63	11,24	11,84
9.—	5,24	5,93	6,61	7,29	7,97	8,66	9,34	10,02	10,71	11,39	12,07	12,75
10.—	5,32	6,08	6,84	7,59	8,35	9,11	9,87	10,63	11,39	12,15	12,91	13,66
11.—	5,39	6,23	7,06	7,90	8,73	9,57	10,40	11,24	12,07	12,91	13,74	14,58
12.—	5,47	6,38	7,29	8,20	9,12	10,02	10,93	11,84	12,75	13,66	14,58	15,49

APPENDIX

TABLES OF THE RESULTS OF THE OBSERVATIONS MADE AT THE OBSERVATORY OF PLOUHA

BY J. L. L. L.

No.	Longitude					Latitude				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
2	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
3	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
4	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
5	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
6	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
7	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
8	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
9	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
10	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
11	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
12	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220

