

В ДЛЯ

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ШЛЮЗНЫХЪ ВОДОПРОВОДОВЪ

ВЪ РАЗЛИЧНЫХЪ СЛУЧАЯХЪ ИХЪ УСТРОЙСТВА.

Füllen und Leeren der Schleusen-Kammer.

Съ 3 листами чертежей.



МОСКВА.

Университетская типографія, Страстной бульваръ.

1904.

1668
Библиографическая
студия ИИИ

Н. Д. ТЯПКИНЪ.

532
7-99
T-99.

О ФОРМУЛАХЪ

ПРИМѢНЯЕМЫХЪ ДЛЯ

ГИДРАВЛИЧЕСКАГО РАЗСЧЕТА ШЛЮЗНЫХЪ ВОДОПРОВОДОВЪ

ВЪ РАЗЛИЧНЫХЪ СЛУЧАЯХЪ ИХЪ УСТРОЙСТВА.

Füllen und Leeren der Schleusen-Kammer.

1662
Гидро-механический
Институтъ и Кисел

да

проверен
1963 г.

Съ 3 листами чертежей.

59



М О С К В А .

Университетская типографія, Страстной бульварь.
1904.

Печатано съ разрѣшенія Императорскаго Московскаго Инже-
нернаго Училища Вѣдомства Путей Сообщенія.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Вопросъ о правильномъ подсчетѣ времени для наполненія и опорожненія камеръ шлюзовъ, въ различныхъ случаяхъ устройства водопроводовъ или, обратно, опредѣленіе пѣлесообразныхъ размѣровъ сѣченій водопроводовъ, когда время ограничено и надо дорожить лишними нѣсколькими минутами, долженъ быть признанъ заслуживающимъ вниманія. Важно наконецъ выяснитъ, какъ далеко мы уходимъ отъ дѣйствительности, примѣняя къ расчету упрощенныя формулы. Конечно, самымъ лучшимъ способомъ провѣрки могутъ служить опытные наблюденія. При этомъ, по нашему мнѣнію, лабораторныя работы въ этомъ направленіи, при невозможности произвести опыты въ условіяхъ, соответствующихъ дѣйствительнымъ размѣрамъ, могутъ дать лишь приблизительныя данныя, сравнительныя, но ни въ какомъ случаѣ не окончательныя. Пока въ предлагаемой статьѣ ограничимся теоретической стороною этого дѣла: приведемъ опытыя формулы для выраженія различныхъ гидравлическихъ сопротивленій въ водопроводахъ, имѣющіяся формулы для расчета поперечныхъ размѣровъ этихъ водопроводовъ, разборъ этихъ формулъ и наконецъ результаты нѣкоторыхъ сдѣланныхъ нами подсчетовъ по приведеннымъ формуламъ, примѣненнымъ къ уже построеннымъ шлюзамъ.

Поэтому наша работа ¹⁾ по содержанію подраздѣлена слѣдующимъ образомъ:

Введеніе. Принятые опредѣленія и общія обозначенія.

Глава I. Истеченіе черезъ щитовыя отверстія въ полотнахъ воротъ. Время наполненія (T_1) и опорожненія (T_2) камеръ шлюзовъ. Выборъ коэффициента μ расхода.

¹⁾ Эта книжка представляетъ собою въ болѣе разработанномъ видѣ статью того-же заглавія, помѣщенную въ журналѣ „Инженерное Дѣло“ 1904 г. № 2 и 3.

Глава II. Круговые каналы въ стѣнахъ шлюза. Результаты опытныхъ наблюдений. Приближенная и точная формулы для опредѣленія T_1 и T_2 . Выборъ коэффициента и расхода или формулы.

Глава III. Продольные каналы въ стѣнахъ шлюза съ поперечными отвѣтвленіями по длинѣ. Выводъ формулъ инженера *Θ. Г. Зброжека* и профессора *Ф. Е. Максименко*, служащихъ для опредѣленія T_1 и T_2 . Общее заключеніе объ этихъ формулахъ.

Глава IV. Гидравлическія сопротивленія въ шлюзныхъ водопроводахъ и порядокъ составленія коэффициентовъ сопротивленія для вышеприведенныхъ формулъ.

Глава V. Результаты подсчетовъ по приведеннымъ формуламъ. Соответственное сравненіе ихъ между собою. Общее заключеніе о возможности ихъ примѣненія. О зависимости T и μ отъ различныхъ элементовъ, входящихъ въ общія формулы. Возможныя предѣльные значенія μ .

Въ этой работѣ помѣщены полные выводы формулъ *Θ. Г. Зброжека* и *Ф. Е. Максименко* въ виду того, что въ данное время въ литературѣ ихъ не имѣется. Профессоръ *Ф. Е. Максименко* передалъ намъ черновые выводы своихъ формулъ, къ которымъ мы сдѣлали необходимыя поясненія, а также нѣкоторыя дополненія и обобщенія; формула же *Θ. Г. Зброжека* въ общемъ видѣ, за отсутствіемъ данныхъ въ его курсѣ, выведена нами.

Формулы *Ф. Е. Максименко* представлены въ самомъ общемъ видѣ довольно сложныхъ корней; это сдѣлано съ цѣлью показать общность формулъ для всѣхъ родовъ шлюзныхъ водопроводовъ и легкость ихъ составленія. Изъ приведенныхъ выводовъ явствуетъ и иное, упрощенное, ихъ изображеніе; группировка же въ особныя таблицы отдѣльныхъ вычисленій подъ корнемъ даетъ возможность значительно облегчать нахожденіе времени T_1 и T_2 .

Самихъ подсчетовъ для главы V мы не приводимъ вследствие большого размѣра статьи и безъ того *).

Литература, имѣющаяся по рассматриваемому вопросу, приведена въ концѣ книжки.

Январь 1904 г.

Н. Д. Тихоновъ.

*) Имѣется въ виду выпустить отдельной книжкой „Примѣры опредѣленія T_1 и T_2 по различнымъ формуламъ и въ различныхъ случаяхъ устройства шлюзныхъ водопроводовъ“.

ВВЕДЕНІЕ.

Прежде, чѣмъ начать разсмотрѣніе формулъ, служащихъ для опредѣленія времени наполненія и опорожненія камеръ шлюзовъ, необходимо предпослать нѣсколько указаній о принятыхъ опредѣленіяхъ и о подраздѣленіи устройствъ шлюзовыхъ водопроводовъ; это дастъ возможность въ дальнѣйшемъ изложеніи не повторяться.

Наполненіе и опорожненіе шлюзныхъ камеръ при закрытыхъ воротахъ дѣлается съ цѣлью сравненія горизонта воды въ камерѣ съ горизонтомъ воды верхняго или нижняго бѣфовъ, смотря по тому—куда проходящее черезъ шлюзъ судно направляется. Объемъ воды, нужный для этого сравненія горизонтовъ воды, носитъ, какъ извѣстно, названіе *сливной призмы*; величина ея W зависитъ, само собою понятно, отъ площади Ω_0 водной поверхности шлюза (между воротами въ створенномъ состояніи) и отъ разности h высотъ сравниваемыхъ горизонтовъ воды, т. е. $W = \Omega_0 \cdot h$.

Въ случаѣ, если камера ограничена не вертикальными стѣнками, а откосами, подъ Ω_0 въ этомъ выраженіи подразумѣваютъ среднюю величину между сѣченіями камеры въ планѣ, соответствующими горизонтамъ верхняго и нижняго бѣфовъ.

Для наполненія камеры изъ верхняго бѣфа и опорожненія камеры въ нижній бѣфъ при закрытыхъ воротахъ служатъ: *)

а) *Отверстія* (щитовыя) въ полотнахъ воротъ (Schützöffnungen in den Thoren, Thorschützen), закрываемыя щитами подъемными или поворотными—вращающимися около вертикальной или горизонтальной осей.

б) Водопроводныя галереи, *круповыя каналы* (Umläufe, einfache Umläufe)—съ однимъ приемнымъ и однимъ выпускнымъ отверстіями. Эти каналы устраиваются въ обѣихъ боковыхъ стѣнахъ или не-

*) Подробнѣе объ этомъ см. *Н. Д. Тяпкинг.* Водопроводы (отверстія, каналы и галереи) въ шлюзахъ; съ 10 таблицами чертежей, заключающими расположеніе и устройство водопроводовъ при различныхъ условіяхъ пользованія ими. Готовится къ печати отдѣльной книжкой.

посредственно за ними, но при непремѣнномъ условіи вполнѣ симметричнаго другъ относительно друга расположенія; ось этихъ каналовъ можетъ и не располагаться по дугѣ круга, а состоять изъ прямой части съ плавными криволинейными закругленіями къ приемному и выходному отверстиямъ.

с) *Продольные водопроводы* въ боковыхъ стѣнахъ (Umläufe mit Stich-Kanälen) съ отвѣтвленіями (отверстіями), расположенными въ въ нѣсколькихъ мѣстахъ по длинѣ, одно противъ другого; каналы, служащіе для наполненія камеры, имѣютъ одно или нѣсколько приемныхъ отверстій (отвѣтвленій) въ верхней головѣ шлюза и нѣсколько впускныхъ (выходныхъ)—по камерѣ; каналы, служащіе для опорожненія камеры, имѣютъ одно или нѣсколько приемныхъ отвѣтвленій въ камерѣ и нѣсколько или одно выпускныхъ отверстій въ нижней головѣ шлюза.

д) *Каналы въ стѣнѣ паденія* (Umläufe, Grundläufe).

и е) *Продольные каналы въ дни* (Grundläufe) съ отвѣтвленіями или отверстиями вверхъ, по оси шлюза или вдоль стѣнъ камеры, или наконецъ съ узкими, прямоугольнаго сѣченія отверстиями длиною почти во всю ширину камеры.

Обозначенія:

a —ширина }
 b —высота } щитового отверстия.

n —общее число этихъ отверстій, симметрично расположенныхъ въ обоихъ полотнохъ воротъ.

$\omega = n \cdot a \cdot b$ —общее сѣченіе водопроводныхъ отверстій.

Ω_0 —площадь шлюза въ планѣ между створенными воротами, предполагая ее одинаковой по всей высотѣ.

Ω_1 и Ω_2 —площади водной поверхности верхняго и нижняго бьефовъ.

O_1 и O_2 —поперечныя сѣченія двухъ сообщающихся сосудовъ.

V_1 и V_2 —соотвѣтственныя скорости пониженія и повышенія воды въ этихъ сосудахъ.

v_i —скорость движенія воды въ рассматриваемыхъ водопроводахъ.

h —разность горизонтовъ бьефовъ.

T_1 —время наполненія шлюзной камеры изъ верхняго бьефа.

T_2 —время опорожненія шлюзной камеры въ нижній бьефъ.

μ —коэффициентъ расхода при истеченіи черезъ отверстие въ тонкой стѣнкѣ (щитовое отверстие).

ГЛАВА I.

ЩИТОВЫЯ ОТВЕРСТІЯ ВЪ ПОЛОТНАХЪ ВОРОТЪ.

1. **Предѣлы примѣненія формулъ.** Формулы, приводимыя въ этой главѣ, относятся исключительно къ случаямъ истечения воды чрезъ щитовыя отверстія; можетъ быть сдѣлано примѣненіе ихъ еще лишь для донныхъ короткихъ каналовъ. Тѣмъ не менѣе во многихъ случаяхъ практики и проектированія эти формулы примѣнялись и для расчета водопроводныхъ галлерей, съ измѣненіемъ коэффициента расхода, а иногда и безъ этого измѣненія. Это главнымъ образомъ и заставило насъ взяться за выясненіе дѣйствительности.

А. Камера съ вертикальными стѣнками.

§ 1. **Время T_1 наполненія шлюзной камеры изъ верхняго бьефа.**

2. **Истечение чрезъ незатопленное отверстіе.** Это время T_1 для упрощенія въ вычисленіяхъ принимается состоящимъ изъ двухъ частей (Фиг. 1):

1) t_1 —соотвѣтствующаго поднятію горизонта воды въ камерѣ на высоту h_1 , рассматривая истечение на воздухъ чрезъ все отверстіе въ тонкой стѣнкѣ подъ постояннымъ напоромъ h_2 ;

и 2) t_2 —потребнаго для дальнѣйшаго повышенія горизонта воды въ камерѣ на высоту h_2 , рассматривая истечение уже подъ водой чрезъ то же отверстіе подъ напоромъ, измѣняющимся отъ h_2 до 0.

На основаніи соотвѣтственныхъ формулъ гидравлики ¹⁾ получается:

$$\begin{aligned} T_1 = t_1 + t_2 &= \frac{\Omega_0 \cdot h_1}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot h_2}} + \frac{2 \cdot \Omega_0}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{h_2}{2g}} = \\ &= \frac{\Omega_0}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2gh_2}} \cdot (h_1 + 2h_2) \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

¹⁾ Ф. Е. Максименко. Курсъ гидравлики. С.-Пб. 1889 г. Стр. 192, 206—207.

Ошибка, происходящая при таких неправильных предположениях, исправляется коэффициентом μ , который должен быть определен при обстоятельствах, точно соответствующих практикѣ.

3. Истечение чрез затопленное отверстие. Въ этомъ случаѣ напоръ измѣняется ¹⁾ отъ h до 0 и для T_1 имѣемъ формулу гидравлики ²⁾ (Фиг. 2):

$$T_1 = \frac{2 \Omega_0}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} = \frac{A}{\mu \cdot \omega} \dots \dots \dots (2)$$

§ 2. Время T_2 опорожненія шлюзной камеры въ нижній бьефѣ.

4. Истечение чрез затопленное отверстие. Формула для T_2 (Фиг. 1) въ этомъ случаѣ будетъ ²⁾:

$$T_2 = \frac{2 \cdot \Omega_0}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \dots \dots \dots (2^0)$$

подобно предыдущему.

5. Истечение чрез отверстие частью затопленное. Въ этомъ случаѣ имѣемъ (Фиг. 3) слѣдующую формулу гидравлики: ³⁾

$$T_2 = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot h}{\mu \cdot n \cdot a \cdot [b_1 \sqrt{2gh} + b_2 \sqrt{2g(h - \frac{1}{2}b_2)}]} \dots \dots \dots (3)$$

§ 3. Выборъ формулы, введеніе поправки; величина коэффициента μ расхода.

6. Выгодность устройства затопленныхъ отверстій. Обыкновенно приходится пользоваться формулами (2) и (2⁰), такъ какъ щитовыя отверстия въ полотнахъ воротъ всегда слѣдуетъ устраивать затопленными. Такое расположеніе отверстій даетъ возможность пользоваться формулой для T_1 и T_2 болѣе точной и вмѣстѣ съ тѣмъ простой, использовать для всего истечения весь напоръ, улучшить условія работы щитовыхъ затворовъ, избѣжать возможныхъ ударовъ струи непосредственно въ судно (что особенно важно въ верхнихъ воротахъ), при истеченіи же въ воду вредное дѣйствіе

¹⁾ Какъ извѣстно изъ гидравлики время T_1 или T_2 , при переменномъ напорѣ, вдвое больше того, которое потребовалось бы для наполненія или опорожненія камеры при постоянномъ напорѣ h .

²⁾ См. Ф. Е. Максименко. Стр. 192 и 207.

³⁾ См. тамъ-же. Стр. 193, 207—208.

удара струи уменьшается. Истечение через незатопленное или затопленное частью отверстие наблюдалось на Маринской водной системѣ при старыхъ устройствахъ шлюзовъ, въ особенности же при возвышенныхъ верхнихъ короляхъ. Бывали случаи, что вода при такомъ расположеніи ударяла прямо въ судно, вышибала конопать изъ его пазовъ, и судно нерѣдко тонуло даже въ самой камерѣ. Во избѣжаніе подобныхъ неожиданныхъ затрудненій движению судовъ, стремились къ возможно медленному открытію щитовыхъ отверстій въ полотнахъ воротъ, что конечно увеличивало время T_1 и очень замедляло судоходство. Возвышенные верхніе короли (стѣика паденія) при деревянномъ устройствѣ шлюзовъ вообще неудобны какъ вслѣдствіе необходимости слишкомъ частаго ремонта, такъ и указанныхъ только что неудобствъ въ устройствѣ отверстій и успѣшности судоходства; кромѣ того само время наполненія T_1 и опорожненія T_2 камеры при возвышенномъ верхнемъ королѣ оказывается *болѣе* такого же при короляхъ въ одномъ уровнѣ ¹⁾.

7. Опредѣленіе необходимой площади щитовыхъ отверстій. Изъ формулъ (2) и (2⁰) можно найти по данному T_1 или T_2 величину нужной площади щитовыхъ отверстій:

$$\Sigma\omega = n \cdot a \cdot b = \frac{2 \Omega_0 \cdot \sqrt{h}}{T \cdot \mu \cdot \sqrt{2g}} \dots \dots \dots (4)$$

При $\mu = 0,62$ и $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$ получаемъ:

$$\Sigma\omega = n \cdot a \cdot b = 0,73 \cdot \frac{\Omega_0}{T} \cdot \sqrt{h} \dots \dots \dots (5)$$

8. Поправка въ величинѣ T_1 и T_2 вслѣдствіе мгновеннаго открытія отверстій. Въ вышеприведенныхъ формулахъ (1—5) время t_0 открытія щитовъ, закрывающихъ отверстія, весьма мало, а потому вытекание разсматривалось происходящимъ все время черезъ полное отверстіе. Въ дѣйствительности, въ случаѣ напр. подъемныхъ щитовъ это время оказывается довольно значительнымъ ²⁾ сравнительно съ T_1 и T_2 ; величина его конечно зависитъ вполнѣ отъ

¹⁾ См. *Авустовскій*. Теоретическіе подсчеты (Ж. М—ва п. с. 1869 г. Т. XIII, Кн. № 6, стр. 210—219).

²⁾ См. *Авустовскій; Максименко*, стр. 209: Такъ, при высотѣ отверстія въ 2 фута и напорѣ около 9 фут., t_0 = отъ $\frac{2}{3}$ до 1 минуты, тогда какъ T_1 или T_2 было отъ 5 до 7 минутъ.

механизмовъ и приспособлений, употребляемыхъ для подъема щитовъ и должна быть исчисляема для каждаго даннаго случая отдѣльно.

Первыя указанія въ литературѣ на введеніе въ расчетъ T_1 и T_2 времени t_0 поднятія щита находятся въ статьѣ инженера *Авустовскаго* 1).

Изъ подробнаго разсмотрѣнія²⁾ наполненія и опорожненія камеры чрезъ отверстія въ полотнахъ воротъ, закрываемыя *подъемными* щитами, оказывается, что дѣйствительное время наполненія T_1' и опорожненія T_2' камеры получится, если къ времени T_1 или T_2 , вычисленнымъ по формуламъ (1—3) по мгновенному поднятію щитовъ, прибавить половину времени t_0 , необходимаго для равномернаго подъема щита на всю высоту b отверстія, т. е.

$$T_1' = T_1 + \frac{1}{2}t_0 \dots \dots \dots (6)$$

$$T_2' = T_2 + \frac{1}{2}t_0 \dots \dots \dots (7)$$

Такая зависимость получена изъ сопоставленія значеній T_1 (или T_2) по [формуламъ (1—3) съ соответственными суммами $t_0 + \tau$. Величина t_0 (Фиг. 4) обозначаетъ время равномернаго поднятія щита на всю высоту отверстія съ нѣкоторою скоростью $\frac{b}{t_0}$ и соответствуетъ времени наполненія камеры до нѣкотораго уровня ab съ разностью горизонтовъ x_0 въ концѣ времени t_0 (измѣненіе разности горизонтовъ бѣфовъ отъ h до x_0).

Имѣемъ:

$$t_0 = \frac{4 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot (\Omega_0 + \Omega_1)} \cdot (\sqrt{h} - \sqrt{x_0})$$

или, проще:

$$t_0 = \frac{4 \cdot \Omega_0}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \cdot (\sqrt{h} - \sqrt{x_0}) \dots \dots \dots (2')$$

Величина τ соответствуетъ времени окончательнаго наполненія камеры при измѣненіи разности горизонтовъ бѣфовъ отъ x_0 до нуля, т. е.:

$$\tau = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot (\Omega_0 + \Omega_1)} \cdot \sqrt{x_0}$$

1) Журналъ М—ва п. с. 1869 г., Т. XIII. Кн. № 6, стр. 163—219.

2) *Авустовскій*, стр. 163; 177—183; *Максименко*, стр. 209—214.

или, иначе:

$$\tau = \frac{2 \cdot \Omega_0}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{x_0} \dots \dots \dots (2'')$$

Сопоставляя формулы (2) и (2⁰) съ (2') и (2''), получимъ:

$$T'_1 = \tau + t_0 = T_1 + \frac{1}{2} t_0 \dots \dots \dots (6)$$

$$T'_2 = \tau' + t'_0 = T_2 + \frac{1}{2} t'_0 \dots \dots \dots (7)$$

9. О величинѣ коэффициента расхода μ , входящаго въ вышеприведенныя формулы, довольно затруднительно дать какое-либо точное и опредѣленное заключеніе, такъ какъ на нее оказываютъ вліяніе величина напора, способы истеченія, величина и обдѣлка выпускныхъ отверстій и т. п. Въ литературѣ можно встрѣтить весьма разнообразныя числовыя значенія этого коэффициента. Такъ, на примѣръ, указываютъ:

Kunke $\mu=0,63$; *Grashof* $\mu=0,60$; *D'Aubuisson* $\mu=0,33$; *Зброжекъ* $\mu=0,33$; *Strukel* $\mu=0,40-0,33$; *Lagrené* $\mu=0,62$; *Brennecke* $\mu=0,62$.

По опытамъ инженера *Авустовскаго* ¹⁾ на шлюзахъ Маріинской системы при отверстіяхъ высотой въ 2 фута получены значенія коэффициента, приведенныя въ нижепомѣщенной таблицѣ:

Истеченіе въ воду											
Напоръ переменный отъ 0 до <i>h</i> фут.											
<i>h</i>	μ	<i>h</i>	μ	<i>h</i>	μ	<i>h</i>	μ	<i>h</i>	μ	<i>h</i>	μ
0,29	0,473	1,59	0,338	4,19	0,571	6,26	0,596	7,59	0,634	9,28	0,670
0,46	0,478	2,36	0,346	4,46	0,584	6,36	0,600	7,66	0,667	9,29	0,672
0,73	0,506	2,79	0,337	4,69	0,590	6,66	0,601	8,09	0,670	9,98	0,676
1,26	0,514	4,16	0,338	5,79	0,595	6,69	0,603	8,16	0,670	—	—

Истеченіе въ воздухѣ.						Напоръ постоянный .					
Пределы измѣненія <i>h</i>						Пределы измѣненія μ					
отъ 6 до 6,66 фут. отъ 0,380 до 0,619.					
" 6,66 " 7,59 " " 0,619 " 0,633					

1) Ж. М-ва П. С. 1869, кн. 6, стр. 192—199; *Максименко*, стр. 215.

Такимъ образомъ, по этимъ даннымъ значеніе μ колеблется въ предѣлахъ отъ 0₃₇ до 0₆₈.

Обыкновенно въ гидравликѣ для щитовыхъ отверстій (такъ наз. отверстій въ тонкой стѣнкѣ) въ среднемъ принимаютъ $\mu = 0.62$.

В. Камера съ наклонными стѣнками при шлюзахъ съ отдѣльными головами.

10. **Дополнительныя обозначенія.** Въ нижеслѣдующемъ выводѣ предполагается, что стѣны камеры имѣютъ одиночные откосы. Кромѣ того введены слѣдующія обозначенія:

- Ω_0 —горизонтальное сѣченіе (площадь) той части камеры, гдѣ стѣны вертикальныя (сумма въ обѣихъ головныхъ частяхъ);
- A —ширина камеры по флотбету въ части съ откосами;
- l —длина этой послѣдней части;
- H —высота воды нижняго бьефа надъ флотбетомъ камеры;
- x —измѣняющаяся разность между уровнями воды; предѣлы измѣненія: отъ h до нуля.

§ 4. Наполненіе шлюзной камеры.

11. **Время T , наполненія камеры.** Ширина камеры по урѣзу воды въ трехъ ея различныхъ положеніяхъ (Фиг. 5) соответственно будетъ:

- на уровнѣ нижняго бьефа..... $B=A+2H$.
- на уровнѣ верхняго бьефа $C=A+2(H+h)$.
- на уровнѣ съ разностью горизонтовъ x . $D=A+2[H+(h-x)]$.

Равенство расхода черезъ щитовое отверстіе и соответственнаго уменьшенія (или увеличенія) сливной призмы даетъ:

$$\mu \omega \cdot \sqrt{2gx} \cdot dt = -\{\Omega_0 + l \cdot [A + 2(H + h - x)]\} \cdot dx$$

Отсюда:

$$t = -\frac{1}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} \cdot \int_h^0 \frac{\{\} \cdot dx}{\sqrt{x}} = \frac{1}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} \cdot \int_0^h \frac{\{\} \cdot dx}{\sqrt{x}} =$$

$$= \frac{1}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} \cdot \left[\left(\Omega_0 + l \cdot A + 2l \cdot (H + h) \right) \cdot \int_0^h \frac{dx}{\sqrt{x}} - 2l \cdot \int_0^h \frac{x \cdot dx}{\sqrt{x}} \right].$$

Но

$$\int_0^h \frac{dx}{\sqrt{x}} = 2\sqrt{h} \quad \text{и} \quad \int_0^h \frac{x dx}{\sqrt{x}} = \frac{2}{3} \cdot h \cdot \sqrt{h}.$$

Поэтому

$$T_1 = \frac{2 \cdot \left[\Omega'_0 + l.A + 2l \cdot \left(H + \frac{2}{3}h \right) \right]}{\mu \cdot \omega} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \dots \dots \dots (8)$$

§ 5. Опорожнение шлюзной камеры.

12. Время T_2 опорожнения камеры. Подобно предыдущему найдемъ (Фиг. 6):

$$B = A + 2H; \quad C = A + 2 \cdot (H + h); \quad D = A + 2 \cdot (H + x).$$

Такъ же имѣемъ:

$$\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gx} \cdot dt = - \{ \Omega'_0 + l \cdot [A + 2 \cdot (H + x)] \} \cdot dx$$

Отсюда:

$$\begin{aligned} T_2 &= - \frac{1}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} \cdot \int_h^0 \frac{\{ \} \cdot dx}{\sqrt{x}} = \frac{1}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} \cdot \int_0^h \frac{\{ \} \cdot dx}{\sqrt{x}} = \\ &= \frac{1}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} \cdot \left\{ [\Omega'_0 + l.A + 2l.H] \cdot \int_0^h \frac{dx}{\sqrt{x}} + 2l \cdot \int_0^h \frac{x dx}{\sqrt{x}} \right\} = \\ &= \frac{2 \cdot \left[\Omega'_0 + l.A + 2l \cdot \left(H + \frac{1}{3}h \right) \right]}{\mu \cdot \omega} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

§ 6. Нѣкоторыя общія заключенія.

13. Полное время T для наполненія и опороженія камеры такимъ образомъ опредѣлится:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{4}{\mu \cdot \omega} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \cdot \left[\Omega'_0 + l.A + 2l \cdot \left(H + \frac{h}{2} \right) \right] \dots \dots \dots (10)$$

14. Сравненіе величинъ T_1 и T_2 . Изъ общихъ формулъ (8) и (9) видно, что въ камерахъ съ наклонными стѣнками время опороженія камеры короче, чѣмъ время наполненія при одинаковыхъ водопроводныхъ отверстіяхъ.

15. Особья выраженія для площадей камеры при разныхъ горизонтахъ. Инженеръ *Августовскій* для прежнихъ шлюзовъ Маринской системы при опредѣленіи времени наполненія и опорожненія камеръ пользовался общей формулой (1—3); для площадей камеры при разныхъ высотахъ положенія въ ней горизонта воды онъ вывелъ особья вспомогательныя выраженія на основаніи линейныхъ измѣреній частей шлюза, легко опредѣляемыхъ на практикѣ. Такія выраженія составлены имъ ¹⁾ какъ для случая стѣнъ вертикальныхъ, такъ и наклонныхъ къ вертикали подъ нѣкоторымъ угломъ ψ .

16. Случай примѣненія формулъ (8) и (9). *Lagrené*, примѣняя формулы (8) и (9) къ шлюзу на верхней Сенѣ при *Evry*, принялъ ²⁾ для расчета круговые каналы работающими, какъ щитовыя отверстія; это, какъ увидимъ далѣе, совершенно неправильно. Но такъ какъ потомъ на этотъ подсчетъ придется ссылаться, то онъ былъ мною провѣренъ; расхожденіе получилось незначительное, а именно $T_1=10$ м. 25 сек. вмѣсто 10 м. 12 сек., указываемыхъ *Lagrené*.

Данныя, принятія имъ для подсчета:

$Q_0=189,90$ кв. м.; $l=172,00$ м.; $A=13,00$ метр., но онъ считалъ $13,30$ для того, чтобы принять во вниманіе объемъ воды, проникающей черезъ откосы и мостовую; $H=1,20$ м.; $h=1,60$ м.; ω = суммѣ сѣченій двухъ круговыхъ каналовъ + суммѣ сѣченій 6-ти отверстій, каждое въ 3 узкихъ отверстія, въ полотнахъ воротъ = $4,84$ кв. м.; $\mu = 0,62$.

По подстановкѣ въ формулы (8) и (9) этихъ данныхъ находимъ:

$$T_1 = 10 \text{ мин. } 25 \text{ сек.}$$

$$T_2 = 9 \text{ мин. } 50 \text{ сек.}$$

¹⁾ См. Ж. М-ва П. С. 1869, кн. 6, стр. 185—192.

²⁾ *Lagrené*, р. 36, 84—85.

Г Л А В А II.

КРУГОВЫЕ КАНАЛЫ ВЪ СТѢНАХЪ ШЛЮЗА.

§ 1. Необходимость примѣненія особыхъ формулъ для опредѣленія *T*.

17. Наблюдения надъ истечениемъ воды чрезъ отверстія и каналы въ шлюзѣ. Для выясненія сравнительной работы различныхъ шлюзныхъ водопроводовъ были сдѣланы поучительные и интересные опыты въ городскомъ шлюзѣ въ Bromberg'ѣ ¹⁾. Сливная призма при $\Omega_0=600$ кв. м., $h=3_{,20}$ м., равна $W=2000$ куб. м.; имѣется: 5 каналовъ въ стѣнахъ шлюза (круговые и короткіе прямые), каждый сѣченіемъ $1_{,20}$ кв. м., и въ нижнихъ воротахъ два щитовыя отверстія, площадью $0_{,33}$ м. \times $1_{,30}$ м. каждое. Во время опытовъ шлюзовая камера наполнялась и опорожнялась при помощи какого-либо одного приспособленія поочередно, при чемъ послѣдніе $0_{,30}$ метр. до полнаго выравниванія уровней не принимались во вниманіе.

Результаты троекратныхъ наблюдений, приведенные къ одному среднему сѣченію отверстій, даютъ возможность ²⁾ выразить работу отверстій имѣвшихся водопроводовъ въ ‰ слѣдующимъ образомъ (при этомъ въ каналахъ разсматривалось наименьшее сѣченіе у затвора):

- | | |
|--|--------|
| a) щитовыя отверстія въ полотнахъ воротъ (опорожненіе)..... | = 100; |
| b) прямой каналъ (длиною около 8 м.) въ средней стѣнѣ (опорожненіе)..... | = 93; |
| c) круговой каналъ у нижнихъ воротъ, съ крутымъ изгибомъ, длиною около 7 м. (опорожненіе)..... | = 87; |
| d) короткій каналъ съ цилиндрическимъ затворомъ, изогнутый въ вертикальной плоскости подъ прямымъ угломъ (наполненіе)..... | = 84; |
| e) круговой каналъ въ средней стѣнѣ, съ измѣненіемъ направленія движенія не по кривой, а подъ прямымъ угломъ (наполненіе)..... | = 55. |

¹⁾ Описаніе устройства шлюза и чертежи помѣщены въ Z. f. B. 1889., s. 507, Bl. 66.

²⁾ *Liackfeldt*. Die Schützvorrichtungen der Stadtschleuse in Bromberg. Z. f. B. 1890. s. 53—58; Bl. 14; H. d. J. W. III Bd. II. Abth. 2 Hälfte 1895 s. 102—104.

Такимъ образомъ, работа шлюзныхъ водопроводовъ зависитъ отъ рода, отъ самого устройства и расположенія его. Такъ напр- въ послѣднемъ каналѣ струя воды должна сдѣлать дважды рѣзкіе повороты въ 90° ; въ этомъ случаѣ непроизводительно теряется почти половина поперечнаго сѣченія или три четверти высоты давленія. Чѣмъ прямѣе каналы, тѣмъ меньше времени требуется какъ для наполненія, такъ и для опорожненія камеры.

18. Объ опредѣленіи T при круговыхъ каналахъ. Только что разсмотрѣнные опыты позволяютъ сказать, что приведенными въ главѣ I формулами для T_1 и T_2 (для щитовыхъ отверстій) не слѣдуетъ пользоваться ни для круговыхъ каналовъ, ни тѣмъ болѣе для продольныхъ водопроводовъ. Это время въ послѣднихъ случаяхъ зависитъ не только отъ формы и размѣровъ поперечнаго сѣченія входныхъ отверстій, но въ болѣе степени отъ длины водопровода и различныхъ мѣстныхъ сопротивленій на всемъ пути. Поэтому при желаніи, въ видахъ упрощенія подсчета, все-таки пользоваться формулами щитовыхъ отверстій для опредѣленія T при круговыхъ каналахъ, надлежитъ вмѣсто опредѣляемаго въ гидравликѣ коэффициента расхода $\mu=0,62$ брать особую величину, такъ сказать, поправочнаго коэффициента формулы. Эта послѣдняя можетъ значительно разниться отъ приведеннаго значенія μ . Такъ напримѣръ¹⁾, для наименѣе удобнаго канала въ Бромбергскомъ шлюзѣ (см. *н^o 17*) этотъ поправочный коэффициентъ долженъ быть взятъ равнымъ $0,32$ ($=0,33 \times 0,62$); тогда какъ для принятыхъ размѣровъ каналовъ въ шлюзахъ р. С. Донца²⁾ онъ опредѣлился въ $0,80$ и $0,88$. Въ виду того, что характеръ измѣненія этого коэффициента не извѣстенъ, не слѣдуетъ пользоваться рекомендуемымъ³⁾ иногда почему-то значеніемъ его въ $0,33$; далѣе въ формулахъ (17), (25), (29), (43), (46'), (49) и др. видна общая зависимость его какъ отъ размѣровъ шлюза и каналовъ, такъ и величины гидравлическихъ сопротивленій.

Такимъ образомъ, въ заключеніе можно сказать, что при устройствѣ водопроводныхъ галлерей (какъ круговыхъ, такъ и продоль-

¹⁾ Въ обоихъ приводимыхъ примѣрахъ рассматривается истечение чрезъ наименьшее сѣченіе у затвора.

²⁾ *Н. Д. Тяпкинъ*. Опредѣленіе времени наполненія и опорожненія камеры шлюза на р. Сѣв. Донцѣ при рабочихъ подпорныхъ горизонтахъ. Тифлисъ 1903 г.

Н. Тяпкинъ. Bestimmung der Fülldauer der Schleusenammer auf dem Ssewarnij Donez bei wirksamer Stau-Oberfläche. Leipzig. 1903.

³⁾ *Ө. Г. Зброжекъ*. Курсъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній. С.-Пб. 1897, стр. 409, 412.

ныхъ каналовъ) вычислять время, или по времени опредѣлять размѣры сѣченій каналовъ необходимо исключительно по формуламъ гидродинамики, разсматривая эти каналы какъ трубы и при точныхъ подсчетахъ вычитать всѣ сопротивленія, проявляющіяся при движеніи воды въ нихъ; каналы же надо дѣлать съ возможно гладкими стѣнками и возможно болѣе пологими изгибами.

О необходимости примѣнять къ круговымъ каналамъ формулы для движенія воды по трубамъ, а не считать истеченіе какъ бы происходящимъ чрезъ щитовыя отверстія, мы уже указывали въ статьѣ: 1) «Опредѣленіе времени наполненія и опорожненія камеры шлюза на р. С. Донцѣ при рабочихъ подпорныхъ горизонтахъ».

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію предлагаемыхъ формулъ 2) для подобныхъ вычисленій.

§. 2 Упрощенныя формулы для T при круговыхъ каналахъ.

19. Общая формула гидравлики. Какъ извѣстно изъ гидравлики, общая формула для скорости воды, движущейся по трубамъ равномерно, имѣетъ видъ: 3)

$$v = C \cdot \sqrt{Ri} = C \cdot \sqrt{\frac{\omega}{p} \cdot i}, \dots\dots\dots (11)$$

гдѣ ω —площадь поперечнаго сѣченія и p —периметръ канала, i —гидравлическій уклонъ.

Коефициентъ скорости C по Шези (*Chezy*) постояненъ и для мѣръ въ метрахъ равенъ 50; По Дарси (*Darcy*) этотъ коефициентъ измѣняется съ гидравлическимъ радиусомъ R трубы и равенъ:

$$C = \frac{1}{\sqrt{a + \frac{b}{R}}},$$

гдѣ a и b —постоянныя 4).

1) „Инженерное дѣло“. Тифлисъ, 1903, № 2; Zeitschrift für Gewässerkunde, 6 Bd., Heft 3.

2) Сравнительныя достоинства формулъ и выборъ наилучшихъ изъ нихъ см. Гл. V.

3) См. Ф. Е. Максименко, стр. 256—260.

4) См. дальше. Глава IV.

Для упрощенія подсчетовъ пользуются коэффициентомъ *Шези*; точнѣе же и правильнѣе конечно пользоваться коэффициентами *Дарси*¹⁾.

Переходя къ примѣненію формулы (11) для опредѣленія T_1 или T_2 при движеніи воды чрезъ круговые каналы, можно встрѣтить нижеслѣдующіе случаи.

20. Приближенное вычисленіе (простое). Гидравлическій уклонъ i для подстановки въ формулу (11) берется для средняго положенія уровня воды $\frac{h}{2}$ (Фиг. 7), а именно (при длинѣ l бокового канала):

$$i = \frac{(h'' - h''_0)}{l} = \frac{h/2}{l} = \frac{h}{2l}$$

Тогда по формулѣ (11) опредѣлится нѣкоторая постоянная, предполагаемая, скорость v , съ которою вода движется по водопроводному каналу изъ верхняго бѣефа въ камеру или изъ камеры въ нижній бѣефъ:

$$v = C \cdot \sqrt{\frac{\omega}{p} \cdot \frac{h}{2l}}$$

Затѣмъ, объемъ сливной призмы будетъ:

$$W = \Omega_0 \cdot h = t \cdot \omega \cdot C \cdot \sqrt{\frac{\omega}{p} \cdot \frac{h}{2l}};$$

отсюда:

$$T = \frac{\Omega_0 \cdot h}{C \cdot \sqrt{\frac{\omega^3}{p} \cdot \frac{h}{2l}}} = \frac{\Omega_0}{C \cdot \omega} \cdot \sqrt{\frac{2lh}{R}} \dots \dots \dots (12)$$

По этой формулѣ можно опредѣлить время T , задаваясь примѣрно величиной ω ; затѣмъ постепенно подбирать ω пока не получится для T возможная и допустимая величина—не болѣе 5 минутъ въ обыкновенныхъ случаяхъ практики на внутреннихъ водныхъ путяхъ.

21. Приближенное вычисленіе (болѣе точное). Принимая во вниманіе лишь треніе о стѣнки канала (т. е. только сопротивленіе по длинѣ), можно разсматривать круговой каналъ какъ простой водопроводъ²⁾ и, пользуясь обобщенной теоремой *Д. Бернулли*, на-

¹⁾ См. Гл. IV, стр.

²⁾ См. *Ф. Е. Максименко* стр. 83, 293 и далѣе.

писать слѣдующее выраженіе для напора x въ какой-либо моментъ:

$$x = \frac{v^2}{2g} + (h'' - h''_0) = \frac{v^2}{2g} + \zeta_0 \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g} + x', \dots\dots\dots (13)$$

гдѣ $x' = (h'' - h''_0) = \zeta_0 \cdot \frac{v^2}{2g}$ — работа гидравлическихъ сопротивленій на единицу вѣса, выраженная въ зависимости отъ высоты дѣйствительной скорости.

Гидравлическій уклонъ, при длинѣ l канала, согласно выраженія (13) будетъ:

$$i = \frac{(h'' - h''_0)}{l} = \frac{x'}{l};$$

вмѣстѣ съ тѣмъ изъ формулы (11) находимъ:

$$i = \frac{v^2}{C^2 \cdot \frac{\omega}{p}},$$

а потому:

$$\frac{x'}{l} = \frac{v^2}{C^2 \cdot \frac{\omega}{p}}$$

Отсюда:

$$x' = (h'' - h''_0) = \frac{v^2 \cdot l}{C^2 \cdot \frac{\omega}{p}} = \frac{64}{\pi^2} \cdot \left(a + \frac{b}{R} \right) \cdot \frac{Q^2 \cdot L}{D^5} = \zeta_0 \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots (14)$$

Такимъ образомъ, величину $(h'' - h''_0)$ можно выразить или въ v , или въ Q , смотря по тому, что во всякомъ данномъ случаѣ окажется наиболѣе удобнымъ.

Уравненіе (13) по подстановкѣ найденныхъ значеній получить слѣдующій видъ:

$$x = \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2 \cdot l}{C^2 \cdot \frac{\omega}{p}} = v^2 \cdot \left[\frac{C^2 \cdot \frac{\omega}{p} + 2gl}{2g \cdot C^2 \cdot \frac{\omega}{p}} \right] \dots\dots\dots (13')$$

Отсюда найдемъ:

$$v = \sqrt{\frac{2g \cdot C^2 \cdot \frac{\omega}{p}}{C^2 \cdot \frac{\omega}{p} + 2gl}}$$

Слѣдовательно:

$$\Omega \cdot dx = \omega \cdot v \cdot dt,$$

или:

$$dt = \frac{\Omega}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{\frac{\omega}{p} \cdot C^2 + 2gl}{2g \cdot C^2 \cdot \frac{\omega}{p}}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{x}}$$

По интегрированіи, въ предѣлахъ для t —отъ 0 до T и для x отъ 0 до h , находимъ:

$$T = 2 \cdot \frac{\Omega_0}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{\frac{\omega}{p} \cdot C^2 + 2gl}{2g \cdot C^2 \cdot \frac{\omega}{p}}} \cdot h = 2 \cdot \frac{\Omega_0}{\omega} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{2g} + \frac{l}{C^2 R} \right]} \cdot h \dots (15)$$

Въ этомъ случаѣ также рациональнѣе задаваться величиной ω и вычислять T , а не обратно.

§ 3. Общія формулы для T при круговыхъ каналахъ.

22. Наиболе правильное вычисленіе будетъ, когда принимаются во вниманіе всѣ сопротивленія — какъ по длинѣ трубы, такъ и мѣстныя. Этому вполне удовлетворяютъ формулы профессора *Ф. Е. Максименко*, къ выводу которыхъ мы и переходимъ ¹⁾.

23. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ съ одной соединительной трубой. Въ курсѣ гидравлики ²⁾ для этого случая (Фиг. 8) имѣется уравненіе (равенства объемовъ воды за одинъ и тотъ же промежутокъ времени):

$$-O_0 \cdot dz = Q \cdot dt = \omega \cdot v = O_1 \cdot dz_1,$$

откуда послѣ приведенныхъ тамъ же преобразованій получается выраженіе для времени t , необходимаго для полного сравненія горизонтовъ въ обоихъ сосудахъ, а именно:

$$t = \frac{2 \cdot O_0 \cdot O_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g} \cdot [O_0 + O_1]} = \frac{A}{\mu \cdot \omega} \dots (16)$$

Коеф-тъ μ этой формулы можетъ быть найденъ нижеслѣдующимъ образомъ. Для какой-либо линіи тока $abcd$ уравненіе *Бернулли* будетъ имѣть такой видъ ³⁾:

¹⁾ См. предисловіе, стр. 2.

²⁾ *Максименко*, стр. 191—198.

³⁾ См. тамъ же, стр. 293—298.

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + z \cdot \frac{v^2}{2g} = h, \dots \dots \dots (a)$$

гдѣ z —полный коэф-тъ сопротивленія¹⁾ для всей соединительной трубы, равный въ данномъ случаѣ суммѣ: $z_I + z_{II} + z_{III}$; при чемъ z_I —коэф-тъ сопротивленія при входѣ воды въ трубу, z_{II} —коэф-тъ сопротивленія по длинѣ трубы и z_{III} —коэф-тъ сопротивленія при выходѣ воды изъ трубы.

Расходъ воды одинаковъ для всѣхъ поперечныхъ сѣченій разсматриваемаго устройства, т. е.

$$Q = O_0 \cdot V_0 = \omega \cdot v = O_1 \cdot V_1 = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gh},$$

откуда

$$V_0 = \frac{\omega}{O_0} \cdot v \dots \dots \text{ и } \dots \dots V_1 = \frac{\omega}{O_1} \cdot v \dots \dots \dots (b)$$

По подстановкѣ найденныхъ значений V_0 и V_1 въ уравненіе (a) послѣдовательно получается:

$$\frac{1}{2g} \cdot \left[\left(\frac{\omega}{O_1} \cdot v \right)^2 - \left(\frac{\omega}{O_0} \cdot v \right)^2 \right] + z \cdot \frac{v^2}{2g} = h;$$

$$\frac{v^2}{2g} \cdot \left[\omega^2 \cdot \left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right) + z \right] = h;$$

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{z + \omega^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]}} = \mu \cdot \sqrt{2gh}.$$

Наконецъ, изъ послѣдняго равенства можно найти коэф-тъ μ :

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{z + \omega^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]}} \dots \dots \dots (17)$$

Теперь уравненіе (16) можно переписать иначе:

$$\begin{aligned} t = \frac{A}{\mu \cdot \omega} &= \frac{A}{\omega} \cdot \sqrt{z + \omega^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]} = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{z}{\omega^2}} = \\ &= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega}{\sqrt{z}} \right]^2}} \dots \dots \dots (18) \end{aligned}$$

¹⁾ Объ опредѣленіи коэф-въ сопротивленія см. главу IV.

Здѣсь подѣ A обозначено (см. уравненіе 16):

$$A = \frac{2 \cdot O_0 \cdot O_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{\sqrt{2g} \cdot [O_0 + O_1]} \dots \dots \dots (19)$$

24. Шлюзъ съ одной парой круговыхъ каналовъ. Формула (18) можетъ быть примѣнена къ случаю сравиванія горизонта воды въ камерѣ шлюза съ горизонтами бѣфовъ, когда соединеніе камеры съ каждымъ бѣфомъ достигается однимъ каналомъ, или правильнѣе одной парой круговыхъ каналовъ (Фиг. 9), симметрично расположенныхъ относительно оси шлюза; при чемъ ω равно суммѣ площадей и ζ —суммѣ коэффициентовъ сопротивленія обоихъ каналовъ. Такимъ образомъ, обозначивъ чрезъ Ω_1 и Ω_0 полныя площади (въ планѣ) бѣфа и камеры, получимъ:

$$T = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{[\Omega_0 + \Omega_1] \cdot \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{\Omega_0^2} - \frac{1}{\Omega_1^2} \right] + \left[\frac{1}{\left[\frac{\omega}{\sqrt{\zeta}} \right]^2} \right]} = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{C^2}} \dots \dots \dots (20)$$

25. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ съ двумя соединительными трубами. Въ этомъ случаѣ для линій тока $abcd$ и $efgh$ (Фиг. 10) уравненія *Д. Бернулли* будутъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots \dots \dots (\alpha)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h \dots \dots \dots (\beta)$$

Изъ этихъ равенствъ слѣдуетъ:

$$\frac{\zeta_1 \cdot v_1^2}{2g} - \frac{\zeta_2 \cdot v_2^2}{2g} = \frac{1}{2g} \cdot [\zeta_1 \cdot v_1^2 - \zeta_2 \cdot v_2^2] = 0;$$

$$\zeta_1 \cdot v_1^2 = \zeta_2 \cdot v_2^2; \quad v_1 \cdot \sqrt{\zeta_1} = v_2 \cdot \sqrt{\zeta_2}; \quad v_2 = v_1 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_1}{\zeta_2}} \dots \dots \dots (\gamma)$$

Постоянство расхода дастъ:

$$O_0 \cdot V_0 = O_1 \cdot V_1 = \omega_1 \cdot v_1 + \omega_2 \cdot v_2 = \omega_1 \cdot v_1 + \omega_2 \cdot v_1 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_1}{\zeta_2}} = \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_1}{\zeta_2}} \right] \cdot v_1 = M \cdot v_1 \dots \dots \dots (\delta)$$

Отсюда:

$$V_0 = \frac{M}{O_0} \cdot v_1 \dots \text{ и } V_1 = \frac{M}{O_1} \cdot v_1$$

Теперь равенство (а) может быть переписано такъ:

$$\frac{1}{2g} \cdot \left\{ \left[\frac{M}{O_1} \cdot v_1 \right]^2 - \left[\frac{M}{O_0} \cdot v_1 \right]^2 + z_1 \cdot v_1^2 \right\} = h \dots \dots \dots (a')$$

или:

$$\frac{v_1^2}{2g} \cdot \left[\left(\frac{M}{O_1} \right)^2 - \left(\frac{M}{O_0} \right)^2 + z_1 \right] = h \dots \dots \dots (a'')$$

Поэтому:

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{z_1 + M^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]}} \cdot \sqrt{2gh} = \mu_1 \cdot \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (21)$$

Расходы воды определяются выражениями:

$$q_1 = \omega_1 \cdot v_1 = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gh}; \quad q_2 = \omega_2 \cdot v_2 = \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}};$$

$$Q = q_1 + q_2 = \mu_1 \cdot \sqrt{2gh} \cdot \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right]$$

Переходя къ формуламъ для сообщающихся сосудовъ и называя переменныя площади сѣченій чрезъ O_0 и O_1 , имѣемъ:

$$\begin{aligned} -O_0 \cdot dz &= Q \cdot dt = (q_1 + q_2) \cdot dt = \\ &= \mu_1 \cdot \sqrt{2g\xi} \cdot \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right] \cdot dt = O_1 \cdot dz_1 \dots \dots \dots (22) \end{aligned}$$

Согласно чертежу (Фиг. 10):

$$z - z_1 = \xi,$$

слѣдовательно:

$$dz - dz_1 = d\xi \dots \dots \dots (23)$$

Но такъ какъ изъ уравненія (22):

$$dz_1 = -\frac{O_0}{O_1} \cdot dz,$$

то выраженіе (23) можно переписать такъ:

$$dz + \frac{O_0}{O_1} \cdot dz = d\xi, \text{ или: } dz \cdot \left[\frac{O_1 + O_0}{O_1} \right] = d\xi,$$

откуда:

$$dz = \frac{O_1}{O_1 + O_0} \cdot d\xi \dots\dots\dots (23')$$

Подставивъ найденное значеніе dz въ уравненіе (22), получимъ:

$$-\frac{O_0 \cdot O_1}{O_1 + O_0} \cdot d\xi = \mu_1 \cdot \sqrt{2g\xi} \cdot \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right] \cdot dt \dots\dots\dots (22')$$

По интегрированіи уравненія (22') съ замѣной обозначеніемъ A по выраженію (19), находимъ:

$$t = \frac{2 \cdot O_0 \cdot O_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{\mu_1 \cdot \sqrt{2g} \cdot \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right] \cdot (O_0 + O_1)} = \frac{A}{\mu_1 \cdot \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right]} \dots\dots\dots (24)$$

Изъ уравненій (б) и (21) легко найти значеніе коэффициента μ_1 формулы (24):

$$\mu_1 = \frac{1}{\sqrt{z_1 + \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] \cdot \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right]^2}} \dots\dots\dots (25)$$

Теперь въ формулѣ (24) можно сдѣлать рядъ слѣдующихъ преобразованій:

$$\begin{aligned} t &= A \cdot \frac{\sqrt{z_1 + \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] \cdot \left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right]^2}}{\left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} \right]} = \\ &= A \cdot \frac{\sqrt{z_1 \cdot z_2 + \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] \cdot \left[\omega_1 \cdot \sqrt{z_2} + \omega_2 \cdot \sqrt{z_1} \right]^2}}{\left[\omega_1 \cdot \sqrt{z_2} + \omega_2 \cdot \sqrt{z_1} \right]} = \\ &= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{z_1 \cdot z_2}{\left[\omega_1 \cdot \sqrt{z_2} + \omega_2 \cdot \sqrt{z_1} \right]^2}} = \\ &= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} + \frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} \right]^2}} \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

26. Шлюзъ съ двумя парами круговыхъ каналовъ. Формула (26) можетъ быть примѣнена къ шлюзамъ, когда сравненіе горизонтовъ производится помощью двухъ каналовъ сѣченіями ω_1 и ω_2 или, пра-

вильѣе, двухъ паръ круговыхъ каналовъ (Фиг. 11), симметрично расположенныхъ относительно оси шлюза. Площади ω_1 и ω_2 представлять тогда собою каждая сумму двухъ одинаковыхъ площадей каждой пары каналовъ. Коэффициенты сопротивленія ζ_1 и ζ_2 составляются такъ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ и каждый изъ нихъ представить сумму коэффициентовъ сопротивленія для пары однородныхъ каналовъ. Такимъ образомъ, обозначивъ черезъ Ω_1 и Ω_0 полныя площади (въ планѣ) бьефа и камеры, получимъ:

$$T = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{[\Omega_0 + \Omega_1] \cdot \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{\Omega_0^2} - \frac{1}{\Omega_1^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_1}{\sqrt{\zeta_1}} + \frac{\omega_2}{\sqrt{\zeta_2}} \right]^2}} = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{[C_0 + C_1]^2}} \dots \dots \dots (27)$$

Если въ формулахъ (26) и (27) положить $\omega_2 = 0$, т. е. допустить существованіе (Фиг. 9) только одной соединительной трубы (или для шлюза только одной пары круговыхъ каналовъ), то получаемъ соответственно формулы (18) и (20).

27. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ съ n соединительными трубами. Уравненія *Бернулли* для всѣхъ линій тока, совпадающихъ съ осями трубъ, будутъ (Фиг. 12):

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} &= h \\ \frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} &= h \\ \dots \dots \dots \\ \frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_n \cdot \frac{v_n^2}{2g} &= h \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (a)$$

Изъ взаимнаго сопоставленія этихъ уравненій слѣдуетъ:

$$\zeta_1 \cdot v_1^2 = \zeta_2 \cdot v_2^2 = \zeta_3 \cdot v_3^2 = \dots = \zeta_n \cdot v_n^2 \dots \dots \dots (b)$$

Съ другой стороны, какъ слѣдствіе постоянства расхода, можно написать:

$$O_0 \cdot \Omega_0 = O_1 \cdot V_1 = \omega_1 \cdot v_1 + \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3 + \dots + \omega_n \cdot v_n,$$

или, на основаніи равенствъ (b):

$$O_0 \cdot V_0 = O_1 \cdot V_1 = \omega_1 \cdot v_1 \cdot \left[1 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} + \frac{\omega_3}{\omega_1} \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_3}} + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{\omega_n}{\omega_1} \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_n}} \right] = N \cdot \omega_1 \cdot v_1 \dots \dots \dots (28)$$

Отсюда:

$$V_0 = \frac{N \cdot \omega_1 \cdot v_1}{O_0} \dots \dots \text{ и } \dots \dots V_1 = \frac{N \cdot \omega_1 \cdot v_1}{O_1}$$

Теперь первое равенство изъ группы (a) можно представить въ нѣсколько иномъ видѣ:

$$\frac{v_1^2}{2g} \cdot \left\{ z_1 + N^2 \cdot \omega_1^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] \right\} = h.$$

Изъ этого уравненія опредѣляется:

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{z_1 + N^2 \cdot \omega_1^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]}} \cdot \sqrt{2gh} = \mu_1 \cdot \sqrt{2gh}$$

Слѣдовательно:

$$\mu_1 = \frac{1}{\sqrt{z_1 + N^2 \cdot \omega_1^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]}} \dots \dots \dots (29)$$

Нахожденіе общей формулы для времени t остается тоже, что и въ разсмотрѣнныхъ выше случаяхъ, а именно:

$$-O_0 \cdot dz = Q \cdot dt = N \cdot \omega_1 \cdot v_1 \cdot dt = N \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{2gz} \cdot dt = O_1 \cdot dz_1$$

Послѣ интегрированія, получается формула вида (16) и (24):

$$t = \frac{A}{\mu_1 \cdot \omega_1 \cdot N} = \frac{A}{N \cdot \omega_1} \cdot \sqrt{z_1 + N^2 \cdot \omega_1^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]} = \\ = A \cdot \sqrt{\frac{z_1}{N^2 \cdot \omega_1^2} + \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right]} \dots \dots \dots (30)$$

Послѣ подстановки въ выраженіе (30) значенія $N \cdot \omega_1$ изъ уравненія (28), окончательно опредѣлится:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{z_1}{\left[\omega_1 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_2}} + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_3}} + \dots + \omega_n \cdot \sqrt{\frac{z_1}{z_n}} \right]^2}}$$

$$= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} + \frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}} + \dots + \frac{\omega_n}{\sqrt{z_n}} \right]^2}} \dots (31)$$

Это выраженіе (31) есть окончательный *общій видъ* точной формулы *Ф. Е. Максименко* для всѣхъ вышеперасмотрѣнныхъ случаевъ, т. е. для двухъ сообщающихся сосудовъ съ n соединительными каналами.

28. Шлюзъ съ n парами круговыхъ каналовъ. Формула (31) въ примѣненіи къ шлюзамъ, когда сравненіе горизонтовъ производится помощью пары отверстій въ полотнахъ воротъ и n паръ круговыхъ каналовъ, симметрично расположенныхъ относительно оси шлюза (Фиг. 13), получить видъ:

$$T = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{[\Omega_0 + \Omega_1] \cdot \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{\Omega_0^2} - \frac{1}{\Omega_1^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} + \frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \dots + \frac{\omega_n}{\sqrt{z_n}} \right]^2}}$$

$$= A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{[C_0 + C_1 + C_2 + \dots + C_n]^2}} = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{C^2}} \dots (32)$$

Дѣйствительныя значенія упрощенных¹⁾ обозначеній видны изъ самаго построенія формулы. Отверстія въ полотнахъ воротъ (общей площадью ω_0) могутъ быть разсматриваемы тоже какъ круговые каналы ²⁾ съ соответственнымъ только общимъ коэффициентомъ сопротивленія z_0 .

29. Частные случаи общей формулы:

а) Если въ общей формулѣ (32) *пренебречь членомъ B* , вслѣдствіе его малой величины, то:

$$T = A \cdot \frac{1}{C} \dots \dots \dots (33)$$

¹⁾ См. *Н. Д. Тяпкингъ*. Внутреннія водяныя сообщенія. Ч. II, стр. 111—112.

²⁾ См. объясненіе дальше, *n*⁰ 30, стр. 26.

β) Въ этомъ послѣднемъ случаѣ, при n парахъ круговыхъ каналовъ *одного и того же сѣченія* ω_1 :

$$T=A \cdot \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{n \cdot \omega_1}{\sqrt{z_1}} \right]} \dots \dots \dots (34)$$

γ) При отсутствіи отверстій въ полотнахъ воротъ формула (34) приметъ видъ:

$$T=A \cdot \frac{\sqrt{z_1}}{n \cdot \omega_1} \dots \dots \dots (35)$$

30. Распространеніе общей формулы круговыхъ каналовъ на отверстія въ полотнахъ воротъ. Для n паръ отверстій только въ полотнахъ воротъ примѣнима также эта послѣдняя формула, съ соотвѣтственно только измѣненными значками при z и ω , т. е.

$$T=A \cdot \frac{\sqrt{z_0}}{n \cdot \omega_0} \dots \dots \dots (35')$$

Слѣдуетъ при этомъ замѣтить, что полный коэффициентъ z сопротивленія при истеченіи черезъ незатопленное отверстіе въ полотнахъ воротъ можетъ быть принять равнымъ: $\frac{1}{\phi^2} - 1$, какъ это дается въ гидравликѣ ¹⁾ при истеченіи черезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ на воздухъ; при истеченіи черезъ затопленные отверстія эта величина конечно измѣняется, но за отсутствіемъ точныхъ данныхъ дѣйствительное z въ этомъ случаѣ намъ неизвѣстно. При существованіи въ шлюзѣ одновременно отверстій въ полотнахъ воротъ и круговыхъ каналовъ, опредѣлять T желательно сразу подсчетомъ по одной общей формулѣ, а не по нѣсколькимъ. Конечно, для достиженія этой цѣли единственной и лучшей является формула *Ф. Е. Максименко*.

Посмотримъ, какова должна быть величина коэффициента z_0 въ формулѣ (35'), чтобы она дала тѣ же результаты, что и общая формула (2,2⁰) главы I. Величина z_0 , найденная въ этомъ случаѣ, останется тою же и при примѣненіи формулы (32). Для этого проведемъ слѣдующія упрощенія и разсужденія. Пусть: $\xi_0=h$, $\xi_1=0$, $\Omega_1=\infty$; затѣмъ для коэффициента сопротивленія оставимъ то же общее для этихъ формулъ выраженіе: $z_0=z_0^I+z_0^{II}+z_0^{III}$, чтобы вести

¹⁾ См. *Ф. Е. Максименко*. Стр. 83.

аналогичное построение формулы. Пренебрегая в этомъ выраженіи членомъ z_0^{II} , соответствующимъ сопротивленію по длинѣ L канала, которая для отверстій въ полотнахъ воротъ ничтожна (но во всякомъ случаѣ больше, чѣмъ при отверстіи въ тонкой стѣнкѣ) и принимая отношенія $\frac{\omega_0}{\Omega_0}$ и $\frac{\Omega_0}{\Omega_1}$ равными нулю по значительной малости ω_0 сравнительно съ Ω_0 и Ω_0 сравнительно съ Ω_1 , найдемъ:

$$z_0 = z_0^I + z_0^{III} = \left(\frac{1}{\mu^2} - 1 \right) + \left(1 - \frac{\omega_0}{\Omega_0} \right) \frac{1}{\mu^2} \dots \dots \dots (36)$$

Подставляя теперь это значеніе z_0 и принятыя величины ξ_0 , ξ_1 и Ω_1 въ формулу (35'), получимъ:

$$T = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{[\Omega_0 + \Omega_1] \cdot \sqrt{2g}} \cdot \frac{\sqrt{z_0}}{n \cdot \omega_0} = \frac{2 \Omega_0 \sqrt{h}}{\left[1 + \frac{\Omega_0}{\Omega_1} \right] \cdot \sqrt{2g}} \cdot \frac{1}{\mu \cdot n \cdot \omega_0} =$$

$$= \frac{2 \cdot \Omega_0}{\mu \cdot n \cdot \omega_0} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \dots \dots \dots (37)$$

Такимъ образомъ, получилась общая формула (2), указанная въ главѣ I при разсмотрѣннн истеченія воды только черезъ щитовыя отверстія въ полотнахъ воротъ. Слѣдовательно, при всѣхъ подсчетахъ съ общеою формулою (32) и ея разобранными частными разновидностями для z_0 въ этихъ формулахъ надо принимать величину по уравненію (36).

31. Примѣненіе къ разобраннымъ случаямъ. Теперь понятны ниже слѣдующіе переходы отъ выведенныхъ выше формулъ къ другимъ. Такъ:

1. Изъ формулъ (18) и (20)—стр. 19—20, по подстановкѣ ω_0 и z_0 вмѣсто ω и z , получается формула (37), или (2) главы I.

2. Дѣлая нѣкоторыя упрощенія въ формулахъ (26) и (27) стр. 22--23, получимъ формулу для случая (Фиг.9) сообщающихся сосудовъ съ однимъ отверстіемъ въ тонкой стѣнкѣ и одной соединительной трубой (или для шлюза—одной пары щитовыхъ отверстій въ полотнахъ воротъ и одной пары круговыхъ каналовъ, симметрично расположенныхъ). Вополнѣ ясны и тѣ приемы, помощью которыхъ отъ этихъ формулъ можно перейти къ формулѣ при пользованіи только одними щитовыми отверстіями въ полотнахъ воротъ.

§ 4. Обь опредѣленіи T_2 .

32. **Время опорожненія.** Въ § 2 и § 3 разсмотрѣны формулы для опредѣленія T_1 . Время опорожненія T_2 плузной камеры въ нижней бьефъ выразится тѣми же формулами съ соотвѣтственными только обозначеніями.

§ 5. О поправкахъ въ найденныхъ T_1 и T_2 .

33. **Время, нужное для открытія затворовъ.** Найденныя T надо еще исправить вслѣдствіе немгновеннаго открытія затворовъ отверстій, поступаая совершенно такъ же, какъ это было указано выше ¹⁾ при разсмотрѣніи истеченія только черезъ щитовыя отверстія въ полотнахъ воротъ.

Г Л А В А III.

ПРОДОЛЬНЫЕ КАНАЛЫ ВЪ СТѢНАХЪ ПЛУЗА СЪ ПОПЕ-
РЕЧНЫМИ ОТВѢТВЛЕНІЯМИ ПО ДЛИНѢ.

34. **О примѣненіи особыхъ формулъ для продольныхъ каналовъ.** Въ случаѣ устройства въ плузѣ продольныхъ водопроводовъ съ отвѣтвленіями для опредѣленія T_1 и T_2 можно пользоваться формулами и данными гидродинамики, примѣняемыми къ расчету закрытыхъ водопроводныхъ трубъ и въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ рѣшить самостоятельно требуемый вопросъ. Но, безъ сомнѣнія, проще легче и скорѣе примѣнить уже окончательную формулу, если только она къ даннымъ условіямъ подходит. Поэтому конечно желательнo было бы имѣть по возможности общія окончательныя формулы, которыя могли бы быть примѣняемы къ различнымъ отдѣльнымъ случаямъ, дѣлая лишь соотвѣтственныя измѣненія въ отдѣльныхъ членахъ формулы.

Въ настоящее время имѣются такія общія формулы:

1. Инженера *Θ. Г. Зброжека*—для приближенныхъ вычисленій
- и 2. Профессора *Ф. Е. Максименко*—для точнаго, въ предѣлахъ возможности, рѣшенія вопроса.

Къ выводамъ этихъ формулъ мы и переходимъ.

A. Формула инженера *Θ. Г. Зброжека*.

§ 1. Имѣющіеся въ литературѣ данныя.

35. **Отсутствіе вывода.** *Θ. Г. Зброжекъ* въ своемъ курсѣ ²⁾ для времени наполненія камеры чрезъ продольный водопроводъ съ n

¹⁾ Глава I, стр. 7—9.

²⁾ *Θ. Г. Зброжекъ*. Курсъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній. С.-Пб. 1897 стр. 407—412.

отвѣтвленіями по длинѣ даетъ нижеслѣдующія условія и формулы не указывая ихъ вывода.

36. Принятія дополнительные обозначенія.

1. Съченіе главнаго водопровода по всей длинѣ = ω .
2. Съченіе каждаго изъ всѣхъ поперечныхъ отвѣтвленій (боковыхъ отверстій) = ω_1
3. Разстоянія между центрами боковыхъ отверстій и между центрами перваго бокового и начальнаго отверстія водопровода равны между собою и = $x (=l)$, такъ что вся длина водопровода (считая по прямой, между крайними—начальнымъ и конечнымъ отверстіями) = $L = n \cdot l$.
4. Периметръ сѣченія водопровода = $s (=p)$; подводный радіусъ его $R = \frac{\omega}{p}$
5. Коэффициентъ расхода чрезъ начальное отверстіе $\mu = 0,33$
6. Коэффициентъ расхода чрезъ боковыя отверстія $\mu_1 = 0,33$

37. Общая формула гидравлики. Время наполненія камеры опредѣляется въ этомъ случаѣ такъ же по указанной выше (глава I) формулѣ гидравлики для истеченія чрезъ затопленныя отверстія въ полотнахъ воротъ:

$$T = \frac{2 \cdot \Omega \cdot \sqrt{h}}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} = \frac{2 \cdot \Omega}{\mu \cdot \omega} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} = \frac{2 \cdot \Omega}{\mu \cdot n \cdot a \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \dots \dots \dots (2)$$

При этомъ подъ ω надо подразумѣвать сумму отверстій обоихъ симметрично расположенныхъ каналовъ. Если же считать ω для одного только канала, то при двухъ равныхъ (съ обѣихъ сторонъ камеры) водопроводахъ это время опредѣлится изъ формулы:

$$T = \frac{\Omega \cdot \sqrt{h}}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} = \frac{\Omega}{\mu \cdot \omega} \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \dots \dots \dots (2''')$$

38. Условіе пользованія общей формулой гидравлики. Для примѣненія формулы (2''') щитовыхъ отверстій къ водопроводу съ отвѣтвленіями должно быть, какъ указываетъ *Θ. Г. Зброжекъ*, удовлетворено слѣдующее условіе:

$$\mu_1 \cdot \omega_1 \cdot [\sqrt{\alpha_1} + \sqrt{\alpha_2} + \dots + \sqrt{\alpha_n}] = \mu \cdot \omega \dots \dots \dots (38)$$

Коэффициенты α потерь напора на длинѣ водопровода между отверстіями отвѣтвленій имѣютъ слѣдующія значенія:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= 1 - \frac{A \cdot \mu^2 \cdot 2gl}{R} \\ \alpha_2 &= \alpha_1 - \frac{A \cdot 2gl}{R \cdot \omega^2} \cdot [\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1}]^2 \\ \dots \dots \dots \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} - \frac{A \cdot 2gl}{R \cdot \omega^2} \cdot [\mu \cdot \omega - \mu_1 \omega_1 \cdot (\sqrt{\alpha_1} + \sqrt{\alpha_2} + \dots + \sqrt{\alpha_{n-1}})]^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots (39)$$

Въ этихъ формулахъ коэффициентъ A сопротивленія берется по даннымъ *Дарси-Базена* ¹⁾.

§ 2. Предполагаемый выводъ формулы въ общемъ видѣ.

39. Выводъ формулы (2) или (2'') имѣется въ курсѣ гидравлики и понятенъ изъ разобранныхъ уже выше случаевъ. Формулы (38) и (39) могутъ быть получены какъ частный случай изъ выведенной далѣе формулы общаго вида.

Пусть имѣется (Фиг. 14) нѣкоторое широкое приемное изъ верхняго бѣефа отверстіе и каналъ AB , отъ котораго начинается продольный водопроводъ ab , расположенный въ стѣнѣ шлюза; приемное отверстіе этого водопровода находится въ сѣченіи aa_1 , площадь поперечнаго сѣченія по всей длинѣ этого канала постоянная и равна ω . Предположимъ затѣмъ, что этотъ водопроводъ имѣетъ n отвѣтвленій (отверстій), площади сѣченій коихъ пусть будутъ:

$$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n;$$

расходы воды чрезъ эти отверстія соответственно:

$$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n;$$

разстоянія между центрами отверстій послѣдовательно:

$$l, l_1, l_2, l_3, \dots, l_{n-1},$$

такъ что общая длина водопровода:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{n-1}.$$

Будемъ считать, что чрезъ отверстіе aa_1 , площадью ω , будетъ проходить весь расходъ Q подъ напоромъ h , равнымъ разности го-

¹⁾ См. гл. IV.

ризонтовъ бѣфовъ. Такимъ образомъ расходъ воды чрезъ это отверстие выразится:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (a)$$

Пусть потери напора отъ гидравлическихъ сопротивленийъ на пути между каждой парой отверстій послѣдовательно будутъ:

$$\Delta h \dots \Delta h_1 \dots \Delta h_2 \dots \dots \Delta h_{n-1}$$

Тогда соотвѣственные напоры, при которыхъ будетъ происходить истечение чрезъ боковыя отверстія, опредѣлятся такъ:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= h & - \Delta h & = \alpha_1 h \\ h_2 &= h_1 & - \Delta h_1 & = \alpha_2 h \\ h_3 &= h_2 & - \Delta h_2 & = \alpha_3 h \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_n &= h_{n-1} & - \Delta h_{n-1} & = \alpha_n h \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (b)$$

Отдѣльные расходы воды чрезъ эти отверстія будутъ:

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gh_1} \\ q_2 &= \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{2gh_2} \\ q_3 &= \mu_1 \cdot \omega_3 \cdot \sqrt{2gh_3} \\ \dots & \dots \dots \dots \\ q_n &= \mu_1 \cdot \omega_n \cdot \sqrt{2gh_n} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (c)$$

При этомъ безъ сомнѣнiя должно существовать слѣдующее равенство:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} q_i = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gh_1} + \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{2gh_2} + \dots \dots + \mu_1 \cdot \omega_n \cdot \sqrt{2gh_n} \dots \dots \dots (40)$$

Для равномернаго движенiя воды въ трубахъ имѣется, уже неоднократно указанная выше, формула:

$$v = C \cdot \sqrt{Ri}, \text{ или } Ri = A \cdot v^2 \dots \dots \dots (a)$$

или, по Дарси-Базену:

$$\frac{t}{\Delta} = Ri = b_1 \cdot v^2 = \left(a + \frac{b}{R} \right) \cdot v^2 \dots \dots \dots Q = \omega \cdot v \dots \dots \dots (41)$$

Величина коэффициента сопротивления b_1 (или A по обозначению *Зброжска*) может быть легко определена при известных a и b и данномъ R ¹⁾.

При горизонтальномъ трубопроводѣ i представляетъ уклонъ прямой, соединяющей пьезометрическіе уровни жидкости въ двухъ конечныхъ пунктахъ разсматриваемаго участка. Поэтому формулу (41) можно переписать въ такомъ видѣ:

$$Ri = b_1 \cdot v^2 = R \cdot \frac{\Delta h}{l} = b_1 \cdot \left(\frac{Q}{\omega}\right)^2 \dots\dots\dots (d)$$

Теперь изъ выраженій (a) и (d) получимъ:

$$\Delta h = \frac{b_1 \cdot Q^2 \cdot l}{R \cdot \omega^2} = \frac{b_1 \cdot \mu^2 \cdot \omega^2 \cdot 2gh \cdot l}{R \cdot \omega^2} = \frac{b_1 \cdot \mu^2 \cdot 2gl}{R} \cdot h \dots\dots\dots (e)$$

Такимъ образомъ по уравненіямъ (b) и (e) находимъ:

$$h_1 = h - \Delta h = \left(1 - \frac{b_1 \cdot \mu^2 \cdot 2gl}{R}\right) \cdot h = \alpha_1 \cdot h \dots\dots\dots (b')$$

Слѣдовательно, согласно равенствъ (c) и (b') имѣемъ:

$$q_1 = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gh_1} = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1 \cdot 2gh} \dots\dots\dots (e')$$

Подобнымъ же образомъ получаемъ слѣдующее:

$$\begin{aligned} \Delta h_1 &= \frac{b_1 \cdot l_1}{R \cdot \omega^2} \cdot (Q - q_1)^2 = \frac{b_1 \cdot l_1}{R \cdot \omega^2} \left[\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gh} - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1 \cdot 2gh} \right]^2 = \\ &= \frac{b_1 \cdot l_1}{R \cdot \omega^2} \cdot \left[\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} \right]^2 \cdot 2gh \dots\dots\dots (e'') \end{aligned}$$

Далѣе такъ-же находимъ:

$$\begin{aligned} h_2 &= h_1 - \Delta h_1 = \alpha_1 \cdot h - \frac{b_1 \cdot l_1}{R \cdot \omega^2} \cdot \left[\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} \right]^2 \cdot 2gh = \\ &= \left[\alpha_1 - \frac{b_1 \cdot l_1}{R \cdot \omega^2} \cdot (\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1})^2 \cdot 2g \right] \cdot h = \alpha_2 \cdot h \dots\dots\dots (b'') \end{aligned}$$

Наконецъ, такъ-же имѣемъ:

$$q_2 = \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{2gh_2} = \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2 \cdot 2gh} \dots\dots\dots (c'')$$

¹⁾ Объ опредѣленіи гидравлическихъ сопротивленій см. далѣе, гл IV.

Для слѣдующаго отверстія соотвѣтственно можно написать:

$$\Delta h_2 = \frac{b_1 \cdot l_2}{R \cdot \omega^2} \cdot (Q - q_1 - q_2)^2 = \frac{b_1 \cdot l_2}{R \cdot \omega^2} \cdot [\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gh} - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1 \cdot 2gh} - \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2 \cdot 2gh}]^2 = \frac{b_1 \cdot l_2}{R \cdot \omega^2} \cdot [\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} - \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2}]^2 \cdot 2gh; \dots (e')$$

$$h_3 = h_2 - \Delta h_2 = \alpha_2 \cdot h - \frac{b_1 \cdot l_2}{R \cdot \omega^2} \cdot [\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} - \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2}]^2 \cdot 2gh = [\alpha_2 - \frac{b_1 \cdot l_2}{R \cdot \omega^2} \cdot (\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} - \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2})^2 \cdot 2g] \cdot h = \alpha_3 \cdot h; \dots (b''')$$

$$q_3 = \mu_1 \cdot \omega_3 \cdot \sqrt{2gh_3} = \mu_1 \cdot \omega_3 \cdot \sqrt{\alpha_3 \cdot 2gh} \dots \dots \dots (c''')$$

Составляя эти элементы точно такимъ же образомъ далѣе, наконецъ для n -аго отверстія получимъ соотвѣтственно:

$$h_n = h_{n-1} - \Delta h_{n-1} = [\alpha_{n-1} - \frac{b_1 \cdot l_{n-1}}{R \cdot \omega^2} \cdot (\mu \cdot \omega - \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} - \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2} - \mu_1 \cdot \omega_3 \cdot \sqrt{\alpha_3} - \dots - \mu_1 \cdot \omega_{n-1} \cdot \sqrt{\alpha_{n-1}})^2 \cdot 2g] \cdot h = \alpha_n \cdot h; \dots \dots \dots (b^{(n)})$$

$$q_n = \mu_1 \cdot \omega_n \cdot \sqrt{2gh_n} = \mu_1 \cdot \omega_n \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot 2gh} \dots \dots \dots (c^{(n)})$$

Теперь, сопоставляя уравненіе (40) съ только что найденными, слѣдаемъ слѣдующія преобразованія:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} q_i = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1 \cdot 2gh} + \mu_1 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2 \cdot 2gh} + \dots + \mu_1 \cdot \omega_n \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot 2gh} = \mu_1 \cdot [\omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} + \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2} + \omega_3 \cdot \sqrt{\alpha_3} + \dots + \omega_n \cdot \sqrt{\alpha_n}] \cdot \sqrt{2gh} \dots (40')$$

Слѣдовательно должно существовать такое равенство:

$$Q \cdot dt = \mu_1 \cdot [\omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} + \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2} + \dots + \omega_n \cdot \sqrt{\alpha_n}] \cdot \sqrt{2gh} \cdot dt = \Omega_0 \cdot dh$$

Отсюда:

$$dt = \frac{\Omega_0}{\mu_1 \cdot (\omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} + \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2} + \dots + \omega_n \cdot \sqrt{\alpha_n}) \cdot \sqrt{2g}} \cdot \frac{dh}{\sqrt{h}}$$

По интегрированіи, находимъ *въ общемъ видѣ* формулу для опредѣленія времени наполненія камеры:

$$T_1 = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \sqrt{h}}{\mu_1 \cdot (\omega_1 \cdot \sqrt{\alpha_1} + \omega_2 \cdot \sqrt{\alpha_2} + \dots + \omega_n \cdot \sqrt{\alpha_n}) \cdot \sqrt{2g}} \dots \dots \dots (42)$$

40. Частные случаи. При всѣхъ отвѣтвленіяхъ одинаковаго сѣченія $=\omega_1$, расположенныхъ на одинаковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга и отъ начальнаго отверстія водопровода получаютъ:

- а) при двухъ равныхъ водопроводахъ, сѣченіемъ ω каждый, съ обѣихъ сторонъ камеры, формулы (2'''), (38) и (39);
- и б) при двухъ равныхъ водопроводахъ съ обѣихъ сторонъ камеры, общимъ сѣченіемъ ω , формулы (2), (38) и (39).

Такимъ образомъ, вышеуказанная формула инженера *Зброжека* представляетъ частный видъ формулы (42).

§ 3. Нѣкоторыя соображенія о правильности пользованія формулой

Ө. Г. Зброжека.

41. Разсматриваемыя гидравлическія сопротивленія. Въ формулѣ (42), а слѣдовательно и въ формулѣ *Зброжека* принято во вниманіе лишь сопротивленіе по длинѣ главнаго водопровода, предполагая его прямолинейнымъ; всѣ возможныя мѣстныя сопротивленія не введены въ вышеуказанныя формулы; истечение чрезъ боковыя отвѣтвленія разсматривается какъ истечение чрезъ щитовыя отверстія въ тонкой стѣнкѣ. Поэтому, полученное такимъ образомъ, время T_1 далеко не можетъ соответствовать дѣйствительному.

42. Выбранный коэффициентъ расхода. Конечно, удачно выбранный коэффициентъ расхода μ и μ_1 (или поправочный коэффициентъ формулы) можетъ легко покрыть указанные только что недочеты формулы. Но какъ его выбрать, изъ какихъ опредѣленныхъ данныхъ? *Ө. Г. Зброжекъ* предлагаетъ этотъ коэффициентъ расхода принимать равнымъ $0_{,55}$ во всѣхъ случаяхъ истечения, съ чѣмъ конечно согласиться нельзя, ибо условія истечения чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ, чрезъ главный каналъ большого сѣченія и наконецъ чрезъ отвѣтвленія совершенно различны между собою вслѣдствіе разнаго рода сопротивленій, встрѣчаемыхъ водою при ея движеніи во всѣхъ этихъ случаяхъ.

Затѣмъ, если считать коэффициентъ расхода для отверстій въ тонкой стѣнкѣ $0_{,62}$, а въ этой формулѣ какъ нѣкоторый поправочный коэффициентъ $0_{,55}$, то на основаніи какихъ же соображеній такъ слѣдуетъ поступать, можетъ ли быть у насъ увѣренность, что выборъ сдѣланъ правильно.

43. Произвольная поправка послѣ вычисленій. Если принять $\mu = \mu_1 = 0_{,55}$ во всѣхъ случаяхъ истечения, и затѣмъ чтобы быть увѣреннымъ, что наполненіе камеры произойдетъ въ назначенное время, слѣ-

дать, какъ рекомендуетъ Θ . *I*. *Зброжекъ*, ω или ω_1 , или оба одновременно (ω и ω_1) нѣсколько (?) больше, то невольно напрашиваются слѣдующіе вопросы: которое же изъ ω и ω_1 увеличить выгоднѣе и если это нужно сдѣлать, то на сколько?

44. Видъ формулы и предѣлъ примѣненія ея. Формула эта по своему виду не простая, требуетъ вычисленій многихъ элементовъ и могла бы быть рекомендована лишь для приблизительныхъ подсчетовъ при проектированіи; примѣняя же ее къ существующимъ сооружениямъ слѣдовало бы получить рядомъ наблюденій дѣйствительное значеніе поправочнаго коэффициента этой формулы для различныхъ случаевъ устройства и расположенія продольнаго водопровода и его отвѣтвленій.

45. Время опорожненія T_2 камеры принимается при пользованіи этой формулой равнымъ времени наполненія. Это, какъ увидимъ далѣе при подсчетахъ, не всегда можетъ быть справедливо, особенно если для опорожненія служить совершенно иная система водопроводовъ.

Б. Формулы профессора *Ф. Е. Максименко*.

46. Основные особенности вывода. Нижеприведенныя формулы выведены, принимая во вниманіе всѣ возможные гидравлическія сопротивленія какъ общія, такъ и мѣстныя; коэффициенты расхода и сопротивленій могутъ быть взяты изъ имѣющихся данныхъ ряда опытовъ по гидравликѣ для всѣхъ соответственныхъ случаевъ. Выводъ этихъ формулъ таковъ же, какъ и для круговыхъ каналовъ, а потому общія части выводовъ оставлены безъ повторительныхъ объясненій, какъ уже не представляющія для читателей неясностей.

§ 4. Опредѣленіе времени T_1 для наполненія камеры изъ верхняго бьефа.

47. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ однимъ каналомъ, имѣющимъ на концѣ два отвѣтвленія. Подобно изложенному въ главѣ II (Фиг. 15) уравненія *Бернулли* для линий тока *abcde* и *abefg* будутъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + z_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = h \dots\dots\dots (a)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + z_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h \dots\dots\dots (b)$$

Изъ этихъ двухъ равенствъ слѣдуетъ:

$$z_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = z_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g}; \text{ или } z_3 \cdot v_3^2 = z_2 \cdot v_2^2;$$

откуда:

$$v_3 = v_2 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}, \text{ или } v_2 = v_3 \cdot \sqrt{\frac{z_3}{z_2}}$$

Поэтому:

$$Q = O_0 \cdot V_0 = O_1 \cdot V_1 = \omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_2 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}$$

Отсюда получается:

$$V_1 = \frac{\omega_1}{O_1} \cdot v_1; \quad V_0 = \frac{\omega_1}{O_0} \cdot v_1; \quad v_1 = \frac{1}{\omega_1} \cdot \left[v_2 \cdot \left(\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \right) \right]$$

Такимъ образомъ:

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_3 \cdot \sqrt{\frac{z_3}{z_2}} + \omega_3 \cdot v_3; \quad v_3 = \frac{\omega_1 \cdot v_1}{\left(\omega_3 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_3}{z_2}} \right)} \dots\dots (c)$$

Теперь уравненіе (a), по подстановкѣ въ него найденныхъ величинъ, приметъ видъ:

$$\frac{1}{2g} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{\omega_1}{O_1} \cdot v_1 \right)^2 - \left(\frac{\omega_1}{O_0} \cdot v_1 \right)^2 \right] + z_1 \cdot v_1^2 + z_3 \cdot \left(\frac{\omega_1 \cdot v_1}{\omega_3 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_3}{z_2}}} \right)^2 \right\} = h \quad (a')$$

или:

$$\frac{v_1^2}{2g} \cdot \left\{ \omega_1^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + z_1 + \frac{z_3 \cdot \omega_1^2}{\left(\omega_3 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_3}{z_2}} \right)^2} \right\} = h \dots\dots (a'')$$

Слѣдовательно:

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{\omega_1^2 \cdot \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + z_1 + \frac{z_3 \cdot \omega_1^2}{\left(\omega_3 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{z_3}{z_2}} \right)^2}}} \cdot \sqrt{2gh} = \mu_1 \cdot \sqrt{2gh} \quad (43)$$

И такъ, имѣемъ:

$$Q = \omega_1 \cdot v_1 = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gh} \dots \text{ и } \dots O_0 \cdot dz = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gh} \cdot dt$$

Теперь подобно выше разсмотрѣннымъ случаямъ въ § 3, главы II-й, находимъ:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{2 \cdot O_0 \cdot O_1}{\omega_1 \cdot \sqrt{2g} \cdot (O_0 + O_1)} \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}] \times \\
 &\times \sqrt{\omega_1^2 \cdot \left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right) + \zeta_1 + \frac{\zeta_3' \cdot \omega_1^2}{(\omega_3 + \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_3}{\zeta_2}})^2}} = \\
 &= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{\zeta_1}{\omega_1^2} + \frac{\zeta_2 \cdot \zeta_3}{[\omega_3 \cdot \sqrt{\zeta_2} + \omega_2 \cdot \sqrt{\zeta_3}]^2}} = \\
 &= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{\zeta_1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\left[\frac{\omega_2}{\sqrt{\zeta_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{\zeta_3}} \right]^2}} \dots \dots \dots (44)
 \end{aligned}$$

48. Продольные каналы въ шлюзѣ съ двумя на концѣ отвѣтвленіями
 Формула (44) можетъ быть примѣнена къ шлюзамъ, когда (Фиг. 16) сравниваніе горизонтовъ производится помощью пары симметрично расположенныхъ продольныхъ каналовъ общимъ сѣченіемъ ω' съ коэффициентомъ сопротивленія ζ' , имѣющихъ по два на концѣ отвѣтвленія, для которыхъ общія площади поперечныхъ сѣченій симметричныхъ паръ будутъ ω_1 и ω_2 , а соответственные коэффициенты сопротивленія ζ_1 и ζ_2 . Тогда эта формула получитъ видъ:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{[\Omega_0 + \Omega_1] \cdot \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{\Omega_0^2} - \frac{1}{\Omega_1^2} \right] + \frac{\zeta'}{(\omega')^2} + \frac{1}{\left[\frac{\omega_1}{\sqrt{\zeta_1}} + \frac{\omega_2}{\sqrt{\zeta_2}} \right]^2}} = \\
 &= A \cdot \sqrt{B + D + \frac{1}{[C_1 + C_2]^2}} \dots \dots \dots (45)
 \end{aligned}$$

Примѣняясь къ самому общему виду нижеприводимой формулы, это выраженіе можно написать такъ:

$$T_1 = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left[\frac{1}{\sqrt{D + \frac{1}{[C_1 + C_2]^2}}} \right]^2}} \dots \dots \dots (45')$$

Упрощенныя обозначенія, введенныя здѣсь, удерживаются во всѣхъ дальнѣйшихъ выводахъ; именно: *A* и *B* имѣютъ прежнія значенія, что и въ главѣ II; затѣмъ:

$$C_i = \frac{\omega_i}{\sqrt{z_i}} \dots \text{ и } \dots D^i = \frac{z^i}{(\omega^i)^2}.$$

49. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ каналомъ, имѣющимъ на концѣ два развѣтвленія. Уравненія *Бернулли* для лишней тока (Фиг. 17) *abcd*, *efgk* и *efglm* будутъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + z_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = h \dots \dots \dots (a)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + z_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = h \dots \dots \dots (b)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + z_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h \dots \dots \dots (c)$$

Изъ этихъ уравненій слѣдуетъ:

$$z_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + z_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} \dots \dots \dots (d)$$

$$z_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + z_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (e)$$

$$z_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = z_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (f)$$

$$v_3 = v_2 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \dots \dots \dots (g)$$

Затѣмъ, подобно предыдущему, имѣемъ:

$$Q = O_0 \cdot V_0 = O_1 \cdot V_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_1 \cdot v_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3; \dots (h)$$

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_2 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}},$$

откуда:

$$v_1 = \frac{v_2}{\omega_1} \cdot \left[\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \right] \dots \text{ и } \dots v_2 = \frac{\omega_1 \cdot v_1}{\left(\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \right)} \dots (k)$$

Теперь, изъ уравненія (e) находимъ:

$$z_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + z_2 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \cdot \left(\frac{\omega_1}{\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}} \right)^2,$$

или

$$z_0 v_0^2 = v_1^2 \cdot \left\{ z_1 + z_2 \cdot \left[\frac{\omega_1}{\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}} \right]^2 \right\},$$

откуда:

$$v_1 = \frac{v_0 \cdot \sqrt{z_0}}{\sqrt{z_1 + z_2 \cdot \left[\frac{\omega_1}{\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}} \right]^2}} = P \cdot v_0 \dots \dots (l)$$

По подстановкѣ найденнаго значенія v_1 въ равенство (h), получимъ:

$$\begin{aligned} O_0 \cdot V_0 &= \omega_0 \cdot v_0 \cdot \left[1 + \frac{\omega_1}{\omega_0} \cdot \sqrt{\frac{z_0}{z_1 + z_2 \cdot \left(\frac{\omega_1}{\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}} \right)^2}} \right] = \\ &= \omega_0 \cdot v_0 \cdot \left[1 + \frac{\omega_1}{\omega_0} \cdot P \right] = \omega_0 \cdot v_0 \cdot R \dots \dots (m) \end{aligned}$$

Отсюда:

$$V_0 = \frac{\omega_0}{O_0} \cdot R \cdot v_0 \dots \dots (m')$$

Обозначенія P и R введены для упрощенія нижеслѣдующихъ выкладокъ; для достиженія той же цѣли обозначимъ еще:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}} = S \dots \dots (n)$$

Тогда по выраженіямъ (l) и (n):

$$P = \sqrt{\frac{z_0}{z_1 + z_2 \cdot S^2}} \dots \dots (l')$$

Теперь уравнение (а), по подстановкѣ найденныхъ величинъ, можно переписать послѣдовательно такъ:

$$\frac{V_0^2}{2g} \cdot \left[\left(\frac{O_0}{O_1} \right)^2 - 1 \right] + z_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = h;$$

$$\frac{1}{2g} \cdot \left(\frac{\omega_0}{O_0} \cdot R \cdot v_0 \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{O_0}{O_1} \right)^2 - 1 \right] + z_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = h;$$

$$\frac{v_0^2}{2g} \cdot \left\{ R^2 \cdot \left(\frac{\omega_0}{O_0} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{O_0}{O_1} \right)^2 - 1 \right] + z_0 \right\} = h.$$

Отсюда:

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{R^2 \cdot \left(\frac{\omega_0}{O_0} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{O_0}{O_1} \right)^2 - 1 \right] + z_0}} \cdot \sqrt{2gh} = \mu_1 \cdot \sqrt{2gh} \dots \dots (46)$$

Поэтому:

$$\mu_1 = \frac{1}{\sqrt{z_0 + \left[\left(\frac{O_0}{O_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{\omega_0}{O_0} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\omega_1}{\omega_0} \cdot P \right)^2}} \dots \dots \dots (46')$$

И такъ, имѣемъ изъ выражений (h), (l) и (46):

$$Q = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_1 \cdot v_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_1 \cdot P \cdot v_0 = v_0 \cdot [\omega_0 + P \cdot \omega_1] = [\omega_0 + P \cdot \omega_1] \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{2gh}.$$

Затѣмъ, по предыдущему:

$$-O_0 \cdot dz = Q \cdot dt = \mu_1 \cdot \sqrt{2g\xi} \cdot [\omega_0 + P \cdot \omega_1] \cdot dt;$$

$$-\frac{O_0 \cdot O_1}{O_0 + O_1} \cdot d\xi = \mu_1 \cdot \sqrt{2g\xi} \cdot [\omega_0 + P \cdot \omega_1] \cdot dt.$$

По интегрировании этого уравненія и замѣнѣ нѣкоторыхъ обозначеній ихъ дѣйствительными величинами находимъ:

$$t = \frac{2 \cdot O_0 \cdot O_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{\sqrt{2g} \cdot [O_0 + O_1]} \cdot \frac{1}{\mu_1 \cdot [\omega_0 + P \cdot \omega_1]} = A \cdot \frac{1}{\mu_1 \cdot [\omega_0 + P \cdot \omega_1]} =$$

$$= A \cdot \frac{\sqrt{z_0 + \left[\left(\frac{O_0}{O_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{\omega_0}{O_0} \right)^2 \cdot \left[1 + \frac{\omega_1}{\omega_0} \cdot P \right]^2}}{[\omega_0 + P \cdot \omega_1]} =$$

$$= A \cdot \frac{\sqrt{z_0 + \left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] \cdot [\omega_0 + P \cdot \omega_1]^2}}{(\omega_0 + P \cdot \omega_1)} =$$

$$= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{z_0}{(\omega_0 + P \cdot \omega_1)^2}} \dots \dots \dots (47)$$

Второй членъ подъ корнемъ послѣ подстановки значенія P изъ равенства (1) можетъ быть преобразованъ слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{aligned} \frac{z_0}{(\omega_0 + P\omega_1)^2} &= \frac{z_0}{\left\{ \omega_0 + \omega_1 \cdot \sqrt{z_1 + z_2 \cdot \left[\frac{\omega_1}{\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}} \right]^2} \right\}^2} \\ &= \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{\omega_1}{\sqrt{z_1 + \frac{\omega_1^2 \cdot z_2 \cdot z_3}{(\omega_2 \cdot \sqrt{z_3} + \omega_3 \sqrt{z_2})^2}}} \right]^2} \\ &= \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\omega_1^2 + \left(\frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}} \right)^2} \right]^2} \end{aligned}$$

Теперь окончателно для t получимъ выраженіе:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\omega_1^2 + \left(\frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}} \right)^2} \right]^2}} \dots \dots \dots (47')$$

50. Продольные каналы въ шлюзѣ съ двумя на концѣ отвѣтвленіями при имѣющихъ кромѣ того круговыхъ каналахъ или отверстіяхъ въ полотнахъ воротъ. При расположеніи каналовъ и отверстій по Фиг. 18 можно примѣнить для опредѣленія T_1 формулу (47'). Вводя вышепринятые обозначенія сѣченій каналовъ и коэффициентовъ сопротивленій, можемъ написать эту формулу въ такомъ видѣ:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{[\Omega_0 + \Omega_1] \cdot \sqrt{2g}} \times \\ &\times \sqrt{\left[\frac{1}{\Omega_0^2} - \frac{1}{\Omega_1^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\frac{z'}{(\omega')^2} + \left[\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} + \frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} \right]^2} \right]^2}} \dots \dots \dots (48) \end{aligned}$$

Пользуясь упрощенными обозначеніями подобно случаю разсмотрѣнному выше (*n*^o 48), та же формула можетъ быть представлена такъ:

$$T_1 = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left[C_0 + \frac{1}{\sqrt{D + \frac{1}{[C_1 + C_2]^2}}}\right]^2}} \dots \dots \dots (48')$$

51. Частные случаи формуль (47') и (48).

а) При $\omega_0 = 0$ имѣется только каналъ съ двумя на концѣ развѣтвленіями, и уравненія (47') и (48) примутъ соответственно видъ уравненій (44) и (45) предыдущаго вышеразсмотрѣннаго случая.

б) При $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 0$ имѣется только круговой каналъ или отверстія въ полотнахъ воротъ; тогда получаются формулы (18) и (20) случая (*n*^o 23 и 24) или (2) и (2^o) случая (*n*^o 3 и 4).

γ) При

$$\omega_3 = 0 \text{ и } \omega_1 = \omega_2, v_1 = v_2$$

или

$$\omega_2 = 0 \text{ и } \omega_1 = \omega_3, v_1 = v_3$$

получаются формулы (26) и (27) круговыхъ каналовъ случая (*n*^o 25 и 26).

52. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ каналомъ, имѣющимъ на концѣ три развѣтвленія. Уравненія *Бернулли* для линий тока (Фиг. 19) *abcd*, *efgk*, *efglm* и *efgln* будутъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = h \dots \dots \dots (I)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_5 \cdot \frac{v_5^2}{2g} = h \dots \dots \dots (II)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_4 \cdot \frac{v_4^2}{2g} + \zeta_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = h \dots \dots \dots (III)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_4 \cdot \frac{v_4^2}{2g} + \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h \dots \dots \dots (IV)$$

Изъ этихъ уравненій слѣдуетъ:

$$(I \text{ и } II) \quad \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_5 \cdot \frac{v_5^2}{2g} \dots \dots \dots (a)$$

$$(III \text{ и } IV) \quad \zeta_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (b)$$

$$(II \text{ и } III) \quad \zeta_5 \cdot \frac{v_5^2}{2g} = \zeta_4 \cdot \frac{v_4^2}{2g} + \zeta_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} \dots\dots\dots (c)$$

$$(III \text{ и } IV) \quad \zeta_5 \cdot \frac{v_5^2}{2g} = \zeta_4 \cdot \frac{v_4^2}{2g} + \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (d)$$

Отсюда:

$$v_3 = v_2 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_2}{\zeta_3}} = v_2 \cdot E \dots \text{ и } \dots v_2 = v_3 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_3}{\zeta_2}} \dots\dots\dots (e)$$

Затѣмъ, подобно предыдущимъ случаямъ, имѣемъ:

$$Q = O_0, V_0 = O_1, V_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_1 \cdot v_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3 + \omega_5 \cdot v_5; (f')$$

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_4 \cdot v_4 + \omega_5 \cdot v_5 \dots \text{ и } \omega_4 \cdot v_4 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3 \dots\dots\dots (f)$$

Поэтому:

$$\omega_4 \cdot v_4 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_2}{\zeta_3}};$$

$$v_4 = \frac{v_2}{\omega_4} \cdot \left[\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_2}{\zeta_3}} \right] = \frac{v_2}{\omega_4} \cdot [\omega_2 + \omega_3 \cdot E] \dots\dots\dots (g)$$

Теперь изъ уравненій (d), (e), (f) и (g) получимъ:

$$\begin{aligned} \zeta_5 \cdot \frac{v_5^2}{2g} &= \zeta_4 \cdot \frac{1}{2g} \cdot \left[\frac{v_2}{\omega_4} \cdot (\omega_2 + \omega_3 \cdot E) \right]^2 + \\ &+ \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} \cdot \left\{ \zeta_2 + \zeta_4 \cdot \left[\frac{\omega_2 + \omega_3 \cdot E}{\omega_4} \right]^2 \right\} \end{aligned}$$

и слѣдовательно:

$$v_5 = v_2 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_2 + \zeta_4 \cdot \left[\frac{\omega_2 + \omega_3 \cdot E}{\omega_4} \right]^2}{\zeta_5}} = v_2 \cdot F \dots\dots\dots (h)$$

Дальше имѣемъ (f')

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_3 + \omega_5 \cdot v_5 = \omega_2 \cdot v_2 + \omega_3 \cdot v_2 \cdot E + \omega_5 \cdot v_2 \cdot F;$$

отсюда:

$$v_1 = v_2 \cdot \left[\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \left(1 + \frac{\omega_3}{\omega_2} \cdot E + \frac{\omega_5}{\omega_2} \cdot F \right) \right] = v_2 \cdot G \dots\dots\dots (k)$$

Такимъ образомъ уравненіе (а) можетъ быть представлено въ видѣ:

$$\zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2v} \cdot G^2 + \zeta_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} \cdot F^2 = \frac{v_2^2}{2g} \cdot (\zeta_1 \cdot G^2 + \zeta_3 \cdot F^2),$$

откуда:

$$v_0 = v_2 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_1 \cdot G^2 + \zeta_3 \cdot F^2}{\zeta_0}} \dots \text{и} \dots v_2 = v_0 \cdot \sqrt{\frac{\zeta_0}{\zeta_1 \cdot G^2 + \zeta_3 \cdot F^2}} = v_0 \cdot K \quad (l)$$

Поэтому изъ уравненій (e), (h), (k) и (l):

$$v_3 = v_0 \cdot E \cdot K; \quad v_1 = v_0 \cdot G \cdot K; \quad v_3 = v_0 \cdot F \cdot K \dots \dots \dots (m)$$

Уравненіе (f') можно переписать такъ:

$$\begin{aligned} O_0 \cdot V_0 = O_1 \cdot V_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_2 \cdot v_0 \cdot K + \omega_3 \cdot v_0 \cdot E \cdot K + \omega_5 \cdot v_0 \cdot F \cdot K = \\ = \omega_0 \cdot v_0 \cdot \left[1 + \frac{K}{\omega_0} \cdot (\omega_2 + \omega_3 \cdot E + \omega_5 \cdot F) \right] = L \cdot \omega_0 \cdot v_0 \dots \dots \dots (n) \end{aligned}$$

Нѣсколько проще ту-же зависимость можно получить иначе:

$$\begin{aligned} O_0 \cdot V_0 = O_1 \cdot V_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_1 \cdot v_1 = \omega_0 \cdot v_0 + \omega_1 \cdot v_0 \cdot G \cdot K = \\ = \omega_0 \cdot v_0 \cdot \left[1 + \frac{\omega_1}{\omega_0} \cdot G \cdot K \right] = M \cdot \omega_0 \cdot v_0 \dots \dots \dots (o) \end{aligned}$$

Изъ уравненія (n) находимъ:

$$V_0 = \omega_0 \cdot v_0 \cdot \frac{L}{O_0} \dots \text{и} \quad V_1 = \omega_0 \cdot v_0 \cdot \frac{L}{O_1} \dots \dots \dots (p)$$

Переходя затѣмъ къ общему уравненію (I), имѣемъ:

$$\frac{1}{2g} \cdot \left\{ \left[\left(\omega_0 \cdot v_0 \cdot \frac{L}{O_1} \right)^2 - \left(\omega_0 \cdot v_0 \cdot \frac{L}{O_0} \right)^2 \right] + \zeta_0 \cdot v_0^2 \right\} = h.$$

или:

$$\frac{v_0^2}{2g} \cdot \left\{ \zeta_0 + L^2 \cdot \omega_0^2 \cdot \left[\left(\frac{1}{O_1} \right)^2 - \left(\frac{1}{O_0} \right)^2 \right] \right\} = h.$$

Отсюда:

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\zeta_0 + L^2 \cdot \omega_0^2 \cdot \left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right)}} \cdot \sqrt{2gh} = \mu_1 \cdot \sqrt{2gh} \dots \dots (49)$$

И такъ, для опредѣленія времени t имѣемъ:

$$-O_0 \cdot dz = Q \cdot dt = O_0 \cdot V_0 \cdot dt = L \cdot \omega_0 \cdot v_0 \cdot dt,$$

или:

$$-\frac{O_0 \cdot O_1}{(O_0 + O_1)} \cdot d\xi = L \cdot \omega_0 \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{2g\xi} \cdot dt$$

Отсюда по интегрировании находимъ:

$$t = \frac{2 \cdot O_0 \cdot O_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{\mu_1 \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot \omega_0 \cdot (O_0 + O_1)} = A \cdot \frac{1}{\mu_1 \cdot L \cdot \omega_0} = A \cdot N \dots (50)$$

Найдемъ теперь дѣйствительныя величины условныхъ обозначеній $E-N$ для подстановки ихъ въ уравненіе (50). Имѣемъ:

$$E = \sqrt{\frac{z_2}{z_3}};$$

$$F = \sqrt{\frac{z_2 + z_4 \cdot \left[\frac{\omega_2 + \omega_3 \cdot E}{\omega_4} \right]^2}{z_3}} = \sqrt{\frac{z_2 + \frac{z_4}{\omega_4^2} \cdot (\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}})^2}{z_3}};$$

$$G = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \left[1 + \frac{\omega_3}{\omega_2} \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} + \frac{\omega_5}{\omega_2} \cdot \sqrt{\frac{z_2 + \frac{z_4}{\omega_4^2} \cdot (\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}})^2}{z_3}} \right];$$

$$N = \frac{1}{\mu_1 \cdot L \cdot \omega_0} = \frac{1}{\mu_1 \cdot M \cdot \omega_0} = \frac{\sqrt{z_0 + M^2 \cdot \omega_0^2 \cdot \left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right)}}{M \cdot \omega_0} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right) + \frac{z_0}{M^2 \cdot \omega_0^2}} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right) + \frac{z_0}{\omega_0^2 \cdot \left(1 + \frac{\omega_1}{\omega_0} \cdot G \cdot K \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right) + \frac{z_0}{\omega_0^2 \cdot \left\{ 1 + \frac{\omega_1}{\omega_0} \cdot G \cdot \sqrt{\frac{z_0}{G^2 \cdot [z_1 + z_5 \cdot \left(\frac{F}{G} \right)^2]}} \right\}^2}} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right) + \frac{z_0}{\left[\omega_0 + \omega_1 \cdot \sqrt{\frac{z_0}{z_1 + z_5 \cdot \left(\frac{F}{G} \right)^2}} \right]^2}} =$$

$$= \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{\omega_1}{\sqrt{z_1 + z_5 \cdot \left(\frac{F'}{G}\right)^2}} \right]^2}} =$$

$$= \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{z_1}{\omega_1^2} + \frac{z_5}{\omega_1^2} \left(\frac{F'}{G}\right)^2}} \right]^2}} \dots \dots (q)$$

Последній членъ второго корня въ этомъ выраженіи можетъ быть преобразованъ такъ:

$$\frac{z_5}{\omega_1^2} \cdot \left(\frac{F'}{G}\right)^2 =$$

$$= \frac{z_5 \cdot \left[z_2 + \frac{z_4}{\omega_4^2} \cdot \left(\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \right)^2 \right]}{\omega_1^2 \cdot z_5 \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_1^2} \cdot \left[1 + \frac{\omega_3}{\omega_2} \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} + \frac{\omega_5}{\omega_2} \cdot \sqrt{\frac{z_2 + \frac{z_4}{\omega_4^2} \left(\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \right)^2}{z_3}} \right]^2} =$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{\omega_5}{\sqrt{z_3}} + \frac{\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}}}{\sqrt{z_2 + \frac{z_4}{\omega_4^2} \cdot \left(\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \right)^2}} \right]^2} =$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{\omega_5}{\sqrt{z_3}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{z_4}{\omega_4^2} + \frac{z_2}{\left(\omega_2 + \omega_3 \cdot \sqrt{\frac{z_2}{z_3}} \right)^2}}} \right]^2} =$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{\omega_5}{\sqrt{z_3}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{z_4}{\omega_4^2} + \frac{1}{\left(\frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}} \right)^2}}} \right]^2} \dots \dots (r)$$

Поэтому формула (50) въ полномъ видѣ будетъ:

$$t = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left\{ \frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\omega_1^2 + \left[\frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}} + \frac{1}{\omega_4^2 + \frac{1}{\left(\frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}} \right)^2} \right]^2} \right\}^2}} \quad (50')$$

53. Продольные каналы въ шлюзѣ съ тремя на концѣ отвѣтвленіями при имѣющихся кромѣ того круговыхъ каналахъ или отверстіяхъ въ полотнахъ воротъ. При расположеніи каналовъ и отверстій по Фиг. 20 можно примѣнить для опредѣленія T_1 формулу (50'). Вводя вышепринятые обозначенія сѣченій каналовъ и коэффициентовъ сопротивленій, можемъ написать эту формулу въ такомъ видѣ:

$$T_1 = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left\{ \frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{(\omega')^2 + \left[\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} + \frac{1}{(\omega'')^2 + \frac{1}{\left(\frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}} \right)^2} \right]^2} \right\}^2}} \quad (51)$$

При этомъ надо не забывать, что подъ всякимъ ω и z подразумѣвается сумма для двухъ симметрично относительно оси шлюза расположенныхъ частей каналовъ.

Пользуясь упрощенными обозначеніями подобно случаямъ (n° 48 и 50) вышеразсмотрѣннымъ, та-же формула можетъ быть представлена такъ:

$$T_1 = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left\{ C_0 + \frac{1}{D + \frac{1}{\left[C_1 + \frac{1}{\sqrt{D'' + \frac{1}{(C_2 + C_3)^2}} \right]^2}} \right\}^2}} \quad (51')$$

54. Частные случаи формуль (50') и (51) могут быть разобраны подобно *n*⁰ 51. Стѣсняя этотъ случай наполненія соответственными условіями, изъ этихъ формуль получимъ всѣ ранѣе выведенныя для продольныхъ и круговыхъ каналовъ а также и для отверстій въ полотнахъ воротъ.

55. Продольные каналы въ шлюзѣ съ *n* на концѣ отвѣтвленіями. Теперь для опредѣленія времени *T*₁ помощью отверстій въ полотнахъ воротъ и продольныхъ каналовъ съ какимъ (Фиг. 21) угодно числомъ отвѣтвленій можно написать формулу въ самомъ общемъ видѣ¹⁾:

Пусть имѣются:

a) *отверстія* въ полотнахъ воротъ общей площадью ω_0 съ общимъ коэффициентомъ сопротивленія ζ_0 ;

b) *продольный* (параллельно оси шлюза) *каналъ* (галерея)

послѣдовательныхъ поперечныхъ сѣченій: $\omega', \omega'', \omega''', \dots \omega^{(n-1)}$
съ соответственными коэффициентами сопротивленія: $\zeta', \zeta'', \zeta''', \dots \zeta^{(n-1)}$

c) *n* *отвѣтвленій* отъ канала въ камеру, поперечныя сѣченія коихъ: $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots \omega_n$
частные соответственные коэффициенты сопротивленія: $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots \zeta_n$

При этомъ подъ каждымъ ω и ζ подразумѣваются суммы для однородной пары отверстій, симметрично расположенной относительно оси шлюза.

Введя заранѣе въ эту формулу нѣкоторыя обозначенія, подобно сдѣланному въ *n*⁰ 48, 50, 53, получимъ слѣдующее:

$$A = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_1 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{(\Omega_0 + \Omega_1) \cdot \sqrt{2g}}; \dots \dots \dots (19')$$

$$B = \left(\frac{1}{\Omega_0^2} - \frac{1}{\Omega_1^2} \right); \dots \dots \dots (20')$$

Отношенія: $\left. \begin{aligned} &\frac{\omega_0}{\sqrt{\zeta_0}}, \frac{\omega_1}{\sqrt{\zeta_1}}, \frac{\omega_2}{\sqrt{\zeta_2}} \dots \frac{\omega_{n-2}}{\sqrt{\zeta_{n-2}}}, \frac{\omega_{n-1}}{\sqrt{\zeta_{n-1}}}, \frac{\omega_n}{\sqrt{\zeta_n}} \end{aligned} \right\} \dots (52)$
соответственно чрезъ: $C_0, C_1, C_2 \dots C_{n-2}, C_{n-1}, C_n$

Отношенія: $\left. \begin{aligned} &\frac{\zeta'}{(\omega')^2}, \frac{\zeta''}{(\omega'')^2}, \frac{\zeta'''}{(\omega''')^2} \dots \frac{\zeta^{(n-2)}}{(\omega^{(n-2)})^2}, \frac{\zeta^{(n-1)}}{(\omega^{(n-1)})^2} \end{aligned} \right\} (53)$
соответственно чрезъ: $D', D'', D''' \dots D^{(n-2)} D^{(n-1)}$

¹⁾ См. *Н. Д. Тяпкингъ*. Курсъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній. Ч. II. стр. 112—113.

Тогда (см. формулы 45', 48' и 51') общая, упрощенная въ обозначеніяхъ, формула получить слѣдующій видъ:

$$T_1 = A. \left[B + \frac{C_0 + \frac{D + \frac{C_1 + \frac{D'' + \dots + \frac{C_{n-2} + \frac{1}{D^{(n-1)} + [C_{n-1} + C_n]^2}}{1}}{1}}{1}}{1} \right]^2 \quad (54)$$

При этомъ надо замѣтить, что при выводѣ этихъ формулъ принимается $(n-1)$ частей самого продольнаго канала и n отвѣтвленій, такъ что послѣдняя n -я часть канала считается за n -е отвѣтвленіе одинаковаго на всей длинѣ ab (Фиг. 22) сѣченія. Сообразно съ этимъ во всѣхъ вышерассмотрѣнныхъ формулахъ (44, 45, 45', 47', 48, 48', 50', 51 и 51') для t и T_1 имѣемъ столько возвышеній въ квадратахъ знаменателя дроби, имѣющей числителемъ единицу, сколько будетъ отвѣтвленій; такъ, въ формулахъ 47', 48 и 48' для двухъ отвѣтвленій—два возвышенія въ квадратахъ, въ формулахъ 50', 51 и 51' для трехъ отвѣтвленій—три возвышенія въ квадратахъ и наконецъ въ формулѣ 54 для n отвѣтвленій— n возвышеній въ квадратахъ.

56. Частные случаи формулы (54) для продольных каналовъ въ шлюзѣ.

а) Сдѣлаемъ въ вышеуказанномъ общемъ случаѣ (Фиг. 21) слѣдующія допущенія:

Примемъ, что:

$$1) \omega' = \omega'' = \omega''' = \dots = \omega^{(n-1)} = \omega;$$

$$2) \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \dots = \omega_n = \omega_1;$$

$$3) \omega_0 = 0;$$

4) при разстояніи L между центрами начальнаго (впускнаго) и послѣдняго выпускнаго отверстій взаимное разстояніе между центрами каждой пары отверстій одинаково, т. е. $l = \frac{L}{n}$;

$$5) \Omega_1 = \infty; \xi_0 = h; \xi_1 = 0; B = 0.$$

Тогда вышенайденныя формулы (19', 20', 52, 53 и 54) измѣнятся такъ:

$$A_1 = 2 \cdot \Omega_0 \cdot \sqrt{\frac{h}{2g}} \dots \dots \dots (19'')$$

$$B = 0, \quad C_0 = 0 \dots \dots \dots (55)$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n = C \dots \dots \dots (56)$$

$$D' = D'' = D''' = \dots = D^{(n-1)} = D \dots \dots \dots (57)$$

Наконецъ, формула (54) послѣ подстановки найденныхъ и принятыхъ значеній приметъ болѣе упрощенный видъ:

$$T_1 = A_1 \cdot \sqrt{D + \frac{1}{\left[C + \frac{1}{\sqrt{D + \dots + \frac{1}{\left[C + \frac{1}{\sqrt{D + \frac{1}{[2C]^2}}}} \right]^2}} \right]^2}} \right]^2} \quad (58)$$

При этомъ при n отвѣтвленіяхъ будетъ $(n-1)$ возвышеній въ квадратъ знаменателя дроби, числитель коей единица.

β) Изъ общей формулы (54) могутъ быть получены всѣ выше-приведенныя формулы для продольныхъ и пары круговыхъ каналовъ, а также для отверстій въ полотнахъ воротъ, вводя соответственныя условія подобно указанному въ *n*⁰ 51 и 54.

56а. Упрощенные способы *) опредѣленія T_1 при продольныхъ каналахъ въ шлюзѣ. Съ перваго взгляда нижеслѣдующіе способы расчета могутъ казаться вполне возможными а вмѣстѣ съ тѣмъ значительно облегчающими пользование только что разсмотрѣнными сложными по виду формулами:

а. Для опредѣленія T_1 работу продольнаго канала (симметричной пары) съ однимъ приемнымъ отверстіемъ и *n* устьевыми отвѣтвленіями разсматривать въ томъ предположеніи, что имѣющіяся отвѣтвленія возможно выдѣлять независимо другъ отъ друга. Тогда, какъ бы открывая послѣдовательно эти отвѣтвленія по одному при остальныхъ закрытыхъ, можно получить каждый разъ только круговой каналъ съ однимъ приемнымъ и однимъ устьевымъ отверстіями.

Такимъ образомъ, при *n* устьевыхъ отвѣтвленіяхъ по длинѣ каждаго канала можно опредѣлить *n* значеній T_1 для *n* паръ круговыхъ каналовъ; пусть эти значенія будутъ T_1' , T_1'' , T_1''' , ..., $T_1^{(n)}$. Искомое время T_1 для продольнаго канала казалось бы возможнымъ найти затѣмъ изъ равенства:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_1'} + \frac{1}{T_1''} + \frac{1}{T_1'''} + \dots + \frac{1}{T_1^{(n)}} \dots \dots \dots (59^0)$$

Формула круговыхъ каналовъ безъ сомнѣнія проще по виду, нежели формула продольныхъ каналовъ и, если бы разность между дѣйствительнымъ и найденнымъ по формулѣ (59⁰) значеніями T_1 оказалась незначительной, примѣненіе такого способа могло бы быть желательнымъ.

β. При безконечно большомъ числѣ отвѣтвленій ($n = \infty$) упрощенную формулу (58) случая *n*⁰ 56 можно представить такъ:

$$T = A_1 \cdot x = A_1 \cdot \sqrt{D + \frac{1}{\left(C + \frac{1}{x}\right)^2}} \dots \dots \dots (58')$$

*) Сравнительные подсчеты и заключенія объ этихъ способахъ и формулахъ приведены далѣе, въ главѣ V.

Отсюда, по приведеніи, имѣемъ:

$$x^2 = D + \frac{1}{\left(C + \frac{1}{x}\right)^2}, \dots \text{ или } \dots \left(C + \frac{1}{x}\right)^2 \cdot (x^2 - D) = 1 \dots (a)$$

Окончательно же для опредѣленія x получимъ уравненіе:

$$C^2 \cdot x^2 + 2 \cdot C \cdot x - \frac{2 \cdot C \cdot D}{x} - \frac{D}{x^2} - D \cdot C^2 = 0 \dots \dots \dots (b)$$

Примѣняя эту формулу къ большому, но конечному числу отбѣвленныхъ можно найти x безъ сомнѣнія съ ошибкой, возможная величина коей и можетъ рѣшить вопросъ о правильности пользованія такой формулой.

γ) Въ большинствѣ случаевъ практики величина коэффициента D формулы (54) и (57) не равна остальнымъ, такъ что въ формулѣ (58) частного случая измѣненіе будетъ только въ самомъ первомъ D , остальные члены останутся тѣ же. Тогда, подобно предыдущему, имѣемъ:

$$T_1 = A_1 \cdot \sqrt{D + \frac{1}{y^2}} = A_1 \cdot \sqrt{D + \frac{1}{\left(C + \frac{1}{\sqrt{D + \frac{1}{y^2}}}\right)^2}} \quad (58'')$$

Отсюда, по приведеніи, находимъ:

$$(y - C)^2 \cdot \left(D + \frac{1}{y^2}\right) = 1 \dots \dots \dots (c)$$

Наконецъ, для опредѣленія y окончательно получимъ уравненіе:

$$D \cdot y^2 - 2 \cdot C \cdot D \cdot y + C^2 \cdot D - \frac{(2C - 1)}{y} + \frac{C^2}{y^2} = 1 \dots \dots \dots (d)$$

При пользованіи формулами (58') или (58'') для конечнаго, но большого числа n надо принимать:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} D^{(i)}}{n} \dots \dots \text{ или } \dots \dots D = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} D^{(i)}}{n-1} \dots \dots \text{ и } C = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_i}{n} \quad (e)$$

§ 5. Определеіе времени T_2 для опорожненія камеры въ нижній бьефѣ.

57. Видоизмѣненныя обозначенія. Введемъ прежде всего для приемныхъ отвѣтвленій другія, въ отличіе отъ вышеразсмотрѣнныхъ выпускныхъ, обозначенія, а именно пусть будутъ вообще:

поперечныя сѣченія: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$
 соотвѣтств. коэффициенты сопротивленія ... $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_n$
 соотвѣтственные скорости $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$

Отношенія $\frac{\sigma_i}{\sqrt{\eta_i}}$ обозначимъ соотвѣтственно чрезъ C'_i ;

Отношенія $\frac{\eta_i}{(\sigma_i)^2}$ обозначимъ соотвѣтственно чрезъ $D_1^{(i)}$.

При этомъ значенія C_0, B и A остаются прежними съ соотвѣтственно лишь измѣненными значками при O и Ω .

58. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ впереди (значаль) n приемныхъ развѣтвленій, сходящихся въ одной точкѣ. (Фиг. 23).

Уравненія *Бернулли* для всѣхъ отдѣльныхъ линій тока будутъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = h \dots \dots \dots (I)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta_1' \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots \dots \dots (II)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} + \zeta_1' \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots \dots \dots (III)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_3 \cdot \frac{u_3^2}{2g} + \zeta_1' \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots \dots \dots (IV)$$

.....

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_n \cdot \frac{u_n^2}{2g} + \zeta_1' \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots \dots \dots (N)$$

Изъ этихъ уравненій имѣемъ:

$$\eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} = \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} = \eta_3 \cdot \frac{u_3^2}{2g} = \dots = \eta_n \cdot \frac{u_n^2}{2g}; \dots \dots \dots (a)$$

$$\left. \begin{aligned} \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} &= \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g}; \\ \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} &= \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g}; \\ &\dots\dots\dots \\ \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} &= \eta_n \cdot \frac{u_n^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g}; \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (b)$$

Слѣдовательно:

$$u_2 = u_1 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}}; \quad u_3 = u_1 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_3}} \dots u_n = u_1 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_n}} \dots\dots\dots (c)$$

Поэтому можно написать:

$$\omega_1 \cdot v_1 = \sigma_1 \cdot u_1 + \sigma_2 \cdot u_2 + \sigma_3 \cdot u_3 + \dots + \sigma_n \cdot u_n = u_1 \cdot \left[\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} + \right. \\ \left. + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_3}} + \dots + \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_n}} \right],$$

откуда:

$$v_1 = \frac{u_1}{\omega_1} \cdot \left[\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_3}} + \dots + \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_n}} \right]; \dots\dots (d)$$

$$u_1 = \frac{\omega_1 \cdot v_1}{\left[\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_3}} + \dots + \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_n}} \right]} \dots\dots (e)$$

Для соответственнаго сему случая круговыхъ каналовъ (*n*⁰ 25, стр. 20), т. е. когда продольный каналъ не имѣеть отвѣтвленій ни въ началѣ, ни въ концѣ, гидравлическое сопротивленіе выражалось бы такъ:

$$\zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \dots\dots\dots (f)$$

Теперь же при существованіи *n* приемныхъ отвѣтвленій это сопротивленіе, согласно выраженіямъ (b) опредѣляется двучленомъ, который можетъ быть преобразованъ такъ:

$$\eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \\ + \eta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \cdot \frac{\omega_1^2}{\left[\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_3}} + \dots + \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_n}} \right]^2} \dots\dots (g)$$

Такимъ образомъ, полный коэффициентъ сопротивленія z_1 (выраженія (f) или формулы (a)—на стр. 20) въ примѣненіи къ разсматриваемому случаю будетъ:

$$z_1 = z'_1 + \eta_1 \cdot \left[\frac{\omega_1}{\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_3}} + \dots + \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_n}}} \right]^2 \dots (k)$$

Формула (26) на стр. 22 будетъ имѣть видъ:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{\zeta_0}} + \frac{\omega_1}{\sqrt{\zeta_1}} \right]^2} \dots \dots \dots (26')}$$

Въ примѣненіи къ данному случаю, формула остается того же вида, только подъ z_1 надо подразумѣвать величину, опредѣляемую равенствомъ (k).

Если сдѣлать подстановку дѣйствительнаго значенія z_1 , то получимъ:

$$\begin{aligned} \frac{\omega_1}{\sqrt{\zeta_1}} &= \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \left[\frac{\omega_1}{\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_3}} + \dots + \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_n}}} \right]^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\frac{z'_1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\left[\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}} + \frac{\sigma_3}{\sqrt{\eta_3}} + \dots + \frac{\sigma_n}{\sqrt{\eta_n}} \right]^2}}} \dots \dots \dots (l) \end{aligned}$$

Слѣдовательно, окончательный видъ формулы для времени t будетъ слѣдующій:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{\zeta_0}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{z'_1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\left[\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}} + \frac{\sigma_3}{\sqrt{\eta_3}} + \dots + \frac{\sigma_n}{\sqrt{\eta_n}} \right]^2}}} \right]^2}} \dots \dots \dots (59)$$

59. Случаи примѣненія формулы (59). Полученная формула (59) по простотѣ своего образованія можетъ быть приложена въ соответственныхъ случаяхъ устройства водопроводовъ и водостоконъ. Подобнаго устройства для шлюзныхъ водопроводовъ не встрѣчается.

60. Случай двух сообщающихся сосудов, соединенных одной соединительной трубой и одним продольным каналом, имѣющимъ вначалѣ два приемныя отвлѣтенія, не сходящіяся въ одной точкѣ. Уравненія Бернулли для всѣхъ отдѣльныхъ линій тока *abcd*, *eflm*, *gklm* будутъ (Фиг. 24):

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = h \dots\dots\dots (I)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots\dots\dots (II)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots\dots\dots (III)$$

Изъ этихъ уравненій имѣемъ:

$$\zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \dots\dots\dots (a)$$

$$\eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} = \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} \dots\dots\dots (b)$$

Слѣдовательно (b):

$$u_2 = u_1 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} \dots\dots\dots (c)$$

Затѣмъ, находимъ:

$$\omega_1 \cdot v_1 = \sigma_1 \cdot u_1 + \sigma_2 \cdot u_2 = u_1 \cdot \left(\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} \right),$$

откуда:

$$u_1 = v_1 \cdot \frac{\omega_1}{\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}}} \dots\dots\dots (d)$$

Поэтому уравненіе (a) можно переписать такъ:

$$\zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \cdot \left[\zeta'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{\left(\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}} \right)^2} \right] = \zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \dots\dots (60)$$

При этомъ ζ_1 — коэффициентъ сопротивленія въ формулѣ 26 (стр. 22) или 26' (*n*⁰ 58). Слѣдовательно, примѣняя эту формулу и въ данномъ случаѣ, надо этотъ коэффициентъ ζ_1 замѣнить его дѣйствительной величиной, соответствующей разсматриваемому примѣру и легко опредѣляемой изъ уравненія (60). Такимъ обра-

зомъ, послѣдній членъ $\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}}$ формулы (26') долженъ быть замѣненъ выраженіемъ:

$$\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{\left(\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}}\right)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{z_1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}}\right)^2}}} \dots (e)$$

Послѣ подстановки получимъ окончательно:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left(\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} \right)^2}} =$$

$$= A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{z_1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}}\right)^2}}} \right]^2}} \dots (61)$$

61. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ. Формула (61) можетъ служить для опредѣленія времени опорожненія камеры въ нижній бьефъ, когда имѣются отверстія въ полотнахъ воротъ и продольный каналъ съ двумя пріемными отвѣтвленіями въ камерѣ и однимъ концевымъ устьемъ въ нижней головѣ шлюза.

Такъ, согласно обозначеній на чертежѣ (Фиг. 25), формула (61) будетъ имѣть видъ:

$$T_2 = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{\Omega_0} - \frac{1}{\Omega_2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{\eta'}{(\sigma')^2} + \frac{1}{\left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}}\right)^2}}} \right]^2}} =$$

$$= A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left[C_0 + \frac{1}{\sqrt{D_1 + \frac{1}{(C'_1 + C'_2)^2}}} \right]^2}} \dots (61')$$

При этомъ такъ-же, какъ и въ предыдущемъ §, рассматриваются парные симметричные каналы.

62. Случай двух сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ три приемныя отвѣтвленія, не сходящіяся въ одной точкѣ. (Фиг. 26). Уравненія *Бернулли* для всѣхъ отдѣльныхъ линій *abcd*, *efno*, *gkfn*, *lmkfn* тока будутъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = h \dots\dots\dots (I)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots\dots\dots (II)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} + \eta_4 \cdot \frac{u_4^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots\dots (III)$$

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \eta_3 \cdot \frac{u_3^2}{2g} + \eta_4 \cdot \frac{u_4^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h \dots\dots (IV')$$

Изъ этихъ уравненій, беря ихъ попарно, получаемъ:

$$(I \text{ и } II) \dots \zeta_0 \cdot \frac{v_0^2}{2g} = \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \zeta'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \dots\dots\dots (a)$$

$$(II \text{ и } III) \dots \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} = \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} + \eta_4 \cdot \frac{u_4^2}{2g} \dots\dots\dots (b)$$

$$(III \text{ и } IV') \dots \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} = \eta_3 \cdot \frac{u_3^2}{2g} \dots\dots\dots (c)$$

Слѣдовательно:

$$u_3 = u_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} \dots\dots\dots (d)$$

Затѣмъ, имѣемъ:

$$\sigma_4 \cdot u_4 = \sigma_2 \cdot u_2 + \sigma_3 \cdot u_3 = \sigma_2 \cdot u_2 + \sigma_3 \cdot u_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} = u_2 \cdot \left[\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} \right],$$

откуда:

$$u_4 = \frac{u_2}{\sigma_4} \cdot \left[\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} \right] \dots\dots\dots (e)$$

Поэтому уравненіе (b) можно переписать такъ:

$$\eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} = \eta_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} + \eta_4 \cdot \frac{u_4^2}{2g} \cdot \left[\frac{\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}}}{\sigma_4} \right]^2;$$

отсюда находимъ:

$$u_2 = u_1 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2 + \eta_4 \cdot \left[\frac{\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}}}{\sigma_4} \right]^2}} \dots \dots \dots (f)$$

Далѣе имѣемъ (e) и (f):

$$\begin{aligned} \omega_1 \cdot v_1 = \sigma_1 \cdot u_1 + \sigma_4 \cdot u_2 = \sigma_1 u_1 + u_1 \cdot \left[\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} \right] \times \\ \times \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2 + \eta_4 \cdot \left[\frac{\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}}}{\sigma_4} \right]^2}} \end{aligned}$$

Изъ этого уравненія послѣдовательно получаемъ:

$$\begin{aligned} u_1 = v_1 \cdot \frac{\omega_1}{\left\{ \sigma_1 + \left(\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} \right) \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2 + \eta_4 \cdot \left[\frac{\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}}}{\sigma_4} \right]^2}} \right\}} \\ = v_1 \cdot \frac{\omega_1}{\left\{ \sigma_1 + \sqrt{\frac{\eta_1 \cdot \left(\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} \right)^2}{\eta_2 + \eta_4 \cdot \left[\frac{\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}}}{\sigma_4} \right]^2}} \right\}} \\ = v_1 \cdot \frac{\omega_1}{\left[\sigma_1 + \sqrt{\frac{\eta_1}{\frac{\eta_4}{\sigma_4^2} + \left(\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}} \right)^2}} \right]} = v_1 \cdot \frac{\omega_1}{M} \dots \dots \dots (62) \end{aligned}$$

Примѣняя и въ данномъ случаѣ формулу (26) стр. 22, или формулу (26'), *n*⁰ 58, мы должны въ ней замѣнить коэффициентъ ζ_1 другой величиной. Найдемъ ее.

Согласно формулы (а), сопротивление въ разсматриваемомъ примѣрѣ выражается двучленомъ:

$$z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = \eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + z'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g},$$

который можно преобразовать такъ (62):

$$\eta_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + z'_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \cdot \left(z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2} \right) = z_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g}$$

Поэтому въ вышеуказанную формулу (26') надо подставить слѣдующее значеніе коэффициента сопротивленія:

$$z_1 = z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}, \dots \dots \dots (63)$$

т. е. послѣдній членъ $\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}}$ этой формулы надо замѣнить выраженіемъ:

$$\begin{aligned} & \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \dots \dots \dots (l) \\ & \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \dots \dots \dots (l) \\ & \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2}}} = \dots \dots \dots (l) \end{aligned}$$

Послѣ подстановки получимъ окончательно:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left(\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} \right)^2}} =$$

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\omega_1^2 + \left[\frac{z'_1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\left[\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{\eta_4}{\sigma_4^2} + \left(\frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}} + \frac{\sigma_3}{\sqrt{\eta_3}} \right)^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \quad (64).$$

63. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ. Формула (64) можетъ быть примѣнена для опредѣленія времени опорожненія камеры шлюза въ нижній бѣефъ (Фиг. 27), когда имѣются отверстія въ полотнахъ воротъ и продольный каналъ съ тремя приѣмными отвѣтвленіями въ камерѣ и однимъ концевымъ устьемъ въ нижней головѣ шлюза.

При показанныхъ на чертежѣ обозначеніяхъ формула (64) приметъ видъ:

$$T_2 = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\left[\frac{\eta'}{(\sigma')^2} + \frac{1}{\left[\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{\eta''}{(\sigma'')^2} + \frac{1}{\left(\frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}} + \frac{\sigma_3}{\sqrt{\eta_3}} \right)^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \\ = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left[C_0 + \frac{1}{\left[D_1 + \frac{1}{\left[C_1 + \frac{1}{\sqrt{D''_1 + \frac{1}{(C''_2 + C''_3)^2}} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \quad (64')$$

При этомъ разсматриваются парные симметричные каналы.

64. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ два приѣмные и въ концѣ два устьевыя отвѣтвленія, не сходящіяся въ одной точкѣ (Фиг. 28). Для полученія въ этомъ случаѣ формулы для

опредѣленія времени, потребнаго для сравненія горизонтовъ въ двухъ сообщающихся сосудахъ, надо разсматривать взаимно формулы: *a*) для случая *n*^o 49, форм. (47)—стр. 41 и *b*) для случая *n*^o 60, форм. (61)—стр. 57.

Мы уже теперь знаемъ, что формула для *t* въ разсматриваемомъ случаѣ получится подобно только что разобраннымъ примѣрамъ, если въ формулѣ (47)—стр. 41) вмѣсто коэффициента z_1 подставить его дѣйствительную величину, соотвѣтствующую разбираемому расположению. Эта величина уже выше найдена (стр. 56, форм. 60), а именно:

$$z_1 = z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{\left(\sigma_1 + \sigma_2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_1}{\eta_2}}\right)^2} = z'_1 + \frac{\omega_1^2}{\left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}}\right)^2} \dots \dots \dots (60)$$

Слѣдовательно, окончательно, послѣ соотвѣтственной замѣны, получимъ:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} - \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{z_1}{\omega_1^2} + \left(\frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_3}{\sqrt{z_3}}\right)^2}} \right]^2}} =$$

$$= A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left\{ \frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{z'_1}{\omega_1^2} + \left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}} + \frac{\omega_1}{\sqrt{z_3}}\right)^2}} \right\}^2}} \dots \dots (65)$$

65. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ. Формула (65) примѣнима для опредѣленія времени, нужнаго для сравненія горизонтовъ воды въ двухъ камерахъ или опорожненія камеры въ нижней бьефѣ, когда имѣются отверстія въ полотнахъ воротъ и продольные, симметрично расположенные, каналы съ двумя приѣмными и двумя устьевыми отвѣтвленіями каждый (Фиг. 29).

При показанныхъ на чертежѣ обозначеніяхъ формула (65) приметъ видъ:

$$T_2 = A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left[\frac{\omega_0}{\sqrt{z_0}} + \sqrt{\frac{z'}{(\omega')^2} + \frac{1}{\left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{\omega_1}{\sqrt{z_1}} + \frac{\omega_2}{\sqrt{z_2}}\right)^2}} \right]^2}} =$$

$$= A \cdot \sqrt{B + \frac{1}{\left[C_0 + \sqrt{D' + \frac{1}{(C_1 + C_2)^2} + \frac{1}{(C_1 + C_2)^2}} \right]^2}} \dots \dots \dots (65')$$

При этомъ также разсматриваются парные, симметрично относительно оси шлюза расположенные, каналы.

Вмѣсто D' можетъ быть поставлено и D'_1 , такъ какъ все равно къ которой вѣтви отнести соединительную часть продольнаго канала.

66. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ три приемныя и въ концѣ три устьевыя отвѣтвленія, не сходящіяся въ одной точкѣ. Въ этомъ случаѣ, какъ и въ предыдущемъ, формула для времени t , нужнаго для сравниванія горизонтовъ въ обоихъ сосудахъ, получится изъ совмѣстнаго разсмотрѣнїя: *a*) случая n^0 52, форм. (50')—стр. 47 и *b*) случая n^0 62, форм. (64)—стр. 61.

Точно также вмѣсто коэффициента сопротивленія z_1 надо подставить его дѣйствительную величину, соответствующую разбираемому расположенію.

Эта величина была уже найдена выше (форм. 62 и 63, стр. 60), а именно:

$$z_1 = z'_1 + \eta_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{M^2} = z'_1 + \eta_1 \cdot \left[\sigma_1 + \sqrt{\frac{\eta_1}{\sigma_4^2} + \frac{\eta_2}{\left(\sigma_2 + \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_3}}\right)^2}} \right]^2 =$$

$$= z'_1 + \frac{\omega_1^2}{\left[\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \sqrt{\frac{1}{\sigma_4^2} + \frac{1}{\left[\frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}} + \frac{\sigma_3}{\sqrt{\eta_3}} \right]^2}} \right]^2} \dots \dots \dots (66)$$

Поэтому, после постановки найденного значения и соответственных преобразований, формула для размагнитываемого случая примет следующую видъ:

$$t = A \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{O_1^2} + \frac{1}{O_0^2} \right] + \frac{\frac{w_0}{\sqrt{Z_0}} + \frac{\frac{Z_1}{w_1^2} + \frac{1}{\left[\frac{w_5}{\sqrt{Z_5}} + \frac{1}{\left[\frac{Z_4}{w_4^2} + \frac{1}{\left(\frac{w_2}{\sqrt{Z_2}} + \frac{w_3}{\sqrt{Z_3}} \right)^2} \right]^2} \right]^2}{1}}{1}}{1}}^2 =$$

$$= A \cdot \sqrt{B + \frac{\frac{w_0}{\sqrt{Z_0}} + \frac{\frac{Z_1}{w_1^2} + \frac{1}{\left[\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{1}{\left[\frac{\eta_1}{\sigma_4} + \frac{1}{\left(\frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}} + \frac{\sigma_3}{\sqrt{\eta_3}} \right)^2} \right]^2} \right]^2}{1}}{1}}{1}}^2 + \frac{\frac{w_5}{\sqrt{Z_5}} + \frac{1}{\left[\frac{Z_4}{w_4^2} + \frac{1}{\left(\frac{w_2}{\sqrt{Z_2}} + \frac{w_3}{\sqrt{Z_3}} \right)^2} \right]^2}}{1}}{1}}^2} \right]^2} \quad (67)$$

67. Примѣненіе къ шлюзымъ водопроводовъ. Формула (67) можетъ быть применена къ опредѣленію времени, нужнаго для сравниванія горизонтовъ воды въ двухъ камерахъ или опорженіи камеры въ

нижний бьеф, когда имѣются (Фиг. 31) отверстия въ полотнахъ воротъ и продолжные симметрично расположенные каналы съ тремя приёмными и тремя устьевыми отъвлениями каждый.

При показанныхъ на чертежѣ обозначеніяхъ формула (67) измѣнится слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{aligned}
 T_2 = A. & \sqrt[3]{\frac{B + \left\{ \frac{\omega_0}{\sqrt{Z_0}} + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[\frac{z'}{(\omega')^2} + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[\frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}} + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[\frac{\eta''}{(\sigma'')^2} + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[\frac{\sigma_2 + \sigma_3}{\sqrt{\eta_2} \sqrt{\eta_3}} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} + \left[\frac{\omega_1}{\sqrt{Z_1}} + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[\frac{z''}{(\omega'')^2} + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[\frac{\omega_2 + \omega_3}{\sqrt{Z_2} \sqrt{Z_3}} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} } \\
 = A. & \sqrt[3]{\frac{B + \left\{ C_0 + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[D + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[C_1 + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[D' + \frac{1}{\sqrt[3]{\left[C_2 + C_3 \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} \right]^2} } \\
 & \hspace{15em} (67)
 \end{aligned}$$

Если вода проходить чрез n равныхъ отверстій въ полотнахъ воротъ съ площадью ω_0 каждое, то членъ $\frac{\omega_0}{\sqrt{\zeta_0}}$ нужно замѣнить чрезъ $\frac{n \cdot \omega_0}{\sqrt{\zeta_0}}$.

При этомъ также разсматриваются каналы парные, симметрично относительно оси шлюза расположенные.

Вмѣсто D можетъ быть поставлено и равнозначное ему въ данномъ случаѣ D_1 .

68. Продольные каналы въ шлюзѣ съ m приемными и однимъ устьевымъ отвлѣтвленіями. На основаніи вышеразобранныхъ случаевъ сравниванія горизонтовъ въ двухъ камерахъ или опорожненія камеры въ нижній бьефъ можно теперь составить формулу для T_2 въ общемъ видѣ.

Пусть имѣются (Фиг. 32):

- a) *отверстія* въ полотнахъ воротъ общей площадью ω_0 съ общимъ коэффициентомъ сопротивленія ζ_0 ;
- b) *продольный каналъ* (галлерей) послѣдовательныхъ поперечныхъ сѣченій: $\sigma', \sigma'', \sigma''', \dots, \sigma^{(m-1)}$ съ соответственными частными коэффициентами сопротивленія: $\eta', \eta'', \eta''', \dots, \eta^{(m-1)}$;
- c) *m приемныхъ* по камерѣ отвлѣтвленій, поперечныя сѣченія коихъ: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \dots \sigma_m$ и соответственные частные коэффициенты сопротивленія: $\eta_1, \eta_2, \eta_3 \dots \eta_m$;
- d) *устьевая часть* продольнаго канала сѣченія $\omega'_1 = \sigma'$ съ соответственнымъ коэффициентомъ сопротивленія $\zeta'_1 = \eta'$

Пользуясь тѣми же общими обозначеніями, получимъ:

$$A = \frac{2 \cdot \Omega_0 \cdot \Omega_2 \cdot [\sqrt{\xi_0} - \sqrt{\xi_1}]}{(\Omega_0 + \Omega_2) \cdot \sqrt{2g}}; \dots \dots \dots (68)$$

$$B = \left(\frac{1}{\Omega_0^2} - \frac{1}{\Omega_2^2} \right); \dots \dots \dots (69)$$

Отношенія: $\frac{\omega_0}{\sqrt{\zeta_0}}, \frac{\sigma_1}{\sqrt{\eta_1}}, \frac{\sigma_2}{\sqrt{\eta_2}}, \frac{\sigma_3}{\sqrt{\eta_3}} \dots \frac{\sigma_m}{\sqrt{\eta_m}}$
 соотвѣтственно: $C_0, C_1, C_2, C_3 \dots C_m$; (70)

Отношенія: $\frac{\zeta'_1}{(\omega'_1)^2} = \frac{\eta'}{(\sigma')^2}, \frac{\eta''}{(\sigma'')^2}, \frac{\eta'''}{(\sigma''')^2} \dots \frac{\eta^{(m-2)}}{(\sigma^{(m-2)})^2}, \frac{\eta^{(m-1)}}{(\sigma^{(m-1)})^2}$
 соотвѣтственно: $D = D_1, D''_1, D'''_1 \dots D_1^{(m-2)}, D_1^{(m-1)}$. (71)

При m приемных отвлѣтленіяхъ въ этой формулѣ будетъ m возвышеній въ квадратъ знаменателя дроби, числитель коей единица. Такъ напр., въ формулахъ (61) и (61') для случая двухъ приемныхъ отвлѣтленій имѣются два возвышенія въ квадратъ; въ формулахъ (64) и (64') для случая трехъ приемныхъ отвлѣтленій— три возвышенія въ квадратъ знаменателя дроби, числитель коей единица.

69. Частные случаи формулы (72). Изъ формулы (72) могутъ быть получены, какъ частные случаи, всѣ вышеперезсмотрѣнные формулы для T_2 : α) при продольныхъ каналахъ съ однимъ устьевымъ и нѣсколькими приемными отвлѣтленіями, β) при круговыхъ (одной парѣ) каналахъ и наконецъ γ) при щитовыхъ отверстіяхъ въ полотнахъ воротъ.

§ 6. Самый общій видъ формулы для T_2 при продольныхъ каналахъ въ шлюзахъ.

70. Продольные каналы въ шлюзахъ съ m приемными и n устьевыми отвлѣтленіями по своей длинѣ. Когда (Фиг. 33) сравниваніе горизонтовъ въ двухъ камерахъ производится помощью отверстій въ полотнахъ воротъ и двухъ продольныхъ каналовъ, причемъ каждый изъ этихъ каналовъ имѣетъ m приемныхъ и n устьевыхъ отвлѣтленій по своей длинѣ, симметрично расположенныхъ относительно оси шлюза, общая формула для опредѣленія времени T_2 , при всѣхъ вышепріятыхъ упрощенныхъ обозначеніяхъ, приметъ слѣдующій видъ:

см. формула (73).

71. Частные случаи формулы (73). Изъ этой формулы (73) можно получить всѣ вышевыведенныя формулы для продольныхъ каналовъ при различномъ числѣ и различныхъ устройствахъ (расположеніяхъ) отвлѣтленій; формулы для круговыхъ (одной пары) каналовъ и отверстій въ полотнахъ воротъ также получаютъ отсюда, какъ частные случаи. Поэтому формула (73) представляетъ въ полномъ смыслѣ слова общую формулу для опредѣленія времени наполненія и опорожненія камеры шлюзовъ, а также сравниванія горизонтовъ воды въ камерахъ двукамерныхъ шлюзовъ.

71⁰. О поправкахъ въ найденныхъ T_1 и T_2 . Найденныя T надо исправить, подобно указанному въ n^{0n^0} 8 и 33, вслѣдствіе немгновеннаго открытія затворовъ разсматриваемыхъ водопроводовъ.

$$T_2 = A \cdot \left\{ B + \sqrt{C_0 + \frac{1}{D_1 + \frac{1}{C_1 + \frac{1}{D'_1 + \frac{1}{C_2 + \dots + \left(C'_{m-2} + \frac{1}{\sqrt{D_1^{(m-1)} + \frac{1}{[C'_{m-1} + C'_m]^2}}}} \right)^2}}}}}} \right\}^2 + \left\{ C_1 + \sqrt{D' + \frac{1}{C_2 + \dots + \left(C_{n-2} + \frac{1}{\sqrt{D^{(n-1)} + \frac{1}{[C_{n-1} + C_n]^2}}}} \right)^2}} \right\}^2$$

Г Л А В А IV.

ГИДРАВЛИЧЕСКІЯ СОПРОТИВЛЕНІЯ ВЪ ШЛЮЗНЫХЪ ВОДОПРОВОДАХЪ.

73. Подраздѣленіе сопротивленій. Гидравлическія сопротивленія, встрѣчающіяся при движеніи воды вообще по трубамъ, могутъ быть:

a) *общія*, проявляющіяся по всей длинѣ трубы,

и b) *мѣстныя*, происходящія отъ существованія въ трубѣ уширеній, суженій, діафрагмъ, колѣнъ, закругленій, отвѣтвленій, затворовъ и т. д. Во всѣхъ этихъ случаяхъ наблюдается измѣненіе направленія движенія или быстрое измѣненіе поперечнаго сѣченія или, наконецъ, то и другое совмѣстно.

§ 1. Опредѣленіе общихъ сопротивленій.

74. Величина общихъ по длинѣ трубы сопротивленій. При равномерномъ установившемся движеніи воды общія гидравлическія сопротивленія (высота гидравлическихъ сопротивленій), или *потеря напора* по длинѣ трубы на единицу вѣса выражается, какъ извѣстно изъ курса гидравлики ¹⁾, такъ:

$$(h'' - h''_0) = \left(z_0 + \frac{p_0}{\Delta} \right) - \left(z + \frac{p}{\Delta} \right) = - \frac{1}{g} \cdot \int_{s_0}^s \varphi \cdot d\sigma \cdot \cos \gamma =$$

$$= \int_{s_0}^s \frac{t}{\Delta} \cdot \frac{\chi}{\omega} \cdot ds = \frac{t}{\Delta} \cdot \frac{\chi}{\omega} \cdot L = \frac{t}{\Delta} \cdot \frac{1}{R} \cdot L = \frac{Q^2 L}{\gamma \cdot D^5} = H \dots \dots \dots (1^*)$$

гдѣ *t*—единичная сила тренія, одна и та-же во всѣхъ точкахъ стѣнки;

Δ —вѣсъ единицы объема воды;

χ —периметръ поперечнаго сѣченія трубы;

ω —площадь поперечнаго сѣченія трубы;

L—разсматриваемая длина трубы;

¹⁾ Ф. Е. Максименко. 1889 г. стр. 222—283.

$\frac{\omega}{\chi} = R$ — гидравлическій радиусъ трубы;

Q — расходъ воды въ секунду въ кб. единицахъ;

D — діаметръ трубы $= 4R$;

v — скорость воды въ трубѣ;

γ — коэффициентъ $= \frac{\pi^2}{64b_1}$, при чемъ значеніе для b_1 взято изъ общаго выраженія для $\frac{t}{\Delta} = b_1 \cdot v^2 = A \cdot v^2$.

75. Гидравлическій уклонъ. Изъ вышеприведенныхъ равенствъ легко получить уравненіе равномернаго движенія въ общепринятомъ видѣ:

$$\frac{t}{\Delta} = Ri \cdot \frac{(h'' - h''_0)}{L} = R \cdot i = b_1 \cdot v^2 = A \cdot v^2, \dots \dots \dots (2^*)$$

гдѣ i — единичная потеря напора, или гидравлическій уклонъ.

Если (Фиг. 34) горизонтальное разстояніе между двумя точками $= l = L \cdot \text{Cos} \beta$, то уклонъ пьезометрической линіи будетъ:

$$\text{tga} = \frac{(h'' - h''_0)}{l} = \frac{(h'' - h''_0)}{L \cdot \text{Cos} \beta}$$

Поэтому:

$$i = \frac{(h'' - h''_0)}{L} = \text{tga} \cdot \text{Cos} \beta, \dots \dots \dots (3^*)$$

гдѣ β — уголъ, составляемый направленіемъ трубы съ горизонтомъ.

Когда труба горизонтальна, или вообще $\angle \beta$ очень малъ, то гидравлическій уклонъ равенъ уклону пьезометрической линіи:

$$\text{tga} = i \dots \dots \dots (4^*)$$

76 Коэффициенты скорости и сопротивленія. Изъ общаго уравненія (2*) равномернаго движенія по трубамъ формула для скорости воды получаетъ видъ:

$$v = \frac{1}{\sqrt{b_1}} \cdot \sqrt{Ri} = \frac{1}{\sqrt{A}} \cdot \sqrt{Ri} = C \cdot \sqrt{Ri}, \dots \dots \dots (5^*)$$

т. е. формула (11) главы II (стр. 15).

Въ нѣкоторыхъ расчетахъ принимаютъ C постояннымъ и по Шези равнымъ 50 (при $b_1 = 0,0004$). Гобрехтъ въ расчетахъ Бер-

линских водостоконъ вводилъ $C=49$. Эти значенія C для приближенныхъ подсчетовъ могутъ быть оставлены; при болѣе же точныхъ— C слѣдуетъ вычислять по эмпирическимъ формуламъ, приводимымъ обыкновенно въ курсахъ гидравлики. Въ данномъ случаѣ, для шлюзныхъ водопроводовъ, удобнѣе всего для вычисленій пользоваться формулою Дарси:

$$\frac{t}{\Delta} = Ri = b_1 \cdot v^2 = \left(a + \frac{b}{R}\right) v^2;$$

$$v = C \cdot \sqrt{Ri} = \frac{1}{\sqrt{a + \frac{b}{R}}} \cdot \sqrt{Ri}, \dots \dots \dots (6^*)$$

гдѣ a и b —нѣкоторыя постоянныя величины, значенія коихъ ниже приводятся.

Примѣняя эту формулу, можно найти высоту гидравлическихъ сопротивленій изъ слѣдующаго выраженія:

$$(h'' - h''_0) = \frac{64}{\pi^2} \cdot \left(a + \frac{b}{R}\right) \cdot \frac{Q^2 \cdot L}{D^5} = 8 \cdot g \cdot \left(a + \frac{b}{R}\right) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} =$$

$$= \frac{v^2}{2g} \cdot \left\{ 2g \cdot \left(a + \frac{b}{R}\right) \cdot \frac{L}{R} \right\} = \zeta_0 \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (7^*)$$

Такимъ образомъ, коэффициентъ ζ_0 сопротивленія по длинѣ трубы, относя все сопротивление къ высотѣ соответствующей скорости $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$, будетъ:

$$\zeta_0 = 2g \cdot \left(a + \frac{b}{R}\right) \cdot \frac{L}{R} \dots \dots \dots (8^*)$$

По опытамъ Дарси для трубъ ¹⁾ чугунныхъ и желѣзныхъ, новыхъ и очищенныхъ старыхъ, значенія постоянныхъ были таковы:

$$\left. \begin{array}{l} a=0,0002333; \quad b=0,00000162 \text{ (для метровъ)} \\ a=0,00007726; \quad b=0,00000162 \text{ (для футовъ)} \end{array} \right\} \dots \dots (9^*)$$

Для тѣхъ же трубъ (малаго діаметра), въ случаѣ покрытія ихъ осадками, надо приведенныя значенія коэффициентовъ увеличить по Дарси—вдвое, а по позднѣйшимъ опытамъ ²⁾ въ 2,30—3,00 раза.

¹⁾ Діаметры трубы были: 10, 27, 29, 82, 137, 188, 297, 500 мм.
²⁾ См. Ф. Е. Максименко. Гидравлика. Москва. 1901/2 г. стр. 184—187.

Для трубъ большого діаметра (≥ 1 метр.) коэффициенты a и b надо увеличить въ 1,50 раза, т. е. принимать:

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,00038025 \dots \text{ и } \dots b = 0,00000243 \dots \text{ (для метровъ) } \\ a &= 0,00011589 \dots \text{ и } \dots b = 0,00000243 \dots \text{ (для футовъ) } \end{aligned} \right\} (10^*)$$

Для этихъ же послѣднихъ, въ случаѣ покрытія ихъ осадками, увеличеніе должно быть въ 1,75 раза (вмѣсто 1,50).

Значеніями (10*) коэффициентовъ a и b можно пользоваться въ примѣненіи формулы (8*) къ шлюзнымъ водопроводамъ.

77. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ формулъ и коэффициентовъ, выведенныхъ для движенія воды въ каналахъ нельзя считать правильнымъ, ибо въ разсматриваемыхъ галереяхъ, какъ и въ трубахъ, вода движется подъ напоромъ (въ данномъ случаѣ равнымъ разности горизонтовъ бѣфовъ) полнымъ сѣченіемъ, тогда какъ въ открытыхъ руслахъ, какъ извѣстно, условія движенія воды значительно отличаются отъ только что указанныхъ. Тѣмъ не менѣе, при расчетѣ шлюзныхъ водопроводовъ иногда *рекомендуется¹⁾ брать значенія коэффициентовъ b_1 , или A потерь напора (а слѣдовательно и коэффициента C скорости), даваемые для случая равномернаго движенія воды въ открытыхъ руслахъ.

Посмотримъ поэтому на частномъ примѣрѣ каковы возможныя предѣлы колебаній величины C при примѣненіи для ея нахождения различныхъ эмпирическихъ формулъ²⁾. Возьмемъ имѣющіяся данныя для шлюзовъ р. С. Донца:³⁾ Гидравлическій радіусъ $R = 0,5045$ метр.;

$$\begin{aligned} \text{гидравлическій уклонъ } i &= \frac{(h'' - h'_0)}{l} = \frac{\frac{1}{2} \cdot h}{l} = \frac{h}{2 \cdot l} = \frac{2,788}{5 \cdot (7,38 + 7,17)} = \\ &= 0,09896 ; \quad i = \frac{h}{l} = 0,19792 \cdot \end{aligned}$$

а) Для случая движенія воды подъ напоромъ.

1) По Шези..... $C = 50$ постоянное.

2) > Гобрехту..... $C = 49$ >

3) > Дарси..... $C = \frac{1}{\sqrt{b_1}}$; $b_1 = a + \frac{b}{R}$

¹⁾ *О. Г. Зброжекъ*. Курсъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній. С.-Пб. 1897 г. стр. 412.

²⁾ *Ф. Е. Максименко* 1901/2 г. стр. 183—187, 253—257.

³⁾ *Н. Д. Тякинъ*. Опредѣленіе времени наполненія камеры шлюза на р. Сѣв. Донцѣ при рабочихъ подпорныхъ горизонтахъ. Тифлисъ 1903.

При значеніяхъ a и b по выраженіямъ (9*), т. е. для малыхъ диаметровъ:

$$b_1 = 0,000237 \dots \text{ и } C = 62,30 \dots \text{ измѣняется съ } R.$$

При значеніяхъ a и b по выраженіямъ (10*), т. е. для диаметровъ $\geq 1,00$ метр.:

$$b_1 = 0,000385 \dots \text{ и } C = 51,02 \dots \text{ измѣняется съ } R.$$

в) Для случая движенія воды въ открытыхъ каналахъ.

1) По Дарси-Базену ¹⁾ $C = \frac{1}{\sqrt{b_1}}$

(2-я категория русель—съ гладкими стѣнками, каковы: каменные лещадныя плиты, деревянные нестроганые брусья и доски и старыя чугунныя трубы) ²⁾.

$$A = b_1 = 0,00019 \cdot \left(1 + \frac{0,07}{R}\right) = 0,00019 + \frac{0,0000133}{R} = 0,000216$$

и

$$C = 68,03 \dots \text{ измѣняется съ } R.$$

2) По Базену

$$C = \frac{1}{a \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}\right)} = 70,92 \dots \text{ измѣняется съ } R,$$

при чемъ: $a = 0,0115$ — постоянно для мѣръ въ метрахъ,

$\gamma = 0,16$ — взято въ данномъ случаѣ по предыдущему для 2-й категории русель.

3) По Гамилье-Куттеру.

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{i} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} = 76,38 \dots \text{ для } i = \frac{h}{2l}$$

$$\text{и } = 76,37 \dots \text{ для } i = \frac{h}{4}$$

При этомъ для n беремъ 4-ю категорию русель (обдѣлка изъ тесовой или обыкновенной кирпичной кладки) = 0,012.

¹⁾ Для канала шириною 2 м., глубиною 1 м., при длинѣ 596,3 м.

²⁾ *О. Г. Зброжекъ*, стр. 412.

(2-я категория русель—для досчатой обдѣлки, очень хорошей кирпичной кладки и новыхъ чугунныхъ трубъ, покрытыхъ асфальтомъ—имѣеть $n=0,011$).

Теперь, изъ сопоставленія вычисленныхъ значений C видимъ, что наиболѣе правильная для шлюзныхъ водопроводовъ р. Донца величина $C=51,02$ въ 1,33 раза (для $C=68,03$) до 1,30 разъ (для $C=76,58$) меньше, чѣмъ для того же R въ открытыхъ каналахъ: величина же $C=62,30$ —для трубъ малаго (меньше 1 м.) діаметра тоже все-таки меньше въ 1,1—1,23 раза тѣхъ же величинъ для открытыхъ русель.

На основаніи всего вышеизложеннаго пользованіе при расчетѣ шлюзныхъ водопроводовъ коэффициентами b_1 (или A) и C , найденными для случая движенія воды въ открытыхъ каналахъ *неправильно и не должно быть рекомендуемо*.

78. Особья формы поперечнаго сѣченія шлюзныхъ водопроводовъ.

Если галерея *не кругового* сѣченія, то для пользованія приведенными въ главахъ II и III формулами надо по данной площади имѣющагося сѣченія найти предварительно діаметръ круговой трубы равновеликаго сѣченія, т. е. по формулѣ:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ откуда: } d = 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega}{\pi}} \dots \dots \dots (11^*)$$

Если галерея *коническая*, то для подсчета сопротивленія на длинѣ берется средняя площадь, и діаметръ, соответствующій этой площади, опредѣлится изъ формулы:

$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2\pi} = \frac{\pi d^2}{4}$$

и будетъ:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_1 + \omega_2}{2\pi}} \dots \dots \dots (12^*)$$

§ 2. Опредѣленіе мѣстныхъ сопротивленій.

79. Мѣстныя сопротивленія въ водопроводахъ должны быть разсмотрѣны каждое отдѣльно въ зависимости отъ рода препятствій, встрѣчаемыхъ водою при ея равномерномъ установившемся движеніи.

80. Сопротивление при входѣ. Коэффициентъ сопротивленія при входѣ воды въ трубу (Фиг. 35) вычисляется ¹⁾ по формуламъ для насадокъ:

$$\text{для цилиндрическихъ трубъ} \dots\dots\dots \zeta_1 = \frac{1}{\mu^2} - 1 \dots\dots\dots (13^*)$$

$$\text{для коническихъ сходящихся трубъ} \zeta'_1 = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \dots\dots\dots (14^*)$$

Величина коэффициента μ принимается въ 0,80; тогда какъ значеніе φ берется, въ зависимости отъ угла β конусности, по таблицѣ *Грассофа (Grashof)*, составленной на основаніи опытовъ *Добюиссона (D'Aubuisson)* и *Кастелля (Castelli)* ²⁾; $\beta^0 = 0^0$ — соотвѣтствуетъ цилиндрической насадкѣ.

β^0	0 ⁰	1 ⁰	2 ⁰	3 ⁰	4 ⁰	5 ⁰	6 ⁰	8 ⁰	10 ⁰	12 ⁰
φ	0,829	0,852	0,873	0,892	0,909	0,920	0,925	0,933	0,949	0,953
β^0	13 ⁰	14 ⁰	16 ⁰	18 ⁰	20 ⁰	25 ⁰	30 ⁰	35 ⁰	40 ⁰	45 ⁰
φ	0,961	0,963	0,969	0,970	0,971	0,974	0,975	0,977	0,980	0,983

Въ случаѣ округленія входа трубы (Фиг. 35с) сопротивление мы беремъ полностью, т. е. какъ въ только что разсмотрѣнныхъ случаяхъ, за невозможность точно подсчитать какую часть отъ ζ_1 или ζ'_1 надо взять въ данномъ примѣрѣ. Точное опредѣленіе нѣкоторой средней площади ω_1 затруднительно влѣдствіе неизвѣстности вида кривой и небольшой длины этой закругленной части. Уменьшеніе же времени для сравненія горизонтовъ благодаря болѣе точному подсчету могло бы быть весьма незначительнымъ, выражаясь въ какихъ-либо сотыхъ доляхъ секунды.

81 Сопротивленіе при выходѣ. Коэффициентъ сопротивленія при выходѣ воды изъ водопровода въ бассейнъ выражается ³⁾ формулой:

$$\zeta_2 = \left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\right)^2, \dots\dots\dots (15^*)$$

¹⁾ Ф. Е. Максименко. 1889 г. стр. 121 и 127.

²⁾ См. тамъ же, стр. 128; также *Grashof*, *Theoretische Maschinenlehre*, Bd., s. 472.

³⁾ Ф. Е. Максименко. стр. 284.

гдѣ ω —площадь поперечнаго сѣченія трубы и Ω —площадь бассейна въ планѣ.

82. Сопротивленіе при быстромъ измѣненіи поперечнаго сѣченія. Высота гидравлическихъ сопротивленій на единицу вѣса, вызываемыхъ быстрымъ измѣненіемъ поперечнаго сѣченія, опредѣляется ниже-слѣдующей формулой (Фиг. 36, 37, 38).

Пусть сѣченія струи будутъ: Ω_1 — сжатой, со скоростью въ немъ v_1 ; Ω расширенной, со скоростью въ немъ v ; ω и Ω' —сѣченія частей трубы. Тогда:

$$(h'' - h''_0) = \frac{(v_1 - v)^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g} \left[\frac{1}{\Omega_1} - \frac{1}{\Omega} \right]^2 = \frac{Q^2}{2g} \left[\frac{\Omega - \Omega_1}{\Omega \cdot \Omega_1} \right]^2 = \frac{Q^2}{\Omega^2} \cdot \frac{1}{2g} \cdot \left[\frac{\Omega}{\Omega_1} - 1 \right]^2 = \frac{v^2}{2g} \cdot \left[\frac{\Omega}{\Omega_1} - 1 \right]^2 = \zeta_3 \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (16^*)$$

Эта формула даетъ возможность найти коэффициентъ ζ_3 сопротивленія въ нѣсколькихъ случаяхъ.

а). Для случая *уширенія* ¹⁾ трубы (Фиг. 36):

$$\Omega_1 = \omega \dots \dots \zeta_3 = \left[\frac{\Omega}{\omega} - 1 \right]^2 \dots \dots \dots (17^*)$$

Для случая *постепеннаго уширенія* (Фиг. 39), по опытамъ *Fliegner*'а ²⁾ въ зависимости отъ формы и скорости коэффициентъ сопротивленія берется:

$$\zeta_3 = \text{отъ } 0_{,30} \text{ до } 0_{,12}, \text{ или въ среднемъ } 0_{,31} \text{ отъ найденнаго по формулѣ (17^*)} \dots \dots \dots (18^*)$$

Для случая по Фиг. 40 коэффициентъ ζ_3 почти равенъ нулю.

б) Для случая *суженія* трубы (Фиг. 37):

$$\omega = \Omega; \Omega_1 = \alpha \cdot \omega \dots \dots \dots \zeta_3 = \left[\frac{1}{\alpha} - 1 \right]^2, \dots \dots \dots (19^*)$$

гдѣ, въ среднемъ, коэффициентъ сжатія α надо принимать равнымъ $0_{,62}$, или точнѣе, хотя все-таки приблизительно, можно имѣть ³⁾:

при $\Omega : \Omega' =$	0 _{,01}	0 _{,10}	0 _{,20}	0 _{,40}	0 _{,60}	0 _{,80}	1 _{,00}
$\alpha =$	0 _{,60}	0 _{,60}	0 _{,61}	0 _{,63}	0 _{,67}	0 _{,73}	1 _{,00}
$\zeta_3 =$	0 _{,30}	0 _{,30}	0 _{,42}	0 _{,33}	0 _{,23}	0 _{,13}	0 _{,00}

1) Ф. Е. Максименко, 1889 г. стр. 284; а также *Grashof, Weisbach*.

2) *Hütte*. 1902. Ч. I, стр. 255; *Fliegner*—*Civilingenieur.*, 1875, p. 98.

3) *Hütte*, 1902. Ч. I, стр. 255.

Для случая ¹⁾ по Фиг. 41:

1) При $\frac{\omega}{\Omega} < 0,1$; $\alpha = 0,615 = \text{Const.}$ почти при всяких отношениях $\frac{\omega}{\Omega}$ и $z''_3 = 0,083$.

2) Если $\frac{\omega}{\Omega} \geq 0,1$, то:

при $\omega:\Omega =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha =$	0,618	0,615	0,612	0,610	0,608	0,608	0,605	0,603	0,600	0,590
$z''_3 =$	231,7	50,99	19,78	9,612	5,236	3,077	1,876	1,169	0,734	0,480

По *Максименко* ²⁾, $\alpha = 0,64$ для истечения через круглое отверстие в тонкой стѣнкѣ; коэффициентъ внутренняго сжатія струи, для истечения через цилиндрич. насадки, $\alpha_1 = 0,64$; По *Grashof*'у (Vd. I, s. 468) α_1 очень мало отличается отъ α .

При *постепенномъ* (по кривымъ) *измѣненіи диаметра* удара не будетъ и $z''_3 = 0$.

При суженіи по Фиг. 42 можно принять ³⁾:

$$z''_3 = \frac{1}{8 \cdot \text{Sin} \delta} \left[1 - \left(\frac{d}{d_1} \right)^4 \right] \cdot z_1, \dots \dots \dots (20^*)$$

гдѣ z_1 — коэффициентъ сопротивленія при входѣ воды въ трубы, въ среднемъ равный 0,505 (или точнѣе см. формулы (13*) и (14*)); δ — уголъ производящей конуса съ его осью.

γ) Для случая *диафрагмы* (Фиг. 38):

$$\Omega_1 = \alpha \cdot \omega \dots \text{ и } \dots z'''_3 = \left[\frac{\Omega}{\alpha \cdot \omega} - 1 \right]^2 \dots \dots \dots (21^*)$$

По *Weisbach*'у ⁴⁾

при $\omega:\Omega =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha =$	0,625	0,632	0,743	0,659	0,681	0,714	0,733	0,813	0,893	1,0
$z'''_3 =$	226	47,8	17,3	7,80	3,73	1,80	0,80	0,29	0,06	0

¹⁾ *Meissner*, s. 390.

²⁾ См. *Ф. Е. Максименко*. 1889. Стр. 66, 117—119.

³⁾ *Hütte*, 1890. Ч. I, стр. 187 и 180.

⁴⁾ *Ф. Е. Максименко*. 1889. Стр. 284.

83. Поправка въ формулѣ (17*). St.-Venant¹⁾, на основаніи опытовъ *Borda*, вводитъ еще добавочный поправочный членъ:

а) для случая *расширенія* имѣемъ:

$$(h'' - h''_0) = \frac{(v_1 - v)^2}{2g} + 0,111 \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g} \cdot \left\{ \left[\frac{\Omega}{\Omega_1} - 1 \right]^2 + \frac{1}{9} \right\} \dots (17^{**})$$

б) для случая *суженія*:

$$z''_3 = \left[\left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2 + \frac{1}{9} \right] \dots (19^{**})$$

γ) для случая *диафрагмы*:

$$z'''_3 = \left[\left(\frac{\Omega}{\alpha \cdot \omega} - 1 \right)^2 + \frac{1}{9} \right] \dots (21^{**})$$

84. Сопротивленіе въ простыхъ и двойныхъ колѣнахъ. Коэффициентъ сопротивленія въ простомъ (одиночномъ) колѣнѣ по *Weisbach*'у (изъ его опытовъ надъ трубами діам. 0,03 м.) опредѣляется (Фиг. 43) формулой²⁾:

$$z_4 = 0,9457 \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2} + 2,047 \cdot \sin^4 \frac{\beta}{2}, \dots (22^*)$$

гдѣ β — уголъ, на который измѣняется направленіе продольной оси трубы. Такъ,

при $\beta =$	20°	40°	60°	80°	90°	100°	120°	140°
$z_4 =$	0,016	0,139	0,364	0,710	0,984	1,260	1,861	2,131

Для трубъ бѣльшаго діаметра величина z_4 значительно меньше. Такъ, *Flamant*³⁾ указываетъ на основаніи опытовъ *Caligny* для прямого угла:

$$z_4 = 0,25 \dots (23^*)$$

Коэффициентъ сопротивленія для *двойного колѣна* (Фиг. 44) при короткомъ соединеніи *ab*, когда направленіе движенія воды измѣ-

1) *Flamant*. р. 76--79.

2) *Максименко*, 1889. стр. 285; *Hütte*. 1902. ч. I, стр. 254; *Meissner*, s. 387—392.

3) *Flamant*. р. 80.

няется на прямопротивоположное, имѣеть ¹⁾ значеніе ζ_3 —то-же, что для одного колѣна, такъ какъ сжатіе струи происходитъ одинъ разъ, т. е.

$$\zeta_3 = \zeta_1 \dots \dots \dots (24^*)$$

Для двойного колѣна ¹⁾ по Фиг. 45 и 46, при короткомъ *ab*, когда направленіе движенія воды остается безъ перемѣны, сжатіе струи происходитъ дважды и коэффициентъ сопротивленія:

$$\zeta_6 = 2\zeta_1 \dots \dots \dots (25^*)$$

Для двойного колѣна по Фиг. 47, когда, при короткомъ *ab*, звено *bf* перпендикулярно къ *ab* и *ac*, при направленіи движенія воды, указанномъ стрѣлками, коэффициентъ сопротивленія:

$$\zeta_7 = 1,35\zeta_1 \dots \dots \dots (26^*)$$

85. Сопротивленіе въ закругленіяхъ. Коэффициентъ сопротивленія въ закругленіяхъ (Фиг. 48) можетъ быть опредѣленъ по формулѣ *Dubuat*:

$$\zeta_8 = a \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \text{Sin}^2 \frac{\varphi_i}{2}, \dots \dots \dots (27^*)$$

гдѣ $a=0,2413$; φ —уголъ отклоненія струи, n —число такихъ отклоненій. Диаметръ трубъ въ опытахъ *Dubuat* измѣнялся отъ 0,27 до 0,34 метр.

Если кривая—дуга круга радиуса ρ и имѣеть уголъ при центрѣ $=\beta$, радиусъ сѣченія трубы $=r$, то $n = \frac{\beta}{\varphi}$; $\text{Cos} \frac{\varphi}{2} = \frac{\rho}{\rho+r}$ и тогда

$$\zeta'_8 = a \cdot \frac{\beta}{\varphi} \cdot \text{Sin}^2 \frac{\varphi}{2} \dots \dots \dots (28^*)$$

Эта формула, по *Grashof*'у, удобна для вычисленій при $\frac{r}{\rho} \leq 0,2$ съ коэффициентомъ $a=0,337$, тогда для закругленія въ 90° , или прямого колѣна съ закругленіемъ (Фиг. 49), имѣемъ:

при $r : \rho =$	0,05	0,1	0,15	0,2
$\zeta'_8 =$	0,057	0,076	0,089	0,099

¹⁾ *Максименко* 1889. стр. 285; *Weisbach*. Jng. Mech. s. 1048; *Rühlmann*. s. 513; *Meissner*. s. 388.

При $\frac{r}{\rho} < 0,05$ надо пользоваться формулой, выведенной изъ (28*):

$$z''_8 = 0,00416 \cdot \beta \cdot \left(1 - \frac{r}{\rho}\right) \sqrt{\frac{r}{\rho}}, \dots \dots \dots (29^*)$$

гдѣ β выражено въ градусахъ.

Для закругленій въ 90° , при $\frac{r}{\rho} \geq 0,2$ Weisbach даетъ ¹⁾ формулу:

$$z'''_8 = a + b \cdot \left(\frac{r}{\rho}\right)^{\frac{7}{2}}, \dots \dots \dots (30^*)$$

гдѣ для трубъ круглаго сѣченія

$$a = 0,131; \quad b = 1,847;$$

для трубъ прямоугольнаго сѣченія, въ которомъ стороны, параллельныя плоскости закругленія, равны $2r$,

$$a = 0,124; \quad b = 3,104.$$

Въ этомъ послѣднемъ случаѣ имѣемъ:

при $r : \rho =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
для кругл. сѣч. $z'''_8 =$	0,131	0,138	0,138	0,206	0,294	0,410	0,661	0,977	1,408	1,978
для правоуг. сѣч. $z'''_8 =$	0,121	0,135	0,180	0,230	0,398	0,634	1,013	1,546	2,721	3,228

86. Сопротивленіе въ колѣнахъ съ закругленіемъ. Величины коэффициента z_8 сопротивленія для прямого колѣна съ закругленіемъ при кругломъ и прямоугольномъ поперечныхъ сѣченіяхъ приведены были выше (*n*^o 85).

Для двойныхъ колѣнъ съ закругленіемъ имѣемъ, подобно указанному въ *n*^o 84, слѣдующіе случаи

1. Фиг. 50..... $z = z_8$ (24*)

2. Фиг. 51..... $z = 2z_8$ (25*)

3. Фиг. 52..... $z = 1,35z_8$ (26*)

87. Нѣкоторыя общія заключенія о сопротивленіяхъ въ колѣнахъ и закругленіяхъ. Хотя величины сопротивленій въ колѣнахъ и закругле-

¹⁾ Максименко, 1889 г. стр. 285—287; Hütte, 1902, ч. I, стр. 254.

нияхъ въ общемъ не велики, но при большомъ числѣ такихъ мѣстъ на водопроводной линіи общая сумма подобныхъ сопротивленій можетъ сдѣлаться замѣтной и вліять на движеніе воды. Уменьшеніе числа закругленій и колѣнъ желательно.

При закругленіяхъ большого радіуса (≥ 2 м.) потерей напора на закругленіе, т. е. измѣненіе направленія, иногда пренебрегаютъ.

При расположеніи колѣнъ и закругленій въ вертикальной плоскости, выпуклостью вверхъ, въ нихъ скопляется воздухъ, выдѣляющійся изъ воды. Это скопленіе, уменьшая поперечное сѣченіе трубы, уменьшаетъ расходъ и можетъ при малыхъ діаметрахъ трубы даже совсѣмъ остановить теченіе. Для избѣжанія этого въ такихъ мѣстахъ, напр. въ обыкновенныхъ водопроводныхъ трубахъ располагаютъ вантузы, т. е. приборы автоматически выпускающія воздухъ изъ трубъ по мѣрѣ накопленія его.

При одинаковыхъ обстоятельствахъ сопротивленіе кривыхъ колѣнъ меньше, нежели угловыхъ.

Съ увеличеніемъ радіуса кривизны потеря въ напорѣ уменьшается.

По *Weisbach*'у ¹⁾:

1. Потеря напора можетъ быть значительно уменьшена, если самый изгибъ настолько будетъ расширенъ (Фиг. 53), что поперечное сѣченіе струи не будетъ сужено. Тогда теряется лишь столько живой силы, сколько нужно для измѣненія направленія.

2. Также, помѣщая въ изгибъ короткую промежуточную стѣнку (Фиг. 54), можно уменьшить эту потерю.

88. Сопротивленіе при отвѣтвленіяхъ. Коэффициентъ сопротивленія въ отвѣтвленіяхъ подъ прямымъ угломъ (Фиг. 55) по *Bélangier* и *Genieys* ²⁾:

$$z_9 = 2z_1 \dots\dots\dots (31^*)$$

При обратномъ входѣ воды изъ отвѣтвленія въ галерею (Фиг. 56) будемъ считать коэффициентъ сопротивленія:

$$z_{10} = z_1 \dots\dots\dots (32^*)$$

При развѣтвленіяхъ трубъ *равнаго* ³⁾ діаметра (Фиг. 57) величину сопротивленія приблизительно можно опредѣлять по формулѣ (22*) *Weisbach*'а.

¹⁾ *Weisbach*. Ingenieur-Mechanik. Bd. I. (5. Auflage) s. 1048; *Meissner*, s. 388; *Rühlmann*, s. 513.

²⁾ *Olive*. Traité d'Hydraulique. p. 193.

³⁾ *Tume*, стр. 184; *Rühlmann*, s. 531—532.

Въ случаѣ развѣтвленія трубъ *неравно*¹⁾ діаметра кромѣ отклоненія струи происходитъ еще и уменьшеніе скорости. На основаніи опытовъ *Mallé (Mallet)* и *Génieys* надъ парижскими водопроводами діам. 0,25 метр. съ отвѣтвленіемъ діам. 0,084 метр. найдено, что въ среднемъ, потеря напора при этомъ равна удвоенному напору соотвѣтствующему скорости въ побочной трубѣ, т. е.

$$(h'' - h''_0) = 2 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \dots \dots \dots (33^*)$$

При вѣтви, *изогнутой*³⁾ по плавной кривой (Фиг. 58), такъ что ось главнаго канала касательна къ оси вѣтви, $\angle\beta$ можно принять равнымъ нулю и

$$(h'' - h''_0) = 0. \dots \dots \dots (34^*)$$

Для уменьшенія вредныхъ сопротивленій надлежитъ избѣгать рѣзкихъ измѣненій въ сѣченіяхъ и въ направленіи трубъ.

§ 3. Совмѣстное опредѣленіе общихъ и мѣстныхъ сопротивленій для того же участка трубы.

89. Необходимость суммированія сопротивленій общихъ и мѣстныхъ. При опредѣленіи величины сопротивленія по длинѣ трубы мы въ дальнѣйшихъ расчетахъ разсматриваемъ всю длину водопровода, не вычитая участковъ съ мѣстными сопротивленіями, каковы суженія, расширенія и т. п. Такъ дѣлаемъ на основаніи того, что эти сопротивленія сравнительно не велики и точно по своей величинѣ, въ отношеніи длины распространенія, неизвѣстны. Что касается кривыхъ участковъ (закругленій) водопроводовъ, то и здѣсь повидимому вычитать эти участки изъ общей длины водопровода, при нахожденіи величины сопротивленія по длинѣ, не слѣдуетъ; т. е. въ формулахъ [(27*)—(30*)] для сопротивленія въ кривыхъ входитъ лишь сопротивленіе отъ постепеннаго измѣненія струи, сопротивленіе же по длинѣ надо считать особо по формулѣ (7*).

Такъ напр. (Фиг. 59) возьмемъ трубу, у которой $2r = d = 0,40$ м; $R = \frac{d}{4} = 0,10$ м.; и $\rho = 10$ м. Тогда: $\frac{r}{\rho} = 0,02$ (см. выше *n*⁰ 85) и сопротивленіе для такового округленія при углѣ въ 90° будетъ:

$$\zeta_8 = 0,138 \dots \dots \dots (\alpha)$$

1) *D'Aubuisson*. р. 256—257; *Bresse*, р. 175—176.

Длина этой трубы от a до b : $L=15,7$ м. Считая сопротивление по формулѣ (7*), найдемъ:

$$\zeta_0 = 2,9_{81} \cdot \left(0,0002333 + \frac{0,00000162}{0,10} \right) \cdot \frac{15,7}{0,10} = 0,831 \dots \dots (\beta)$$

Такимъ образомъ, повидимому слѣдуетъ считать, что сопротивление по формуламъ (α) и [(27*)—(30*)] есть только мѣстное сопротивление отъ измѣненія направленія движенія воды, иначе вышло бы, что выгоднѣе дѣлать водопроводы по кривымъ. Такой выводъ, какъ извѣстно, не согласуется ни съ практикой, ни съ разсужденіями. Поэтому мы въ нашихъ подсчетахъ сопротивления, найденныя по формуламъ (α) и (β), суммируемъ.

§ 4. О составленіи общихъ коэффициентовъ сопротивления и отдѣльных элементовъ въ формулахъ проф. Ф. Е. Максименко.

90. Порядокъ составленія коэффициентовъ сопротивления. Коэффициенты сопротивления для случая продольнаго канала съ отвѣтвленіями на концѣ составляются слѣдующимъ образомъ (Фиг. 60):

Порядокъ.	На части канала.	Съченіе.	Полный коэф-тъ сопротивления.
1	$ab \dots \dots$	w'	ζ'
2	$bc \dots \dots$	w''	ζ''
3	$cd \dots \dots$	w_3	ζ_3
4	$bf \dots \dots$	w_1	ζ_1
5	$ce \dots \dots$	w_2	ζ_2

Прежде всего необходимо разбить весь водопроводъ на указанныя на схемѣ и въ таблицѣ части и для каждой найти свой полный коэффициентъ сопротивления. Каждый изъ этихъ коэффициентовъ долженъ быть составленъ особо. Такъ наприм.:

- 1) $\zeta' = \zeta'_I$ (сопр. при входѣ воды въ трубу) + ζ'_{II} (сопротивл. по всей длинѣ) + ζ'_{III} (сопротивл. въ концѣ);
- 2) $\zeta'' = \zeta''_I$ (сопр. по длинѣ) + ζ''_{II} (сопр. въ концѣ);
- 3) $\zeta_3 = \zeta^I_3$ (сопр. по длинѣ) + ζ_{II_3} (сопр. въ колѣнѣ) + ζ^{III}_3 (сопр. при выходѣ);
- 4) ζ_1 или $\zeta_2 = \zeta^I_1$ (сопр. при входѣ) + ζ^{II}_1 (сопр. по длинѣ) + ζ^{III}_1 (сопр. при выходѣ).

91. Определеіе коэффициентовъ формулы Указавъ выше формулы, принятыя вообще для подсчета сопротивленій, перейдемъ къ коэффициентамъ самой формулы. Въ разсматриваемыхъ формулахъ имѣются коэффициенты A , B , C и D . Вычисленіе коэффициентовъ A и B , какъ это видно изъ ихъ соответственныхъ выраженій, весьма просто. Что же касается коэффициентовъ типа C и D :

$$C_i = \frac{\omega_i}{\sqrt{z_i}} \dots D^{(i)} = \frac{z^{(i)}}{(\omega^{(i)})^2}, \dots \dots \dots (a)$$

то до тѣхъ поръ, пока сѣченіе водопровода не измѣняется, вычисленіе ихъ также не представляетъ ничего особеннаго.

Въ существующихъ же устройствахъ плюзовъ нерѣдко продольные каналы имѣютъ непостоянный діаметръ по всей своей длинѣ, а измѣняющійся. Въ такихъ случаяхъ уже нахожденіе коэффициентовъ C и D является затруднительнымъ, ибо въ самихъ выводахъ формулъ нѣтъ никакихъ указаній на способъ ихъ опредѣленія. Для полученія коэффициентовъ формулы въ подобныхъ случаяхъ мы при нашихъ подсчетахъ имѣли въ виду составить такую формулу (общую), каковая при одинаковомъ сѣченіи канала (какъ частный случай) приводила бы къ тѣмъ же результатамъ, какъ и раньше приведенныя формулы (a). Послѣ ряда попытокъ, дававшихъ при вычисленіи явно не вѣрные результаты, были установлены слѣдующія двѣ формулы, дающія возможность опредѣлять коэффициенты C и D и въ случаѣ переменнаго сѣченія трубы:

$$D^{(i)} = \sum \frac{z^{(i)}}{(\omega^{(i)})^2} \dots \dots \dots (35^*)$$

$$C_i = \frac{1}{\sqrt{\sum \frac{z_i}{\omega_i^2}}} \dots \dots \dots (36^*)$$

Для вычисленія по этимъ формуламъ каналъ разбивается прежде всего по длинѣ на части (Фиг. 61), имѣющія одинаковое сѣченіе $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \dots$ и для каждой такой части подсчитывается соответственный коэффициентъ сопротивленія: $z_1, z_2, z_3, z_4, \dots$. Тогда коэффициентъ типа D будетъ:

$$D = \frac{z_1}{\omega_1^2} + \frac{z_2}{\omega_2^2} + \frac{z_3}{\omega_3^2} + \dots + \frac{z_n}{\omega_n^2} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{z^{(i)}}{(\omega^{(i)})^2} \dots \dots (35^*)$$

При равенствѣ всѣхъ площадей поперечныхъ сѣченій $\omega_1 = \omega_2 = \dots = \omega_n = \omega$, (т. е. если бы разбить на n частей каналъ, имѣющій одинаковое сѣченіе по всей длинѣ), получимъ:

$$D = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + \dots + z_n}{\omega^2} = \frac{\sum z^{(i)}}{\omega^2}, \dots \dots \dots (35^*)$$

т. е. выраженіе, уже имѣющееся въ выводахъ, такъ какъ вообще $z = z_1 + z_2 + z_3 + \dots$.

Коеффициентъ типа C для той же трубы составляемъ такъ:

$$C = \frac{1}{\sqrt{D}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{z_1}{\omega_1^2} + \frac{z_2}{\omega_2^2} + \frac{z_3}{\omega_3^2} + \dots}} = \frac{1}{\sqrt{\sum \frac{z_i}{\omega_i^2}}}, \dots (36^*)$$

что при постоянномъ сѣченіи по всей длинѣ разсматриваемаго участка канала даетъ:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\frac{z_1 + z_2 + z_3 + \dots}{\omega_1^2}}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{z_1 + z_2 + z_3 + \dots}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{\sum z_i}}, \dots (36'^*)$$

т. е. уже извѣстное изъ общихъ выводовъ выраженіе.

92. Порядокъ составленія коеффициентовъ формулы. При подсчетѣ коеффициентовъ сопротивленія въ мѣстахъ соединеній канала съ отвѣтвленіями иногда представляется не совсѣмъ яснымъ относится ли разсматриваемое сопротивление къ части продольнаго канала или къ отвѣтвленію. Мы въ нашихъ подсчетахъ придерживались слѣдующаго образа дѣйствій.

При опредѣленіи T_1 въ случаѣ наполненія камеры, или, вѣрнѣе, въ случаѣ выхода воды чрезъ отвѣтвленія въ камеру для нахождения коеффициента D_n разсматриваемъ только сопротивление (Фиг. 62) на длинѣ l_n . Для полученія же коеффициента C_n складываемъ три коеффициента сопротивленія: 1) при входѣ въ отвѣтвленіе; 2) на длинѣ отвѣтвленія; и 3) при выходѣ изъ отвѣтвленія въ камеру.

При опредѣленіи T_2 въ случаѣ опорожненія камеры, или, вѣрнѣе, въ случаѣ входа воды чрезъ отвѣтвленія въ продольный каналъ для коеффициента C_n беремъ опять три коеффициента сопротивленія: 1) при входѣ въ отвѣтвленіе снаружи, изъ камеры; 2) на длинѣ отвѣтвленія; и 3) при выходѣ изъ отвѣтвленія въ каналъ, хотя послѣднее сопротивление частью отходитъ и къ каналу. Та-

кимъ образомъ (Фиг. 63), для подсчета D_n останется только сопротивление на длинѣ l_n и конечно всѣ сопротивленія, находящіяся на этой части канала.

Г Л А В А V.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДСЧЕТОВЪ ¹⁾ ПО ПРИВЕДЕННЫМЪ ФОРМУЛАМЪ И ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНІЕ О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМѢНЕНІЯ ПОСЛѢДНИХЪ.

93. Основанія для сравнительныхъ выводовъ. Въ виду правильности составленія формулъ *Ф. Е. Максименко* и почти полного согласованія подсчета по нимъ съ дѣйствительными величинами времени T_1 и T_2 въ исполненныхъ шлюзовыхъ устройствахъ, онѣ считаются въ дальнѣйшемъ за основныя; съ ними сравниваются всѣ остальные формулы, при чемъ T_1 и T_2 разсматриваются неисправленныя на немгновенное открытіе отверстій, а лишь непосредственно полученные изъ формулъ, что для сравнительныхъ выводовъ не повлечетъ за собою какихъ-либо неправильностей.

§ 1 Примѣры устройствъ круговыхъ каналовъ въ шлюзѣ.

94. Шлюзы на р. Сѣв. Донцѣ ²⁾ (последній проектъ).

Общія данныя. Полезная длина камеры $L=87,7$ м.; ширина $B=14,1$ м.; глубина воды на королѣ $2,13$ м.; $\Omega_0=1348,3$ м.²; $h=2,88$ м. и $2,63$ м.; $\Sigma\omega_0=0,29 \times 8$ кв. м.; два круговые канала (Фиг. 64) въ каждой головѣ, симметрично расположенные относительно оси шлюза, площадь ω_1 сѣченій: входной вѣтви $=2,6$ м.², въ мѣстѣ нахождения щита (диафрагма) $=2,01$ м.², выпускной вѣтви $=3,2$ м.²

Результаты подсчетовъ. (Наполненіе и опорожненіе камеры одинаковы; $h=2,88$ м.; $\omega_1=2,6$ м.²).

1. Формула (12)—дѣйствуютъ только круговые каналы.

При $C^3)=50 \dots T'=70,8$ сек.; при $C^4)=51,02 \dots T''=69,3$ сек.

¹⁾ Въ производствѣ подсчетовъ принималъ дѣятельное участіе практикантъ И. М. И. У. Я. Н. Думинъ.

²⁾ Н. Д. Тяткинъ. Опредѣленіе времени наполненія и опорожненія камеры шлюза на р. Сѣв. Донцѣ, Тифлисъ 1903 г.; *N. Tiarkin. Bestimmung der Fülldauer der Schleusenammer.*

³⁾ См. Глава IV, n^0 76 и 77.

2. Формула (15)—дѣйствуютъ только круговые каналы.

При $C=50\dots T'=223,6$ сек.

3) Формула (27) ¹⁾.

А. Прямое положеніе канала.

a) Открыты только отверстія въ полотнахъ воротъ..... $T=718,35$ сек.=12 мин.

b) Работаютъ только круговые каналы..... $T=290,2$ сек.=4 мин. 50 сек.

c) Дѣйствуютъ всѣ водопроводы одновременно..... $T=206,7$ сек.=3,43 мин.

В. Перевернутое положеніе канала.

a) Открыты только отверстія въ полотнахъ воротъ..... $T=718,3$ сек.

b) Работаютъ только круговые каналы..... $T=304,1$ сек.

c) Дѣйствуютъ всѣ водопроводы одновременно $T=213,7$ сек.

4) Формула (2 или 2⁰) ¹⁾.

a) При коэффициентѣ $\mu=0,33$ для прямого положенія канала соответственно имѣемъ:

a. $T=810,16$ сек., т.-е. на 12,8% больше.

b. $T=465,36$ > > > 60,4% >

c. $T=295,67$ > > > 43,1% >

β) Пользуясь величинами T , найденными выше по формулѣ (27) для случая (a), получимъ значенія коэффициента μ для формулы (2) или (2⁰), при желаніи примѣнять ее и для расчета разсматриваемыхъ круговыхъ каналовъ; соответственно находимъ:

a.... $\mu=0,62$

b.... $\left\{ \begin{array}{l} \mu=0,88 \text{—взята чистая площадь отверстія діафрагмы.} \\ \mu=0,69 \text{—взята площадь сѣченія передней части канала.} \end{array} \right.$

c.... $\left\{ \begin{array}{l} \mu=0,80 \text{—суммированы площади отверстій въ полотнахъ воротъ и діафрагмъ.} \\ \mu=0,67 \text{—суммированы площади отверстій въ полотнахъ воротъ и передней части канала.} \end{array} \right.$

¹⁾ Подробные подчеты по этимъ формуламъ см. *Н. Д. Тяжкинъ*. Опре- дѣленіе времени наполненія и опорожненія камеры шлюза на р. С. Донцѣ.

96 Шлюзы на р. Шекснѣ¹⁾ (Маринская водная система).

Общія данныя. $L=331_{,8}$ м., $B=12_{,8}$ м., $H=2_{,13}$ м.; $\Omega_0=4566$ м.²; $h=2_{,37}$ м.; $\Sigma \omega_0=2 \times 4 \times (3 \times 0_{,186})$ м.²; въ головахъ шлюза парные круговые каналы *однообразнаго* (Фиг. 65) по длинѣ сѣченія: $\Sigma \omega_1=2 \times 2_{,64}$ м.²

Результаты подсчетовъ. (Наполненіе и опорожненіе одинаковы).

1. Формула (12)—дѣйствуютъ только круговые каналы.

$$\text{При } C=50 \dots T=190 \text{ сек.}$$

2. Формула (15) дѣйствуютъ только круговые каналы.

$$\text{При } C=50 \dots T=658_{,6} \text{ сек.; при } C=51_{,1} \dots T=656_{,3} \text{ сек.}$$

3. Формула (27).

$$a \dots T=1230 \text{ сек.} = 20_{,35} \text{ мин.}$$

$$b \dots T=947_{,8} \text{ } > = 15_{,8} \text{ } >$$

$$c \dots T=535_{,3} \text{ } > = 9_{,0} \text{ } >$$

4. Формула (2 или 2⁰)—для тѣхъ же случаевъ соотвѣтственно:

$$a) \mu=0_{,62}; \quad b) \mu=0_{,68}; \quad c) \mu=0_{,653}.$$

96. Шлюзъ на р. Москвѣ у Псрервы²⁾.

Общія данныя. $L=175$ м.; $B=15_{,6}$ м.; $H=1_{,47}$ м.; $\Omega_0=3640$ м.²; $h=3_{,00}$ м.; $\Sigma \omega_0=2 \times 3 \times (3 \times 0_{,112})$ м.²; въ головахъ шлюза парные совершенно прямолинейные (Фиг. 66) каналы *однообразнаго* поперечнаго сѣченія: $\Sigma \omega_1=2 \times 1_{,40}$ м.², $R=0_{,355}$ м., $l=9_{,17}$ м.

Результаты подсчетовъ.

1. Формула (12)—дѣйствуютъ только круговые каналы.

$$\text{При } C=50 \dots T=323_{,8} \text{ сек.; при } C=50_{,84} \dots T=318_{,3} \text{ сек.}$$

2. Формула (15)—дѣйствуютъ только круговые каналы.

$$\text{При } C=50 \dots T=1115_{,4} \text{ сек.}$$

3. Формула (27)

$$a \dots T=2271_{,4} \text{ сек.} = 37_{,9} \text{ мин.}$$

$$b \dots T=1343_{,7} \text{ } > = 22_{,4} \text{ } >$$

$$c \dots T=844_{,3} \text{ } > = 14_{,1} \text{ } >$$

¹⁾ См. Альбомъ исполнительныхъ чертежей по переустройству Маринской системы.

²⁾ См. Альбомъ фотографій сооружений на р. Москвѣ; *Janicki*. Die verschiedenen Methoden zur Verbesserung der Schiffbarkeit. Hamburg-Hannover 1882, s. 14—18.

4. Формула (2 или 2⁰)—соотвѣтственно имѣемъ:

$$a) \mu=0,62; \quad b) \mu=0,785; \quad c) \mu=0,699.$$

97. Шлюзъ на р. Шпрее у Шарлоттенбурга ¹⁾.

Общія данныя. $L=80,5$ м.; $B=9,6$ м.; $H=1,97$ м.; $\Omega_0=852,45$ м.²; $h=1,23$ м.; $\Sigma \omega_0=2 \times 0,725$ м.²; парные круговые каналы различные въ обѣихъ головѣхъ шлюза и кромѣ того имѣющіе по своей длинѣ *очень перемѣнное сѣченіе*: а) въ верхней головѣ (Фиг. 67) въ главныхъ частяхъ канала $\omega_1=2,46$ м.²; $1,39$ м.²; $3,10$ м.²; б) въ нижней головѣ (Фиг. 68) въ главныхъ частяхъ канала $\omega_1=3,33$ м.²; $1,39$ м.²; $3,10$ м.²

Результаты подсчетовъ.

А. Наполненіе камеры.

1. Формула (15)—дѣйствуютъ только каналы.

$$\text{При } C=50 \text{ и } 51 \dots T=71,2 \text{ сек.}$$

2. Формула (27)

а. Прямое положеніе канала.

$$a) T=475 \text{ сек.}=7,9 \text{ мин.}; \quad b) T=148,1 \text{ сек.}=2,5 \text{ мин.};$$

$$c) T=112,6 \text{ сек.}=1,9 \text{ мин.}$$

б. Перевернутое положеніе канала.

$$a) T=475 \text{ сек.}=7,9 \text{ мин.}; \quad b) T=211 \text{ сек.}=3,5 \text{ мин.};$$

$$c) T=146,2 \text{ сек.}=2,5 \text{ мин.}$$

3. Формула (2 или 2⁰); рассматривая сѣченіе діафрагмы, соотвѣтственно имѣемъ:

а. Прямое положеніе канала.

$$a) \mu=0,62; \quad b) \mu=1,04; \quad c) \mu=0,896.$$

б. Перевернутое положеніе канала.

$$a) \mu=0,62; \quad b) \mu=0,727; \quad c) \mu=0,69.$$

γ) При работѣ только круговыхъ каналовъ, рассматривая *истеченіе черезъ діафрагму какъ черезъ отверстіе*:

$$T=247 \text{ сек.}=4,12 \text{ мин. при } \mu=0,62.$$

¹⁾ *Mohr*. Die Stauanlage in der Spree bei Charlottenburg. Berlin 1886 и также Z. f. B. 1886.

В. Опорожнение камеры.

1. Формула (15)—дѣйствуютъ только круговые каналы.

При $C=50$ и $51,1 \dots T=88$ сек.

2. Формула (27).

а. *Прямое положеніе канала.*

а) $T=475$ сек.= $7,9$ мин.; б) $T=156,35$ сек.= $2,6$ мин.;

с) $T=117,7$ сек.= $1,97$ мин.

б. *Перевернутое положеніе канала.*

а) $T=475$ сек.= $7,9$ мин.; б) $T=141,1$ сек.= $2,4$ мин.;

с) $T=108,7$ сек.= $1,82$ мин.

3. Формула (2 или 2⁰)—для сѣченія діафрагмы.

а. *Прямое положеніе канала.*

а) $\mu=0,62$; б) $\mu=0,98$; с) $\mu=0,856$.

б. *Перевернутое положеніе канала.*

а) $\mu=0,62$; б) $\mu=1,089$; с) $\mu=0,927$.

98. Шлюзъ на каналѣ Одеръ-Шпрее у Tränke ¹⁾.

Общія данныя. $L=55$ м.; $B=9,6$ м.; $H=2,35$ м.; $\Omega_0=639,0$ м.²;
 $h=1,61$ м.; парные круговые каналы въ обѣихъ головахъ шлюза
 съ переменнымъ сѣченіемъ (Фиг. 69) площадью въ головныхъ ча-
 стяхъ канала: $\omega_1=2,19$ м.²; $1,00$ м.²; $3,32$ м.².

Результаты подсчетовъ. (Наполненіе и опороженіе
 одинаковы).

1. Формула (15).

При $C=50$ и $51 \dots T=88$ сек.

2. Формула (27).

а. *Прямое положеніе канала.*

$T=196$ сек.= $3,27$ мин.

б. *Перевернутое положеніе канала.*

$T=210$ сек.= $3,5$ мин.

¹⁾ Mohr. Der Oder-Spree Kanal und seine Bauten. Berlin 1890; Z. f. B.
 1890, s. 369—392, 431 и далѣе, Taf. 57—65.

3. Формула (2 или 2⁰)—для съѣченія діафрагмы.

а. *Прямое положеніе канала.*

$$T=196 \text{ сек.} \dots \mu=0_{,936}$$

б. *Перевернутое положеніе канала.*

$$T=210 \text{ сек.} \dots \mu=0_{,878}$$

γ) *Диафрагма какъ щитовое отверстіе.*

$$T=296 \text{ сек.} = 4_{,94} \text{ мин.} \dots \text{при } \mu=0_{,62}$$

§ 2. Сравненіе формулъ для круговыхъ каналовъ и выводы изъ результатовъ подсчета по нимъ.

99. Выборъ наилучшей формулы.

а) Упрощенныя формулы (12) и (15) круговыхъ каналовъ довольно рѣзко отличаются другъ отъ друга по своему построению, а слѣдовательно и по своимъ результатамъ при подсчетахъ. Такъ, приведа обѣ формулы къ удобному для сравненія виду, имѣемъ:

$$T = \frac{\Omega_0}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{2l}{C^2 \cdot R}} \cdot h \dots \dots \dots (12)$$

$$T = \frac{\Omega_0}{\omega} \cdot \sqrt{\left(\frac{4}{2g} + \frac{4l}{C^2 \cdot R}\right) \cdot h} \dots \dots \dots (15)$$

Изъ сопоставленія этихъ формулъ видимъ, что формула (15), какъ имѣющая подъ корнемъ лишнее выраженіе:

$$\frac{4}{2g} + \frac{2l}{C^2 \cdot R},$$

при одинаковыхъ условіяхъ примѣненія, всегда дастъ величину T значительно бѣльшую, нежели то получается по формулѣ (12); это подтверждается и вышеприведенными подсчетами, сведенными для наглядности въ слѣдующую таблицу (стр. 92).

Формула (12) при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ совершенно прямого и короткаго канала даетъ величину T , составляющую всего 24% отъ найденнаго при тѣхъ же данныхъ значенія по наибѣе точной формулѣ (27); поэтому формула (12) не даетъ даже приближенныхъ результатовъ и ни въ какомъ случаѣ для примѣненія рекомендована быть не можетъ.

Мѣсто устройства шлюза.	Время T , вычисленное по формуламъ:				
	(27)	(12)		(15)	
	сек.	сек.	‰ отъ (27)	сек.	‰ отъ (27)
р. Сѣв. Донецъ.....	290,2	70,8	24,1	223,6	76,8
р. Шексна.....	947,3	190,0	20,1	658,6	69,1
р. Москва.....	1343,7	323,8	24,1	1115,4	83,0
р. Шпрее.....	148,1	—	—	71,2	48,1
	156,3	—	—	88,0	56,2
каналъ Od.-Sprее.....	196,0	—	—	88,0	44,9

Формула (15) можетъ дать приближенное значеніе T лишь при короткихъ прямыхъ (до 83%) или плавно (полого) изогнутыхъ въ планѣ (до 77%) каналахъ при постоянномъ сѣченіи канала въ каждой части отдѣляемой затворами; при каналахъ переменнаго по длинѣ сѣченія и крутыхъ изгибахъ въ планѣ или въ вертикальной плоскости эта формула даетъ результаты очень далекіе отъ дѣйствительности (45%—48%) и даже для получения приближенныхъ значеній времени T не можетъ быть примѣняема.

β) Ф о р м у л ы (20), (27), (32) даютъ результаты, вполне согласующіеся съ дѣйствительностью¹⁾, а потому являются *наиболѣе точными* и по своему виду не сложными даже въ самомъ общемъ случаѣ; слѣдовательно примѣненіе ихъ къ расчетамъ шлюзныхъ водопроводовъ является единственно правильнымъ и наиболѣе желательнымъ тѣмъ болѣе, что эти формулы обнимаютъ сразу всѣ водопроводы—какъ отверстія въ полотнахъ воротъ, такъ и каналы.

Примѣненіе формулъ (2 и 2⁰) къ расчету круговыхъ каналовъ. Величина коэффициента μ . Формулы (2) и (2⁰) часто рекомендуются и употребляются для опредѣленія T при истеченіи чрезъ круговые каналы вслѣдствіе простоты и удобства для вычисленій. Въ этомъ случаѣ предполагаютъ истеченіе происходящимъ какъ бы чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ; площадь этого отверстія принимаютъ

¹⁾ Согласно цифровыхъ данныхъ, приведенныхъ въ литературѣ.

равной чистой площади ω_1 въ мѣстѣ расположенія щита (диафрагма) или площади ω_2 —сѣченія въ передней (съ меньшимъ поперечнымъ сѣченіемъ) части канала. При этомъ для коэффициента расхода указываютъ значенія $\mu=0,62$ ¹⁾ и $\mu=0,33$ ²⁾.

Приведенные выше результаты подсчетовъ, при которыхъ за вѣрное T принято вычисленное по формулѣ (27), даютъ право сомнѣваться въ вѣрности такихъ указаній. Для большей ясности соответственные результаты сведены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Мѣсто устройства шлюза.	Вычисленные.									
	T сек.—Форм. (27).			T сек.— Форм. (2) при $\mu=0,33$ и $0,62$	Коеф.—тъ расхода μ .					
	Только $\Sigma\omega_0$	Только каналы.	Каналы и отверстія.		для $\omega=\Sigma\omega_0$	для $\omega=\Sigma\omega_1$	для $\omega=\Sigma\omega_2$	для $\Sigma\omega_0+\Sigma\omega_1$	для $\Sigma\omega_0+\Sigma\omega_2$	
р. С.-Донецъ	718,5	290,2	206,7	$\left\{ \begin{array}{l} 810,2 \\ 465,1 \\ 295,7 \end{array} \right\}$	$\mu=0,33$	0,62	0,88	0,69	0,80	0,67
р. Шексна	1230,0	947,3	535,3			—	—	0,68	—	0,633
р. Москва	2271,4	1343,7	814,3			—	—	0,733	—	0,700
р. Шпрее	$\left\{ \begin{array}{l} 475,0 \\ " \\ " \end{array} \right\}$	148,1	112,6	247,0	$\mu=0,62$	1,04	—	0,896	—	
		211,0	146,2	"		0,73	—	0,69	—	
		156,5	117,7	"		0,98	—	0,856	—	
каналъ Od.-Spree .	$\left\{ \begin{array}{l} — \\ — \end{array} \right\}$	141,1	108,7	"	"	1,09	—	0,93	—	
		196,0	—	296,0	—	0,936	—	—	—	
		210,0	—	"	—	0,878	—	—	—	

Изъ данныхъ этой таблицы слѣдуетъ:

1. Примѣненіе къ диафрагмамъ каналовъ коэффициента $\mu=0,33$ или $\mu=0,62$ даетъ для мгновеннаго открытія отверстій время T съ запасомъ до 67%, но можетъ быть и болѣе.

2. Коэффициентъ расхода $\mu=0,62$ остается таковымъ только при истеченіи чрезъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ, въ данномъ случаѣ въ полотнахъ воротъ.

¹⁾ Lagrené, Т. III, р. 36, 84—85.

²⁾ Зброжекъ. Стр. 409, 412.

3. Если наполнение или опорожнение камеры через круговые каналы рассматривать как истечение через отверстие в тонкой стѣнкѣ, то коэффициентъ μ не имѣетъ опредѣленнаго постояннаго значенія, а измѣняется

а) для случая діафрагмы ($\omega = \Sigma\omega_1$)—въ предѣлахъ отъ 0,73 до 1,09

б) для сѣченія передней части канала ($\omega = \Sigma\omega_2$)—въ предѣлахъ отъ 0,69 до 0,76.

Эти измѣненія зависятъ конечно прежде всего отъ устройства и расположенія частей самого канала; указанные предѣлы относятся лишь до разсмотрѣнныхъ примѣровъ и не ограничиваютъ возможныхъ колебаній въ обѣ стороны. Увеличеніе коэффициента μ вполне понятно, такъ какъ при такихъ условіяхъ вода подводится къ отверстию діафрагмы и отводится отъ него каналомъ и при истеченіи получается неполное или несовершенное сжатіе струи, когда коэффициентъ расхода долженъ быть опредѣленъ по особымъ формуламъ ¹⁾ гидравлики. Чѣмъ цѣлесообразнѣе устроенъ каналъ, тѣмъ значеніе μ больше; но во всякомъ случаѣ, при имѣющихся расположеніяхъ частей канала, μ долженъ быть меньше единицы. Только въ идеальномъ случаѣ, при точномъ и правильномъ сочетаніи коноидальныхъ, коническихъ и цилиндрическихъ отрѣзковъ, возможно дойти до $\mu=1$. Случаи $\mu > 1$ указываютъ на неправильность примѣненія формулъ (2) и (2⁰) къ расчету круговыхъ каналовъ; дѣйствительный расходъ воды въ каналъ не можетъ быть больше, чѣмъ то даетъ отверстие помѣщенной въ немъ діафрагмы, когда при подсчетѣ гидравлическихъ сопротивленій и она была принята во вниманіе.

4. Соединять отверстия (ω_0) въ полотнахъ воротъ съ отверстиемъ (ω_1) щитовой діафрагмы и тѣмъ болѣе съ сѣченіемъ (ω_2) самого канала, просто суммируя ихъ, неправильно, такъ какъ коэффициентъ μ расхода не можетъ быть въ подобныхъ случаяхъ одинаковымъ, а измѣняется въ зависимости не только отъ напора, но и отъ размѣровъ самихъ отверстій. Для небольшого числа разсмотрѣнныхъ примѣровъ и то имѣемъ:

а) для случая $\omega = \Sigma\omega_0 + \Sigma\omega_1$ коэффициентъ μ измѣняется въ предѣлахъ отъ 0,69 до 0,93

б) для случая $\omega = \Sigma\omega_0 + \Sigma\omega_2$ —въ предѣлахъ отъ 0,63 до 0,70.

На основаніи всего вышеизложеннаго примѣненіе формулы (2) къ случаю наполненія или (2⁰) къ случаю опороженія камеры черезъ круговые каналы *неправильно и нежелательно*; коэффициентъ

¹⁾ См. *Максименко*, 1889 г. Стр. 97—105.

и въ подобныхъ условіяхъ не можетъ имѣть какого-либо опредѣленнаго постояннаго значенія, а зависитъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, отъ устройства и расположенія частей самого канала.

101. Прямое и обратное положенія канала. Обыкновенно, во всѣхъ случаяхъ практики круговые каналы устраиваются такимъ образомъ, что подводящая (пріемная) часть (до діафрагмы) имѣетъ площадь поперечнаго сѣченія меньше, чѣмъ часть отводящая, за діафрагмой; при этомъ сѣченіе канала можетъ быть какъ постоянное, такъ и переменное на каждой части канала.

Чтобы провѣрить правильность такого расположенія частей каналовъ были сдѣланы по формулѣ (27) подсчеты опредѣленія времени T для прямого и перевернутаго (обратнаго) положеній каналовъ при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ. Результаты подсчетовъ для разобранныхъ примѣровъ приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Мѣсто устройства шлюза.	Характеръ работы водопроводовъ.	Время T секундъ.					
		Только каналы.			Каналы и отверстія.		
		Прямое положеніе	Обратное положеніе	Увелич. + Уменьш.— 0/0	Прямое положеніе	Обратное положеніе	Увелич. + Уменьш.— 0/0
р. С.-Донецъ	наполненіе и опорожненіе	290,2	304,1	+ 4,1 ⁰ / ₀	206,7	213,7	+ 3,1 ⁰ / ₀
р. Шпрее	наполненіе	148,1	211,0	+ 42,3 ⁰ / ₀	112,6	146,2	+ 29,9 ⁰ / ₀
	опорожненіе	156,3	141,1	— 10,9 ⁰ / ₀	117,7	108,7	+ 7,7 ⁰ / ₀
каналъ Od.-Spree	наполненіе и опорожненіе	196,0	210,0	+ 7,1 ⁰ / ₀	—	—	—

Для прямого положенія каналовъ въ этихъ устройствахъ имѣется:

1. р. С.-Донецъ.—пріемная часть канала *меньшаго* сѣченія, нежели отводящая; объ части канала *постояннаго* сѣченія.
2. р. Шпрее.—а) верхняя голова (наполненіе): пріемная часть канала *меньшаго* сѣченія, нежели отводящая; сѣченіе канала *переменное* въ обѣихъ частяхъ—въ первой въ видѣ одной конически расходящейся насадки, во второй въ видѣ ряда конически расходящихся насадокъ; общая длина канала=12,14 метр.

β) Нижняя голова (опорожнение): приемная часть канала *большаго* сѣченія, нежели отводящая; сѣченіе канала *пере- мѣнное* въ обѣихъ частяхъ—въ первой въ видѣ конически сходящейся насадки, во второй—ряда конически расхо- дящихся насадокъ; общая длина канала=9,20 метр.

3. Каналь Oder-Spree.—Приемная часть канала *меньшаго* сѣченія, нежели отводящая; первая—постояннаго, вторая — пере- мѣннаго, постепенно къ концу расширяющагося сѣченія.

Изъ данныхъ этой таблицы можно вывести слѣдующія заклю- ченія:

a) Обратное расположеніе канала влечетъ за собою увеличеніе времени T , что и слѣдовало ожидать, такъ какъ въ этомъ случаѣ стѣнки канала, подводящаго воду къ щитовой діафрагмѣ, далѣе отодвинуты отъ граней отверстія діафрагмы, а слѣдовательно ко- эффициентъ μ расхода ¹⁾ получается меньше, чѣмъ въ случаѣ пря- мого положенія канала.

b) Случай опорожненія камеры шлюза на р. Шпрее представ- ляетъ расположеніе канала обратное вышеразсмотрѣннымъ, поче- му при пере-мѣнѣ направленія движенія воды получается умень- шеніе T на 7,7—10,9%. Это показываетъ, что, если не было по- ставлено условіемъ уменьшеніе времени опорожненія камеры, то каналь расположенъ неправильно.

c) Слѣдуетъ при этомъ отмѣтить, что каналы въ шлюзѣ на р. Шпрее у Шарлоттенбургѣ имѣютъ форму очень обдуманную съ цѣлью возможно большаго уменьшенія сопротивленій при движе- нии по нимъ воды.

d) Для избѣжанія бесполезнаго (если это не поставлено усло- віемъ) увеличенія времени T слѣдуетъ всегда часть канала между приемнымъ отверстиемъ и щитовой діафрагмой дѣлать меньшаго сѣченія, нежели на остальной части канала; увеличеніе сѣченія на этой послѣдней части канала имѣетъ, какъ извѣстно, цѣлью уменьшить скорость выходящей изъ канала воды ²⁾.

¹⁾ См. Ф. Е. Максименко. Гидравлика. 1889. Стр. 97—105. „О несо- вершенномъ сжатіи“.

²⁾ Нѣкоторыя изъ заключеній уже были мною высказаны въ работѣ: „Опредѣленіе времени наполненія и опорожненія камеры шлюзовъ на р. Сѣв. Донцѣ“.

§ 3. Примѣры устройствъ продольныхъ каналовъ въ шлюзѣ.

102. Шлюзъ на каналѣ Dortmund-Ems при Altenrheine ¹⁾.

Общія данныя. $L=67,0$ м.; $B=8,6$ м.; $H=3,0$ м.; $\Omega_0=629,91$ м. ²;
 $h=3,6$ м.; два симметрично расположенные продольные канала,
каждый съ 9-ю поперечными отѣвленіями по камерѣ (Фиг. 70);
сѣченіе продольнаго канала $\omega'=1,74$ м. ², $1,98$ м. ²; сѣченія отѣт-
вленій $\omega_1=0,28$ м. ²; $\frac{\sum \omega_1}{\omega}=1,273$.

Результаты подсчетовъ.

a) Формула (54) и (10*).

$$T_1=250,2 \text{ сек.} = 4,17 \text{ м.}; \mu_1=0,344.$$

$$T_2=245,4 \text{ сек.} = 4,09 \text{ м.}, \mu_2=0,353.$$

Коеф-ты μ_1 и μ_2 опредѣлены въ предположеніи истеченія черезъ
отверстіе щитовой діафрагмы, какъ черезъ отверстие въ тонкой
стѣнкѣ, при найденныхъ T_1 и T_2 .

b) Формулы (20), (59^o) и (10*).

$$T_1=2,4 \text{ мин.}, \text{ т. е. въ } 1,77 \text{ раза или на } 42,3\% \text{ меньше;}$$

$$T_2=1,8 \text{ мин.}, \text{ т. е. въ } 2,3 \text{ раза или на } 56\% \text{ меньше опредѣ-}$$

ленного по формулѣ (54).

Коеф-тъ μ_1 измѣняется отъ $0,114$ до $0,113$; коеф-тъ μ_2 отъ $0,146$ до
 $0,148$, рассматривая одно и то же отверстие діафрагмы для всѣхъ
отдѣльныхъ круговыхъ каналовъ.

c) Формула (58') и (10*). Имѣемъ:

$$\text{Наполненіе} \left\{ \begin{array}{l} D = \frac{\sum D_i}{8} = \frac{0,13656}{8} = 0,01707. \\ C = \frac{\sum C_i}{9} = \frac{3,01736}{9} = 0,33528. \end{array} \right.$$

$$\text{Опорожненіе} \left\{ \begin{array}{l} D = \frac{0,19073}{8} = 0,02384. \\ C = \frac{4,08343}{9} = 0,45371. \end{array} \right.$$

¹⁾ Der Bau des Dortmund-Ems Kanals. Berlin. 1902; Z. f. B. 1901—1902.

Затѣмъ изъ ур—ія:

$$\left(C + \frac{1}{x}\right)^2 \cdot (x^2 - D) = 1 \dots \dots \dots (a)$$

видимъ, что $x^2 > D$, такъ какъ $\left(C + \frac{1}{x}\right)^2 > 0$; слѣдовательно:

$$x^2 > 0,91707 \text{ и } x > 0,95811; \quad x^2 > 0,02384 \text{ и } x > 0,1544.$$

Полученныя относительно x уравненія можно рѣшить по формулѣ *Ньютона*:

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)}; \quad x_3 = x_2 - \frac{f(x_2)}{f'(x_2)} \text{ и т. д.,}$$

гдѣ $f(x)$ — производная данной функции, а x_1, x_2, x_3 — приближенные значенія x ; вслѣдствіе же того, что лѣвая часть ур—ія представлена въ видѣ двухъ множителей, рѣшеніе x_1 удобнѣе находить непосредственной подстановкой значеній $x > 0,131$ и $x > 0,1544$.

Въ данномъ случаѣ (наполненія) имѣемъ:

$$x_1 = 0,3093.$$

Истинное значеніе этой величины, опредѣлившееся при подсчетахъ по формулѣ (54):

$$x = 0,464.$$

Такимъ образомъ, приближительное значеніе x_1 въ 1,3 раза, или на 33,3% менѣе истиннаго.

Для случая опорожненія получимъ такъ-же:

$$x'_1 = 0,3193.$$

Истинное значеніе, найденное при подсчетахъ по формулѣ (54):

$$x' = 0,435.$$

Слѣдовательно, приближенное значеніе x'_1 въ 1,4 раза, или на 30% менѣе истиннаго.

d) Формула (58") и (10*).

$$\text{Наполненіе} \begin{cases} C = 0,33328 \\ D_1 = 0,07758 \\ D = \frac{\sum D_i}{7} = \frac{0,05898}{7} = 0,00842. \end{cases}$$

$$\text{Опорожнение} \begin{cases} C=0,45371 \\ D_1=0,12970 \\ D=\frac{0,06103}{7}=0,00872. \end{cases}$$

Теперь для уравнения:

$$(y-C)^2 \cdot \left(D + \frac{1}{y^2} \right) = 1$$

подбираемъ значение y : послѣ ряда попытокъ имѣемъ:

$$\text{Наполнение} \dots\dots \dots \left\{ y=4,361; \frac{1}{y^2}=0,05259. \right.$$

$$\text{Опорожнение} \dots\dots \dots \left\{ y'=4,938; \frac{1}{(y')^2}=0,04101. \right.$$

Поэтому:

I. Для случая наполнения:

$$x_1 = \sqrt{D_1 + \frac{1}{y^2}} = \sqrt{0,07758 + 0,05259} = 0,361.$$

Истинное значение $x=0,464$; слѣдовательно приближенное значение въ 1,29 раза, или на 22,2% менѣ истиннаго.

II. Для случая опорожнения:

$$x'_1 = \sqrt{D_1 + \frac{1}{y^2}} = \sqrt{0,12970 + 0,04101} = 0,413.$$

Истинное значение $x'=0,435$; слѣдовательно приближенное значение въ 1,10 раза, или на 9,3% менѣ истиннаго.

103. Шлюзъ на каналѣ Dortmund-Ems при Teglingen¹⁾

Общія данныя. $L=165,0$ м.; $B=10,0$ м.; $H=2,50$ м.; $\Omega_0=1839,5$ м.²; $h=3,30$ м.; два симметрично расположенные продольные канала, сѣченіемъ 2,6 м.², съ 12-ю отвлѣвленіями въ камеру (Фиг. 71) изъ чугунныхъ трубъ, діаметромъ 0,60 м.², расположенныхъ другъ отъ друга на разстояніяхъ, постепенно (отъ 10 м. до 18 м.) увеличивающихся къ нижней головѣ; $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega} = 2,73.$

¹⁾ Der Bau des Dortmund-Ems Canals Berlin 1902. s. 46—47, Bl. 13; Z. f. B. 1901—1902.

Результаты подсчетовъ по формулѣ (54).

$$T_1 = 508 \text{ сек.} = 8,33 \text{ м.}; \mu_1 = 0,371.$$

$$T_2 = 484 \text{ сек.} = 8,1 \text{ м.}; \mu_2 = 0,600.$$

Коеф—ты μ_1 и μ_2 опредѣлены въ предположеніи истечения чрезъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ площадью, соответствующей сѣченію канала при найденныхъ T_1 и T_2 .

104. Предохранительный шлюзъ на каналѣ de Jonage ¹⁾.

Общія данныя. $L=105,0$ м.; $B=16,0$ м.; $H=3,30$ м.; $\Omega_0=$
 $=1908$ м. ²; $h=4,33$ м.; для наполненія камеры изъ верхняго бьефа
 служатъ два симметрично расположенные продольные канала, сѣ-
 ченіемъ $7,60$ м. ² каждый, съ двумя приѣмными развѣтвленіями сѣ-
 ченіемъ по $4,02$ м. ² и 5-ю выходными въ камеру отвѣтвленіями
 (Фиг. 72), сѣченіемъ по $4,18$ м. ²; для опорожненія камеры въ ниж-
 ній бьефъ служатъ также два короткіе продольные канала съ дву-
 ма приѣмными развѣтвленіями и однимъ устьевымъ отверстіемъ
 (Фиг. 73) тѣхъ же поперечныхъ сѣченій, что и въ верхней головѣ;
 $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega} = 2,73$ и $2,48$.

Результаты подсчетовъ по формулѣ (73).

$$T_1 = 361 \text{ сек.} = 6,0 \text{ мин.}; \mu_1 = 0,670.$$

$$T_2 = 420 \text{ сек.} = 7,0 \text{ мин.}; \mu_2 = 0,373.$$

Коеф—ты μ_1 и μ_2 опредѣлены въ предположеніи истечения черезъ
 отверстіе въ тонкой стѣнкѣ, площадь соответствующей сѣченію
 канала при найденныхъ T_1 и T_2 .

105. Двойной шлюзъ на каналѣ de Jonage ¹⁾.

Общія данныя. Двѣ камеры со стѣнкой паденія высотой
 $5,8$ м. въ средней головѣ. Для средняго шлюза— $L=105,0$ м.; $B=$
 $=16,0$ м.; $H=2,80$ м.; $\Omega_0=1913,35$ м. ²; $h=7,0$ м.; наполненіе камеры
 совершается черезъ два симметрично расположенные продольные
 канала сѣченіемъ $7,95$ м. ² каждый, съ двумя приѣмными развѣт-
 леніями, сѣченіемъ по $4,02$ м. ² и 8-ю выходными отвѣтвленіями,
 сѣченіемъ по $4,28$ м. ²; для опорожненія первой и наполненія вто-
 рой камеры (сравниванія) служатъ продольные каналы съ двумя

¹⁾ *Chauvin*. Construction du Canal de Jonage. Paris. 1902. p. 53—54.
 Pl. XIX, XX.

приемными и 5-ю выходными ответвлениями тех же сечений при $h=8,50$ м.; для опорожнения нижней камеры служат короткіе продольные каналы съ двумя приемными разветвленіями и одним устьевымъ отверстіемъ техъ же поперечныхъ сечений при $h=1,5$ м.; при этомъ L , B и Ω_0 —одинаковы, а $H=2,10$ м.; $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega} = 4,30$ и $2,75$.

Характеръ распределенія ответвленій таковъ же, какъ показано на фиг. 72 и 73.

Результаты подсчетовъ по формулѣ (73).

$$\begin{aligned} T_1 &= 412 \text{ сек.} = 6,9 \text{ мин.}; \mu_1 = 0,699; \\ T_1' &= T_2 = 241 \text{ сек.} = 4,0 \text{ } < \mu_2 = 0,663; \\ T_1'' &= 241 \text{ сек.} = 4,0 \text{ } < \mu_1' = 0,663; \\ T_2' &= 230 \text{ сек.} = 3,8 \text{ } < \mu_2' = 0,581. \end{aligned}$$

При вычисленіи μ_1 и μ_2 , μ_1' и μ_2' принимается площадь отверстія въ тонкой стѣнкѣ равною сеченію продольнаго канала.

106. Шлюзъ на каналѣ Kaiser-Wilhelm въ Brunsbüttel'ѣ ¹⁾.

Общія данныя $L=150,0$ м., $B=25,0$ м., H —измѣняется отъ $8,70$ до $11,49$, $\Omega_0=4163,5$ м. ², h измѣняется отъ $0,50$ до $3,03$ м.; два симметрично расположенные продольные канала (Фиг. 74), сеченіемъ $7,76$ м. ² каждый, съ 12-ю ответвленіями по длинѣ камеры, сеченіемъ по $1,12$ м. ², одно приемное отверстие для наполненія и одно устьевое—для опорожнения; $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega} = 1,73$.

Результаты подсчетовъ.

a) Формула (54).

$$\begin{aligned} h &= 1,52 \text{ м.}; T_1' = 223 \text{ сек.} = 3,7 \text{ м.}; \mu_1 = 0,672. \\ h &= 3,03 \text{ м.}; T_1'' = 315 \text{ сек.} = 5,3 \text{ м.} \\ h &= 2,30 \text{ м.}; T_1''' = 274 \text{ сек.} = 4,6 \text{ м.} \end{aligned}$$

b) Формула (72).

$$\begin{aligned} T_2' &= 218 \text{ сек.} = 3,6 \text{ м.}; \mu_1 = 0,686. \\ T_2'' &= 308 \text{ сек.} = 5,1 \text{ м.} \\ T_2''' &= 268 \text{ сек.} = 4,5 \text{ м.} \end{aligned}$$

¹⁾ *Frißcher*. Der Bau des Kaiser-Wilhelm-Kanals. Berlin. 1896—1897. Abth. I, II; Z. f. B. 1896—1897; H. d. I. W. s. 134 — 135, 159 — 160, Taf. XI, XII.

с) Формула (2) — стр. 29 при $\mu=0,55$.

1. При найденных выше значениях T_1 соответственно получим сумму сѣчений двухъ продольныхъ каналовъ:

$$\omega = 9,36 \text{ кв. м.} \dots 9,37 \text{ кв. м.} \dots 9,4 \text{ кв. м.},$$

вмѣсто дѣйствительной величины $2 \times 7,76 = 15,52 \text{ м.}^2$.

2. При существующемъ же $\omega = 15,52 \text{ м.}^2$ опять соответственно получимъ:

$$T_1' = 271 \text{ сек.} = 4,32 \text{ м.}; T_1'' = 383 \text{ сек.} = 6,38 \text{ м.}; T_1''' = 335 \text{ сек.} = 5,58 \text{ м.}$$

Такимъ образомъ, полученное по формулѣ (54) время T_1 составляетъ отъ только что найденнаго 82% .

107. Шлюзъ на р. Spree въ Berlin'ѣ ¹⁾.

Общія данныя. $L=110,0 \text{ м.}$, $B=9,36 \text{ м.}$, $H=2,3 \text{ м.}$, $\Omega_0 = 1112,0 \text{ м.}^2$; $h=1,88 \text{ м.}$; для наполненія имѣются два отверстія въ полотнахъ воротъ $\omega_0 = 2 \times 0,832 \text{ м.}^2$, и продольный каналъ (Фиг. 75) сѣченіемъ $3,13 \text{ м.}^2$ съ однимъ приѣмнымъ отверстіемъ (площадью $4,2 \text{ м.}^2$) и 5-ю устьевыми отвѣтвленіями (площадью $0,9 \text{ м.}^2$ каждое); для опорожненія служатъ такія же отверстія въ полотнахъ воротъ и парные круговые каналы сѣченіемъ $3,13 \text{ м.}^2$ каждый (Фиг. 76); $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega} = 1,43$.

Результаты подсчетовъ.

А. Наполненіе камеры.

1. Формула (54):

- a) дѣйствуютъ отверстія и каналы... $T_1=121 \text{ сек.} = 2,30 \text{ м.}; \mu=0,719$.
- b) дѣйствуютъ только каналы (5 отв.). $T_1=147 \text{ сек.} = 2,45 \text{ м.}; \mu=0,718$.
- c) работаютъ только отверстія..... $T_1=669 \text{ сек.} = 11,32 \text{ м.}; \mu=0,762$.
- d) работаютъ только каналы (4 отв.). $T_1=170 \text{ сек.} = 2,38 \text{ м.}; \mu=0,765$.
- e) работаютъ только каналы (3 отв.). $T_1=209 \text{ сек.} = 3,35 \text{ м.}; \mu=0,723$.
- f) работаютъ только каналы (2 отв.). $T_1=284 \text{ сек.} = 4,7 \text{ м.}; \mu=0,383$.

1⁰. Формула (20):

- g) работаютъ только каналы (1 отв.),
(круговой каналъ) $T_1=475 \text{ сек.} = 7,9 \text{ м.}; \mu=0,232$.

¹⁾ *Germelmann und Offerman*, Verbesserung des Spreelaufs innerhalb Berlins. (Z. f. B. 1895, s. 51—55. Bl. 10, 11, 12).

2. Формулы (20) и (59⁰).

$T_1 = 95_{,6}$ сек., т. е. составляет 65% от найденного выше (147 сек.) по формуль (54). Коэф-ть μ измѣняется отъ $\mu=0_{,231}$ до $\mu=0_{,232}$.

В. Опорожненіе камеры.

1. Формула (20):

a. $T_2 = 130$ сек. = 2_{,2} мин.; $\mu = 0_{,670}$.

b. $T_2 = 161$ сек. = 2_{,7} мин.; $\mu = 0_{,683}$.

c. $T_2 = 669$ сек. = 11_{,2} мин.; $\mu = 0_{,621}$.

108. Необходимыя условія для возможности сравненія формуль (42) и (54). Предвидущія опредѣленія T_1 и ω по формуламъ (42) или [(2), (38) и (39)] сдѣланы какъ бы независимо отъ имѣющихся отвѣтвленій (какъ числа, такъ и размѣровъ ихъ), иначе говоря — предположено, что условіе:

$$\mu_1 \cdot \omega_1 \cdot [\sqrt{\alpha_1} + \sqrt{\alpha_2} + \dots + \sqrt{\alpha_n}] = \mu \cdot \omega \dots \dots \dots (38)$$

остаеся всегда выполненнымъ. На самомъ дѣлѣ, ни въ одномъ изъ всѣхъ рассмотрѣнныхъ нами примѣровъ существующихъ плюзовыхъ водопроводныхъ устройствъ это условіе не примѣнено. Поэтому, чтобы получить возможность болѣе точнаго примѣненія разсматриваемой формулы и затѣмъ дальнѣйшаго сравненія результатовъ, производились каждый разъ два предварительные подсчета:

1. взявъ площадь (ω) сѣченія продольнаго канала, опредѣлялась площадь (ω_1) отвѣтвленія,
- и 2. взявъ площадь (ω_1) отвѣтвленія, вычислялась площадь (ω) канала.

Рѣшеніе этихъ двухъ задачъ дѣлалось рядомъ попытокъ, причѣмъ для перваго подсчета отношеніе $\frac{\omega}{\omega_1}$ бралось равнымъ $n \cdot \alpha_1$, такъ какъ изъ формуль [(2), (38), (39)] и (42) явствуетъ, что означенное отношеніе не можетъ быть больше $n \cdot \alpha_1$. Рѣшеніе втораго вопроса болѣе затруднительно, такъ какъ при всякомъ измѣненіи величины ω измѣняются A и α_1 , въ зависимости отъ измѣненія R .

Послѣ отысканія требуемыхъ сѣченій вычисляемъ для обоихъ случаевъ T_1 какъ по формуль (42), такъ и (54)—чтобы имѣть

возможность сравнить результаты подсчетовъ по нимъ при одинаковыхъ условіяхъ.

109. Сравнительные подсчеты по формуламъ (42) и (54).

А. Для шлюза въ Brunsbüttel'ъ (см. *n*⁰ 106) имѣемъ:

I. При $\omega=7,76$ м.²; $n=12$, находимъ $\omega_1=0,68$ м.² (вмѣсто имѣющейся въ дѣйствительности $1,12$ м.²), это значеніе получено при отношеніи $\frac{\omega}{\omega_1}=11,34$; $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}=1,05$. Теперь найдемъ время T_1 .

а). Формула (42).

$$T_1'=271 \text{ сек.}=4,32 \text{ м.}; T_1''=383 \text{ сек.}=6,38 \text{ м.}; T_1'''=335 \text{ сек.}=5,58 \text{ м.}; \mu=0,35.$$

б). Формула (54).

$$T_1'=298 \text{ сек.}=4,97 \text{ мин.}; T_1''=421 \text{ сек.}=7,02 \text{ мин.}; T_1'''=366 \text{ сек.}=6,10 \text{ мин.}; \mu=0,304.$$

II. При $\omega_1=1,12$ м.²; $n=12$ находимъ $\omega=12,91$ м.² (вмѣсто имѣющейся въ дѣйствительности $15,32$ м.²), это значеніе получено при отношеніи $\frac{\omega}{\omega_1}=11,33$; $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}=1,04$. Теперь найдемъ время T_1 .

а) Формула (42).

$$T_1'=163 \text{ сек.}=2,72 \text{ мин.}; T_1''=230 \text{ сек.}=3,84 \text{ мин.}; T_1'''=200 \text{ сек.}=3,34 \text{ мин.}; \mu=0,35.$$

б) Формула (54).

$$T_1'=176 \text{ сек.}=2,93 \text{ м.}; T_1''=249 \text{ сек.}=4,15 \text{ мин.}; T_1'''=217 \text{ сек.}=3,62 \text{ м.}; \mu=0,310.$$

В. Для шлюза въ Berlin'ъ (см. *n*⁰ 107) имѣемъ:

I. При $\omega=3,13$ м.²; $n=5$ находимъ $\omega_1=0,63$ м.² (вмѣсто $0,9$ м.², имѣющихся въ дѣйствительности), это значеніе получено при отношеніи $\frac{\omega}{\omega_1}=4,86$; $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}=1,03$. Теперь найдемъ время T_1 .

а) Формула (42).

$$T_1=199 \text{ сек.}=3,32 \text{ мин.}; \mu=0,35.$$

б) Формула (54).

$$T_1=196 \text{ сек.}=3,27 \text{ мин.}; \mu=0,339.$$

II. При $\omega_1 = 0,9 \text{ м.}^2$; $n = 5$ находимъ $\omega = 4,39 \text{ м.}^2$ (вмѣсто имѣющей въ дѣйствительности $6,30 \text{ м.}^2$), это значеніе получено при отношеніи $\frac{\omega}{\omega_1} = 4,88$; $\frac{\sum \omega_1}{\omega} = 1,03$. Теперь найдемъ время T_1 .

а). Формула (42).

$$T_1 = 142 \text{ сек.} = 2,38 \text{ м.}; \mu = 0,385.$$

б). Формула (54).

$$T_1 = 141 \text{ сек.} = 2,35 \text{ мин.}; \mu = 0,358.$$

§ 4. Сравненіе формулъ для продольныхъ каналовъ и выводы изъ результатовъ подсчета по нимъ.

110. Выборъ наилучшей формулы.

а. Примѣненіе формулы (59⁰) къ расчету продольныхъ каналовъ совершенно непригодно и не можетъ дать даже весьма приближенныхъ результатовъ; въ рассмотрѣнныхъ выше примѣрахъ (*n*⁰ 102 и 107) найденное по этой формулѣ время T_1 составляетъ 57%, 65% и T_2 —44% отъ дѣйствительнаго.

б. Формула (58') можетъ дать уже лучшіе результаты. Для разобраннаго выше (*n*⁰ 102) примѣра величина D_1 значительно больше остальныхъ D , тѣмъ не менѣе полученное T_1 составляетъ 67% и T_2 —70% отъ дѣйствительнаго. Въ такихъ случаяхъ все-таки этой формулой пользоваться не слѣдуетъ, а ограничить ея примѣненіе для приближенныхъ вычисленій, когда всѣ C , какъ и всѣ D будутъ приблизительно одинаковы.

γ. Формула (58'') для приближенныхъ вычисленій является наиболѣе правильной въ соответственныхъ случаяхъ и для таковыхъ вычисленій можетъ быть рекомендована. Въ разобранномъ выше (*n*⁰ 102) примѣрѣ полученное по этой формулѣ время T_1 составляетъ 78% и T_2 —91% отъ дѣйствительнаго.

δ. Для болѣе точныхъ подсчетовъ могутъ служить разбираемые далѣе два рода формулъ:

1. Формула (42), или [(2), (38), (39)]—инженера *Θ. Г. Зброжека*.
и 2. Формулы (54) и (72), или въ самомъ общемъ видѣ (73) — профессора *Ф. Е. Максименко*.

111. Сравненіе формулъ (42) и (73) между собою.

А. Формула (42) въ общемъ видѣ, или формула [(2), (38), (39)] *Θ. Г. Зброжека* имѣетъ слѣдующіе недостатки (см. *n*⁰*n*⁰ 41—45):

1) При выводѣ ея принимается во вниманіе только сопротивленіе по длинѣ продольнаго канала, считая его во всѣхъ случаяхъ прямолинейнымъ; между тѣмъ какъ измѣненія въ направленіи имѣютъ первенствующее вліяніе на увеличеніе общихъ гидравлическихъ сопротивленій.

2) Истеченіе чрезъ отвѣтвленія разсматривается, какъ истеченіе чрезъ щитовыя отверстія въ тонкой стѣнкѣ при томъ же коэффициентѣ μ .

3) Время T_2 принимается во всѣхъ случаяхъ устройства водопроводовъ равнымъ T_1 , что, какъ это видно изъ разобранныхъ выше примѣровъ, далеко не всегда справедливо.

4) Коэффициенты μ и μ_1 принимаются всегда постоянными и равными $0_{,33}$ во всѣхъ случаяхъ истечения. Между тѣмъ, какъ видимъ по разобраннымъ выше примѣрамъ (n^0 n^0 102—109), коэффициентъ μ формулы (2) или (42) не имѣетъ постояннаго опредѣленнаго значенія, а мѣняется въ довольно значительныхъ предѣлахъ; согласно приведенныхъ для разсмотрѣнныхъ случаевъ данныхъ предѣлы эти оказались: отъ $0_{,383}$ до $0_{,748}$ (см. n^0 107). Эти колебанія находятся въ зависимости отъ различныхъ обстоятельствъ устройства самого водопровода, каковы: общая длина, поперечное сѣченіе и отношеніе $\frac{\sum w_1}{w}$, число отвѣтвленій n , распределеніе разстояній между ними и т. п. Слѣдовательно, цифра $\mu=0_{,33}$, хотя и является иногда довольно удачнымъ поправочнымъ коэффициентомъ на непринятые во вниманіе мѣстныя гидравлическія сопротивленія, но ни въ какомъ случаѣ и при расчетѣ продольныхъ каналовъ (такъ же, какъ это было указано и въ n^0 42) не можетъ считаться одинаково пригодною для всевозможныхъ устройствъ водопроводовъ и различныхъ случаевъ истечения.

5. Неправильность выбора постояннаго коэф-та $\mu=0_{,33}$ даже для разсматриваемой формулы подтверждается случаемъ c (n^0 106), гдѣ непосредственно вычисленіемъ по ней получено, что:

а) Въ то-же самое время T_1 , найденное по формулѣ (54), можно наполнить шлюзъ чрезъ каналы, площадь сѣченія которыхъ въ $\frac{15_{,32}}{9_{,4}}=1,7$ раза меньше, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ.

б) При той же самой площади сѣченія продольнаго канала и при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ по формулѣ [(2), (38), (39)] получается T_1 въ $1_{,22}$ раза больше, нежели найденное по формулѣ (54); этого конечно въ дѣйствительности быть не можетъ, такъ

какъ въ первой совѣтъ не приняты во вниманіе всѣ мѣстные гидравлическія сопротивленія, введенныя въ послѣднюю.

То же самое служить подтвержденіемъ, что коэф-тъ $\mu=0,35$, есть поправочный коэф-тъ на непринятые во вниманіе гидравлическія сопротивленія, а не коэф-тъ расхода.

6. При пользованіи этой формулой для расчета шлюзныхъ водопроводовъ значеніе коэф-та A сопротивленія нельзя брать изъ данныхъ, соответствующихъ движенію воды въ открытыхъ каналахъ, какъ объ этомъ мы уже указывали въ главѣ IV, *n*^o 77.

7. Какъ увидимъ далѣе (*n*^o 114 и 115.), для уменьшенія времени T_1 и соответственнаго увеличенія коэф-та μ слѣдуетъ отношеніе $\frac{\sum \omega_1}{\omega}$ по возможности увеличивать, но до нѣкотораго предѣла, находящагося между значеніями 2,₀₀ и 3,₀₀. Увеличеніе этого отношенія до крайняго предѣла и даже за найденный предѣлъ можетъ быть вызвано какими-нибудь особыми мѣстными требованіями, наприм. возможно болѣе уменьшить скорость вытекающей воды и т. п. Вообще наибольшимъ предѣломъ съ цѣлью уменьшенія T_1 цѣлесообразнѣе считать цифру 2,₀₀; наиболѣе часто встрѣчающимися въ практикѣ и соответствующими вполне хорошимъ условіямъ истеченія значеніями являются предѣлы—отъ 1,₂₅ до 1,₅₀.

Выполненіе же условія (38) для примѣненія формулы (42) или формулы *Θ. Г. Зброжека* даетъ для отношенія $\frac{\sum \omega_1}{\omega}$ значеніе всего 1,₀₃—1,₀₅. Такое отношеніе не соответствуетъ правильному устройству продольныхъ водопроводовъ; подтверженіе этому можно найти и въ предложеніи *Θ. Г. Зброжека* послѣ расчета дѣлать ω_1 нѣсколько (?) больше (см. *n*^o 43), чтобы быть увѣреннымъ въ наполненіи камеры въ назначенное время.

8. Формулы (42) и [(2), (38), (39)] для случаевъ, подобныхъ разобраннымъ въ *n*^o 104 и 105, совершенно не примѣнимы; такъ же непригодны онѣ для опредѣленія времени T_2 при нѣсколькихъ пріемныхъ и одномъ устьевомъ отверстіяхъ (отвѣтвленіяхъ).

9. Въ заключеніе можно сдѣлать слѣдующій выводъ:

а) Формула эта, по своему виду не простая, требуетъ вычисленій многихъ элементовъ и вообще можетъ быть рекомендована лишь для приблизительныхъ, хотя и болѣе точныхъ, нежели указанныя въ пунктахъ α , β , γ (*n*^o 110) подсчетовъ при проектированіи;

б) такъ какъ условіе (38) въ существующихъ шлюзовыхъ устройствахъ водопроводовъ является всегда невыполненнымъ, она можетъ дать хорошіе результаты только при очень короткихъ отвѣтвленіяхъ и совершенно прямомъ продольномъ каналѣ.

В. Ф о р м у л ы (54), (72) и (73)—профессора *Ф. Е. Максименко* имѣютъ слѣдующія достоинства и недостатки:

1. Эти формулы выведены правильно, принимая во вниманіе всѣ гидравлическія сопротивленія какъ общія, такъ и мѣстныя (см. *н^о 46*); подсчеты по нимъ даютъ для исполненныхъ шлюзовыхъ устройствъ значенія времени T_1 и T_2 почти вполне согласующіеся съ дѣйствительными. Такія достоинства даютъ полное право считать эти формулы за основныя, наиболѣе точныя, съ которыми могутъ быть сравниваемы всѣ другія формулы, служація для тѣхъ же расчетовъ.

2. Формула (73) можетъ быть примѣняема ко всякаго рода системамъ шлюзныхъ водопроводовъ съ произвольнымъ числомъ пріемныхъ и выходныхъ отвѣтвленій (см. *н^о н^о 104* и *105*).

3. Видъ формулъ (54), (72) и (73) въ общемъ случаѣ довольно сложенъ, но составленіе ихъ очень просто и не требуетъ никакихъ соображеній; подсчетъ же значительно облегчается послѣдовательной группировкой всѣхъ данныхъ въ особыя таблицы ¹⁾. Количество вычисленій не будетъ болѣе, чѣмъ при формулахъ (42) или [(2), (38), (39)], а результатъ получается почти совпадающій съ дѣйствительностью, тогда какъ при примѣненіи формулы (42) такое совпаденіе, если и возможно, то весьма рѣдко, лишь въ особо исключительныхъ случаяхъ (см. *н^о 109*).

С. С р а в н и т е л ь н ы е ²⁾ подсчеты (см. *н^о 109*) даютъ возможность сдѣлать еще слѣдующіе выводы:

1. Формулы (42) и [(2), (38), (39)] не могутъ быть примѣнены къ дѣйствительно существующимъ шлюзнымъ водопроводамъ, такъ какъ условіе (38) нигдѣ не выполняется, не имѣя за собой никакихъ достоинствъ.

2. При выполненіи условія (38), т. е. когда отношеніе $\frac{\sum w_1}{w} =$

¹⁾ Примѣры подсчетовъ будутъ напечатаны особой книжкой.

²⁾ При сравненіяхъ мы рассматриваемъ (какъ и выше, *н^о 93*) T_1 и T_2 , не исправленныя на мгновенное открытіе отверстій, такъ какъ это для нашего рассмотрѣнія не послужитъ какимъ-либо нарушеніемъ правильности выводовъ, а между тѣмъ уменьшаетъ вычисленія.

$=1_{,03} - 1_{,03}$, могут быть два случая, которые выше и разобраны, а именно: α) остается постоянным существующее ω и отыскивается соответственное ω_1 , или β) остается постоянным существующее ω_1 и вычисляется по условию (38) новое ω .

Для наглядности результаты подсчетов сведены в нижеследующую таблицу.

№ по порядку.	Мѣсто устройства шлюза.	Существующее.		$\frac{\omega_1}{\omega}$ Отношение	Найденное.		Вычисленные.					
		ω м.²	ω_1 м.²		ω_1 м.²	ω м.²	T_1 секунд.		Разность в $\frac{0}{0}$ (54). отъ (54).	Коеф-тъ μ .		Разность в $\frac{0}{0}$ отъ (42).
							Форм. (42).	Форм. (54).		Форм. (42).	Форм. (54).	
1	Brunsbüttel (№ 107).	7,76	—	1,03	0,68	—	271	298	9,1 ⁰ / ₀	0,350	0,304	91,7 ⁰ / ₀
		—	1,12	1,04	—	12,91	163	176	7,4 ⁰ / ₀	0,350	0,310	92,7 ⁰ / ₀
2	Berlin (№ 109).	3,13	—	1,03	0,63	—	199	196	1,33 ⁰ / ₀	0,350	0,359	101,7 ⁰ / ₀
		—	0,90	1,03	—	4,39	143	141	1,42 ⁰ / ₀	0,350	0,358	101,3 ⁰ / ₀

Изъ данныхъ этой таблицы видимъ, что:

а) во второмъ случаѣ время T_1 , найденное по обѣмъ формуламъ, почти одинаково, различаясь не болѣе, какъ на 1,33⁰/₀; тогда какъ въ первомъ случаѣ разность доходить до 9,1⁰/₀.

б) Время, полученное по формулѣ (54), во второмъ случаѣ меньше, чѣмъ найденное по формулѣ (42), что согласно уже указанному выше неправильно и показываетъ непригодность коеф-та $\mu = 0_{,35}$ при данныхъ условіяхъ устройства водопроводовъ.

в) Коеф-тъ μ во второмъ случаѣ почти сходится по обѣмъ формуламъ, различаясь лишь не болѣе, какъ на 2⁰/₀; въ первомъ же случаѣ эта разность доходить до 9⁰/₀; въ одномъ случаѣ дѣйствительное значеніе μ меньше, въ другомъ больше 0_{,35}.

3. Результаты подсчетов T_1 и μ по формуламъ (42) или [(2), (38), (39)] тѣмъ ближе подойдутъ къ таковымъ же значеніямъ T_1' и μ' , полученнымъ по формулѣ (54), чѣмъ поперечныя отвѣтвленія короче и площадь сѣченія ихъ больше при прочихъ равныхъ условіяхъ.

4. Изъ сдѣланныхъ подсчетовъ явствуетъ, что время T_2 всегда меньше T_1 , при пользованіи однимъ и тѣмъ же продольнымъ кана-

ломъ; при устройствѣ всякой другой системы водопроводовъ въ нижней головѣ шлюза выбираютъ такіе размѣры частей, чтобы также достигнуть уменьшенія T_2 сравнительно съ T_1 ; только какія либо особыя мѣстныя условія (размывъ грунта, устойчивость близъ расположенныхъ сооружений, безопасность близко стоящихъ судовъ и т. п.) могутъ (см. n^0 n^0 104 и 107) потребовать выполненія противоположныхъ условій.

§ 5. Наивыгоднѣйшее распределеніе и число отвѣтвленій; взаимная зависимость площадей сѣченій канала и отвѣтвленій.

112. Принятая для подсчетовъ формула. Остановившись окончательно на формулахъ профессора *Ф. Е. Максименко*, какъ наиболее точныхъ, воспользуемся ими для выясненія нѣкоторыхъ условій правильного устройства и расположенія продольныхъ каналовъ и ихъ частей. Примѣнимъ наши дальнѣйшіе подсчеты къ даннымъ шлюза на р. Spree въ Berlin'ѣ, приведеннымъ выше (n^0 107).

113. Измѣненіе разстояній между отвѣтвленіями. Оставляя площадь поперечнаго сѣченія продольнаго канала и отвѣтвленій (по длинѣ канала $\omega = 3,15$ м.²; входное отверстіе $\omega' = 4,2$ м.²; отвѣтвленія $\omega_1 = 0,90$ м.²), а также число послѣднихъ ($n = 5$) безъ измѣненія, будемъ мѣнять относительное положеніе отвѣтвленій и длину всего канала въ предѣлахъ имѣющейся полезной длины камеры шлюза. Для удобства разсмотрѣнія результатовъ подсчета приняты данныя и полученныя въ каждомъ случаѣ значенія T_1 и μ сведены въ нижеслѣдующую таблицу. При этомъ буквы, поставленныя въ заголовкахъ графъ этой таблицы, обозначаютъ (Фиг. 77): l —полную длину между осями перваго и послѣдняго отвѣтвленій; $a, b, c \dots g$ —отдѣльные соотвѣтственно измѣняющіяся длины частей продольнаго канала или разстоянія между отвѣтвленіями. Какъ видно по обозначеніямъ на фигурѣ, $l = c + d + e + f$; эти послѣднія части мы и подвергаемъ измѣненіямъ. Въ этомъ случаѣ отношеніе

$$\frac{\sum \omega_1}{\omega} = 1,43 = \frac{5 \cdot 0,90}{3,15}.$$

Изъ разсмотрѣнія этой таблицы явствуетъ, что для полученія наименьшей величины T_1 слѣдуетъ:

1) Сдѣлать первое отвѣтвленіе возможно ближе къ пріемному (начальному) отверстію, чтобы возможно болѣе уменьшить D_1 , имѣющее самое большее вліяніе на величину T_1 ; построеніе самой формулы вполне подтверждаетъ это.

№ по порядку.	l метр.	принятое отношение. c:d:e:f.	a	b	c	d	e	f	g	Вычислено.		
			метровъ.							Время T ₁		Коеф-тъ K.
										сек.	мин.	
1	36,90	1:1:1:1*)	9,30	4,30	9,225	9,225	9,225	9,225	64,92	147	2,43	0,748
2	97,00	1:1:1:1	"	4,30	24,25	24,25	24,25	24,25	4,82	153	2,53	0,721
3	95,00	4:3:2:1	"	5,32	38,00	28,50	19,00	9,50	6,00	155	2,58	0,708
4	95,00	1:2:3:4	"	5,32	9,50	19,00	28,50	38,00	6,00	149	2,38	0,738
5	72,00	1:1 $\frac{1}{3}$:1 $\frac{2}{3}$:2	"	10,32	12,00	16,00	20,00	24,00	24,00	151	2,52	0,727
6	72,00	1:1 $\frac{1}{3}$:1 $\frac{2}{3}$:2	"	24,00	12,00	16,00	20,00	24,00	10,32	157	2,62	0,702
7	72,00	2:1 $\frac{2}{3}$:1 $\frac{1}{3}$:1	"	10,32	24,00	20,00	16,00	12,00	24,00	160	2,67	0,690
8	96,00	2:1:1:2	"	5,32	32,00	16,00	16,00	32,00	5,00	154	2,57	0,717
9	96,00	1:2:2:1	"	"	16,00	32,00	32,00	16,00	5,00	152	2,53	0,724
10	72,00	1:1 $\frac{1}{3}$:1 $\frac{2}{3}$:2	"	"	12,00	16,00	20,00	24,00	29,00	149	2,48	0,738
11	66,50	1:1 $\frac{1}{3}$:2:2 $\frac{1}{3}$	"	"	9,50	14,25	19,00	23,75	34,50	148	2,47	0,741
12	66,50	1:1:1:1	"	"	16,625	16,625	16,625	16,625	34,50	150	2,50	0,734
13	95,00	ок. 2:1:1:2	"	"	32,00	15,50	15,50	32,00	6,00	154	2,57	0,717
14	95,00	ок. 1:2:2:1	"	"	15,50	32,00	32,00	15,50	6,00	152	2,53	0,724
15	66,50	1:6:11:16	"	"	2,00	11,75	21,50	31,25	34,50	147	2,45	0,748
16	66,50	1:3:5:7	"	"	4,20	12,45	20,80	29,05	34,50	147	2,45	0,748
17	66,50	1:2:3:4	"	"	6,65	13,30	19,95	26,60	34,50	148	2,47	0,745

*) Это соотношение имѣется въ существующемъ плюзѣ.

2) Сдѣлать разстояніе между 1-мъ и 2-мъ отвѣтвленіями также возможно меньшее, какое можно исполнить.

3) Задаться величиной l въ зависимости отъ вліянія этой длины на стояція въ плюзѣ суда. Вообще же, съ уменьшеніемъ l уменьшаются гидравлическія сопротивленія, а слѣдовательно и T₁, что данныя разсматриваемой таблицы и подтверждаютъ. Сама же формула даетъ возможность заключить, что для уменьшенія T₁ лучше имѣть величины $C = \frac{\omega}{\sqrt{z}}$ бѣдшія, но $D = \frac{z}{\omega^2}$ меньшія, т. е.

это заключеніе вполне согласуется и съ выводами изъ данныхъ таблицы.

4) Расположить остальные отвѣтвленія на разстояніяхъ возможно быстрѣе увеличивающихся. При устройствѣ шлюзовъ на каналѣ Dortmund-Ems были произведены тщательныя изслѣдованія и наблюденія надъ специально изготовленными моделями ¹⁾, которыя вполне подтверждаютъ наши заключенія пунктовъ 1, 2 и 4. Шлюзы этого канала представляютъ первый примѣръ такого цѣлесообразнаго распредѣленія отвѣтвленій; впускъ и выпускъ воды въ камеру и изъ нея кромѣ того происходитъ весьма равномерно по всей длинѣ.

Изъ этой же таблицы видимъ, что:

а) Коэффициентъ μ , полученный въ предположеніи истеченія чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ (щитовую діафрагму отверстіемъ, равнымъ площади самого канала), измѣняется для рассматриваемыхъ случаевъ въ предѣлахъ отъ $0_{,690}$ до $0_{,748}$, т. е. вообще значительно превосходитъ величину $0_{,35}$.

б) Наибольшій коэффициентъ μ , а значитъ и наименьшее значеніе T_1 соотвѣтствуютъ наиболѣе короткому ($36_{,90}$ м.) каналу при равныхъ разстояніяхъ между отвѣтвленіями и болѣе длинному ($66_{,30}$ м.) съ отвѣтвленіями расположенными на разстояніяхъ, быстро увеличивающихся отъ начала.

в) Наименьшія значенія μ и наибольшія T_1 относятся къ случаямъ расположенія отвѣтвленій на разстояніяхъ постепенно уменьшающихся отъ начала—а также, когда первое отвѣтвленіе располагается не близко отъ пріемнаго отверстія (начала канала) даже и въ случаѣ расположенія отвѣтвленій на разстояніяхъ быстро увеличивающихся.

114 Измѣненіе площадей сѣченія отвѣтвленій и канала. Чтобы выяснитъ вліяніе на величины T_1 и μ измѣненій сѣченій отвѣтвленій и канала, примѣнимъ вычисленія къ расположенію 11-му предыдущей (n^0 113) таблицы. Разберемъ три случая измѣненія сѣченія канала:

1) $\omega = 3_{,15}$ м.², какъ есть въ дѣйствительности; 2) $\omega = 0_{,75} \times 3_{,15} = 2_{,36}$ м.² и 3) $\omega = 1_{,25} \times 3_{,15} = 3_{,94}$ м.²

¹⁾ Какъ объ этомъ говорится въ видѣ краткаго заключенія при описаніи шлюзовъ; результатовъ и описанія самихъ изслѣдованій въ литературѣ не имѣется.

Для всѣхъ этихъ случаевъ зададимся опредѣленными отноше-
 ніями $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$, а затѣмъ для каждаго случая и величины отношенія найдемъ
 T_1 и μ . Для удобства разсмотрѣнія результатовъ подсчета всѣ
 найденныя и принятыя значенія сведены въ нижеслѣдующую таб-
 лицу.

Принятое отношеніе	$\omega=0,73 \times 3,15=2,36 \text{ м.}^2$				$\omega=1,00 \times 3,15=3,15 \text{ м.}^2$				$\omega=1,25 \times 3,15=3,94 \text{ м.}^2$						
	Вычислено.				Вычислено.				Вычислено.						
	$\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$	ω_1	μ	$\frac{1}{\mu}$	Время T_1		ω_1	μ	$\frac{1}{\mu}$	Время T_1		ω_1	μ	$\frac{1}{\mu}$	Время T_1
	метр ²			сек.	мин.	метр ²			сек.	мин.	метр ²			сек.	мин.
0,73	—	—	—	—	—	0,48	0,149	2,23	245	4,08	—	—	—	—	—
1,00	0,47	0,364	1,77	260	4,33	0,63	0,367	1,76	194	3,23	0,79	0,370	1,73	154	2,37
1,25	0,39	0,669	1,49	219	3,65	0,79	0,673	1,48	163	2,72	0,98	0,676	1,48	130	2,17
1,43	—	—	—	—	—	0,90	0,741	1,35	148	2,47	—	—	—	—	—
1,50	0,71	0,760	1,32	193	3,22	0,94	0,762	1,31	144	2,40	1,18	0,771	1,30	114	1,90
2,00	0,94	0,902	1,11	162	2,70	1,26	0,910	1,10	121	2,02	1,38	0,920	1,09	95	1,38
3,00	1,42	1,053	0,95	139	2,32	1,89	1,081	0,92	102	1,70	2,36	1,103	0,91	80	1,33
5,00	—	—	—	—	—	3,13	1,223	0,82	90	1,50	—	—	—	—	—
10,00	—	—	—	—	—	6,30	1,338	0,75	82	1,37	—	—	—	—	—
20,00	—	—	—	—	—	12,60	1,396	0,72	79	1,32	—	—	—	—	—

Изъ имѣющихся данныхъ этой таблицы можно усмотрѣть, что:

1) Съ увеличеніемъ отношенія $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$, при всякомъ ω , величина T_1 уменьшается, а μ —увеличивается, вначалѣ весьма быстро, а затѣмъ медленно.

2) Съ увеличеніемъ ω при одномъ и томъ же отношеніи $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$ коэффициентъ μ увеличивается и время T_1 уменьшается.

3) Коэффициентъ μ вычисленъ при найденномъ значеніи T_1 , предполагая въ каждомъ случаѣ истеченіе чрезъ отверстіе въ топкой стѣнкѣ. Значеніе его, большее единицы, показываетъ, что, съ увеличеніемъ отношенія $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$ далѣе 2-хъ, площади отвѣтвленій по-

лучаютъ слишкомъ большіе бесполезные размѣры, которые могутъ пропустить воды значительно больше, чѣмъ ее проходить чрезъ сѣченіе продольнаго канала за то-же время. При обыкновенныхъ устройствахъ продольнаго канала μ не можетъ быть даже равно единицѣ, а тѣмъ болѣе превосходить ее; при самыхъ лучшихъ и точныхъ комбинаціяхъ коноидальныхъ, коническихъ и цилиндрическихъ отрѣзковъ въ идеальномъ случаѣ μ могло бы быть равно единицѣ.

4) Принимать значеніе μ равнымъ всегда $0,33$, какъ видимъ, нѣтъ никакихъ основаній.

5) При выборѣ отношенія $\frac{\sum \omega_1}{\omega}$ не слѣдуетъ заходить за 2; лучше же держаться предѣловъ отъ $1,25$ до $1,50$, исходя изъ того предположенія, что нѣкоторое увеличеніе $\sum \omega_1$ надъ ω (до $1,25$) нужно съ цѣлью уменьшенія скорости выходящей въ камеру воды, но это увеличеніе не должно доходить до предѣла, при которомъ получается уже невозможная величина коэффициента μ (См. также n^0 111).

115. Измѣненіе числа отвѣтвленій. При нижеслѣдующихъ подсчетахъ принято въ основаніе расположеніе 11-е таблицы, помѣщенной въ n^0 113. При этомъ сѣченіе канала остается все время постояннымъ и равнымъ существующему $\omega = 3,15$ м.²; длина этого канала разсматривается только на протяженіи отвѣтвленій, равная $l = 66,50$ м., она также остается постоянной; измѣняются только взаимныя разстоянія между отвѣтвленіями по длинѣ въ зависимости отъ измѣненія числа отвѣтвленій на той же длинѣ канала; увеличеніе разстояній во всѣхъ разсматриваемыхъ ниже случаяхъ выдерживается въ пропорціи $c : d : e : f = 1 : 1\frac{1}{2} : 2 : 2\frac{1}{2}$; для каждаго разбираемаго числа отвѣтвленій вычисляются T_1 и μ при нѣкоторыхъ опредѣленныхъ значеніяхъ отношенія $\frac{\sum \omega_1}{\omega}$, а также при условіи, что для одного и того же значенія $\frac{\sum \omega_1}{\omega}$, но при различномъ числѣ отвѣтвленій сумма ихъ площадей поперечныхъ сѣченій остается одинаковой, т. е. $n \cdot \omega_1 = n_1 \cdot \omega_2 = n_2 \cdot \omega_3 = \dots$

Результаты подсчетовъ сведены въ нижеслѣдующей таблицѣ (стр. 115).

Изъ разсмотрѣнія этой таблицы слѣдуетъ:

2) Для одного и того же отношенія $\frac{\sum \omega_1}{\omega}$ съ увеличеніемъ числа отвѣтвленій, свыше 5-ти, время T_1 увеличивается (это и понятно,

№ по порядку.	П р и н я т я .						В ы ч и с л е н и я .							
	Отно- шение $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$	Число отвѣт- вленій <i>n</i>	Послѣдовательныя разсто- янія между отвѣтвленіями. метровъ.				Сѣче- ніе отвѣт- вленій. ω_1 (метр) ²	Время T_1		Коеф—тъ расхода.				
								Секун.	Мин.	μ	$\frac{1}{\mu}$			
1	0,75	5	9,30;	14,25;	19,00	23,75	0,48	245	4,08	0,449	2,23			
2	1,00	"	"	"	"	"	0,63	194	3,23	0,567	1,77			
2	1,50	"	"	"	"	"	0,94	144	2,40	0,762	1,31			
4	1,75	"	"	"	"	"	1,10	130	2,17	0,842	1,18			
5	0,75	6	6,65;	9,975;	13,30;	16,625;	19,95	0,39	252	4,20	0,437	2,29		
6	1,00	"	"	"	"	"	0,52	196	3,27	0,561	1,78			
7	1,50	"	"	"	"	"	0,79	145	2,42	0,756	1,32			
8	1,75	"	"	"	"	"	0,92	131	2,18	0,837	1,19			
9	0,75	7	4,93;	7,39;	9,85;	12,31;	14,78;	17,24	0,34	254	4,23	0,432	2,31	
10	1,00	"	"	"	"	"	"	0,45	198	3,30	0,556	1,80		
11	1,50	"	"	"	"	"	"	0,67	146	2,43	0,732	1,33		
12	1,75	"	"	"	"	"	"	0,79	132	2,20	0,833	1,20		
13	0,75	8	3,80;	5,70;	7,60;	9,50;	11,40;	13,30;	15,20	0,29	262	4,37	0,420	2,38
14	1,00	"	"	"	"	"	"	0,39	200	3,33	0,550	1,82		
15	1,50	"	"	"	"	"	"	0,59	147	2,44	0,749	1,34		
16	1,75	"	"	"	"	"	"	0,69	133	2,22	0,830	1,21		

такъ какъ увеличиваются гидравлическія сопротивленія) и соот-
вѣтственно уменьшается коэффициентъ μ . Это послѣднее обстоя-
тельство показываетъ, что выгодность подведенія воды къ отвер-
стію діафрагмы помощью каналовъ постепенно теряетъ свое зна-
ченіе съ увеличеніемъ гидравлическихъ сопротивленій въ части
канала за діафрагмой.

2) Съ увеличеніемъ отношенія $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$, при одномъ и томъ же числѣ
отвѣтвленій, время T_1 уменьшается, а коэффициентъ μ — увеличи-
вается; это согласуется и съ выводомъ предъидущаго n^0 .

3) Съ увеличеніемъ числа n отвѣтвленій, при одномъ и томъ же отношеніи $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}$, площадь сѣченія ихъ $=\omega_1$ уменьшается; такимъ образомъ на увеличеніе гидравлическихъ сопротивленій вліяютъ одновременно какъ увеличеніе числа n , такъ и уменьшеніе сѣченія отвѣтвленій.

4) При одномъ и томъ же числѣ n отвѣтвленій, съ увеличеніемъ отношенія $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}$ площадь ω_1 сѣченія отвѣтвленій увеличивается и гидравлическія сопротивленія уменьшаются.

5) Казалось бы вполне желательнымъ увеличивать отношеніе $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}$ возможно болѣе для одного и того же числа n съ цѣлью уменьшить T_1 и увеличить μ .

Но не всегда стремленіе значительно уменьшить T_1 достигаетъ общихъ хорошихъ результатовъ, не слѣдуетъ заходить за предѣлъ, при которомъ можетъ получиться невозможное значеніе коэффициента μ для истеченія черезъ діафрагму; такимъ предѣломъ является, какъ выше ($n^{\text{о}} 111, 114$) было указано, значеніе $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}=2,00$, лучше же держаться величинъ $1,25-1,30$, какъ дающихъ вполне возможные и даже весьма хорошіе результаты.

До сихъ поръ мы разсмотрѣли увеличеніе числа отвѣтвленій, посмотримъ теперь какія измѣненія въ ω_1 , T_1 и μ повлечетъ за собою уменьшеніе числа n ($n < 5$) для одного и того же отношенія $\frac{\Sigma\omega_1}{\omega}=1,00$. Результаты этихъ новыхъ подсчетовъ сведены въ слѣдующую таблицу (стр. 117).

Данныя этой таблицы подтверждаютъ только что высказанные выводы и кромѣ того даютъ возможность замѣтить, что:

1) Измѣненіе μ , ω и T_1 совершается весьма послѣдовательно, безъ скачковъ въ противоположную сторону.

2) Наименьшая величина T_1 и наибольшее значеніе μ , изъ разсматриваемыхъ случаевъ, соответствуетъ круговому каналу длиною $14,82$ метр., у котораго выходное отверстіе расположено на мѣстѣ перваго отвѣтвленія продольнаго канала (случай № 2 таблицы).

3) Для кругового канала сѣченіемъ $\omega_1=\omega=3,13$ м.², длиною $14,82+66,30=81,32$ метр. (случай № 1 таблицы), у котораго выходное отверстіе расположено на мѣстѣ послѣдняго отвѣтвленія раз-

№№ по порядку.	П р и н я т ы я .			В ы ч и с л е н н ы я .					
	Отно- шение $\frac{\Sigma \omega_1}{\omega}$	Число отвѣт- влений. <i>n</i>	Послѣдовательныя разстоянія между отвѣтвленіями. м е т р о в ъ .	Сѣче- ніе отвѣт- вленій ω_1 (метр) ²	Время T_1		Послѣ- доват. раз- ность сек.	Коеф.—тъ расхода	
					сек.	мин.		μ	$\frac{1}{\mu}$
1	1,00	1	Отвѣтвл. въ концѣ канала.	3,13	194	3,23		0,367	1,77
2	"	1	Отвѣтвл. вначалѣ канала. $c+d+e+f=0$.	3,13	173	2,88	9	0,636	1,57
3	"	2	$c+d+e+f=66,30$	1,57	182	3,06	5	0,605	1,65
4	"	3	26,60; 39,90	1,03	187	3,12	4	0,587	1,70
5	"	4	14,78; 22,17; 29,33	0,79	191	3,18	3	0,576	1,74
6	"	5	9,30; 14,25; 19,00; 23,73	0,63	194	3,23	2	0,567	1,77
7	"	6	6,65; 9,975; 13,30; 16,625; 19,95	0,52	196	3,27	2	0,561	1,78
8	"	7	4,93; 7,39; 9,85; 12,31; 14,78; 17,14	0,43	198	3,30	2	0,556	1,80
9	"	8	3,80; 5,70; 7,60; 9,50; 11,40; 13,30; 15,20	0,39	200	3,33		0,550	1,82

сматриваемаго продольнаго канала, получаютъ тѣ же значенія T_1 и μ , что и для продольнаго канала (случай № 6 таблицы) той же длины, сѣченіемъ $\omega=3,13$ м.² съ 5-ю отвѣтвленіями сѣченіемъ каждое 0,63 м.²

Для случая работы того же продольнаго канала сѣченіемъ $\omega=3,15$ м.², но съ однимъ конечнымъ отвѣтвленіемъ сѣченія 0,90 м.², мы выше изъ соответственныхъ подсчетовъ имѣли $T_1=480$ сек. и $\mu=0,231$; тогда какъ теперь $T_1=194$ сек. и $\mu=0,367$. Эти интересныя сопоставленія показываютъ, какъ значительно увеличиваются гидравлическія сопротивленія съ уменьшеніемъ сѣченія выходнаго канала (отвѣтвленія).

Увеличеніе площади сѣченія выходнаго канала до величины, равной суммѣ площадей сѣченій всѣхъ 5-ти отвѣтвленій, повлекло за собою соответственное уменьшеніе гидравлическихъ сопротивленій, и въ данномъ случаѣ, вслѣдствіе очень короткихъ отвѣтвленій, достигнутое уменьшеніе сопротивленій оказалось равнымъ суммѣ сопротивленій, которыя оказывали всѣ отвѣтвленія; при большей длинѣ ихъ, безъ сомнѣнія, такого совпаденія быть не могло.

Это же обстоятельство объясняется также и ту незначительную разницу въ величинахъ T_1 , найденныхъ по формуламъ (42) и (54) см. n^0 109.

§ 6. Общій характеръ пользования всеми вышерассмотрѣнными формулами.

116. Нѣкоторыя практическія указанія. При пользованіи вообще всеми вышерассмотрѣнными формулами рациональнѣе задаваться первоначально приблизительными размѣрами всехъ отверстій и сѣченій и тогда лишь находить время T . Затѣмъ слѣдуетъ постепенно измѣнять сѣченія, пока не получится для T возможная или допустимая величина и наилучшая комбинація какъ размѣровъ всехъ сѣченій, такъ и взаимныхъ разстояній между ними.

Можно рекомендовать ¹⁾, на основаніи имѣющихся хорошо дѣйствующихъ устройствъ, для самаго перваго подсчета задаваться такимъ соотношеніемъ:

$$\frac{\Sigma n \cdot \omega}{\Omega_0} = \text{отъ } \frac{1}{200} \text{ до } \frac{1}{250},$$

какъ наиболѣе часто встрѣчающимся въ практикѣ, гдѣ $\Sigma n \cdot \omega$ — сумма всехъ приѣмныхъ отверстій (всѣхъ отверстій въ полотнахъ и двухъ отверстій продольныхъ или круговыхъ каналовъ симметрично расположенныхъ относительно оси шлюза).

Очень часто встрѣчается также отношеніе:

$$\frac{\Sigma n \cdot \omega}{\Omega_0} = \frac{1}{150} - \frac{1}{200},$$

но это уже окончательно выбранное, а не предварительное.

Если сумма сѣченій всехъ отвѣтвленій $= \Sigma \omega_1$, а сѣченіе продольнаго канала $= \omega$, то для первоначальныхъ подсчетовъ слѣдуетъ задаваться такимъ соотношеніемъ:

$$\Sigma \omega_1 = (1_{,25} - 1_{,30}) \cdot \omega.$$

(Подробнѣе объ этомъ см. выше n^0 111 и 115).

Порядокъ составленія величинъ коэффициентовъ сопротивленія, а также значенія этихъ коэффициентовъ для нѣкоторыхъ частныхъ случаевъ были указаны въ главѣ IV.

¹⁾ См. также Н. d. J. W. III Bd., II Abth., 2 Hälfte, s. 104.

ЛИТЕРАТУРА.

1. **Августовскій.** О времени наполненія водою и опоражниванія камеръ однокамерныхъ шлюзовъ Маринской системы, устраиваемыхъ при бьефахъ съ большими площадями, и о коэффициентахъ расхода воды (Журналъ М-ва п. с. Т. XIII. Кн. 6. 1869 г.)
 2. **Глушинскій.** Внутреннія водяныя сообщенія. Печати. Стр. 221—222.
 3. **Евневичъ.** Курсъ гидравлики. С.-Пб. 1891 г. Стр. 142—168.
 4. **Зброженъ.** Курсъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній. С.-Пб. 1897 г. стр. 408—412.
 5. **Максименко.** Курсъ гидравлики. С.-Пб. 1889 г. печ. Стр. 222—293.
 6. " — Лекціи по гидравликѣ. Москва 1898/9 г. лит. Стр. 203—256.
 7. " — Лекціи по гидравликѣ. Москва 1901/2 г. печ.-лит. Стр. 165—222.
 8. **Мальхеръ.** Водяныя сооруженія ч. I. Рига. 1902 г. лит. Стр. 290.
 9. **Тиме.** Курсъ гидравлики. Т. I. С.-Пб. 1894 г. Стр. 101—105; 180—185.
 10. **Тяпкинъ.** Внутреннія водяныя сообщенія. Москва 1897/8 г. Литограф. лекціи.
 11. " — Опредѣленіе времени наполненія камеры шлюзовъ на р. Сѣв.-Донцѣ при рабочихъ подпорныхъ горизонтахъ. Тифлисъ 1903. (Также въ журналѣ „Инженерное Дѣло“ 1903 г. № 1).
-
1. **D'Aubuisson.** Traité d'hydraulique. Paris. 2 édit. p. 113—118; 230—270.
 2. **Brennecke.** Füllen der Kammer. (Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften. Bd. III. Der Wasserbau. Abth. II, Hälfte 2. Leipzig. 1895. s. 101—104).
 3. **Bresse.** Cours de mécanique appliquée. Hydraulique. Paris. 1868. p. 80—90; 175—178.
 4. **Fanning.** Hydraulic Engineering. New-York. 1893. p. 272—275.
 5. **Flamant.** Hydraulique. Encyclopédie des travaux publics. Paris 1900. p. 72—81.
 6. **Franzius und Frauenholz.** Der Wasserbau. Berlin. 1890. s. 118.
 7. **Grashof.** Theoretische Maschinenlehre. Bd. I. 1875. §§ 91, 92.

8. **Lagrené.** Cours de navigation interieure. T. III. Paris. 1873. p. 34—36.
9. **Meissner-Hederich.** Die Hydraulik, 2 Aufl. Jena. Bd. I. s. 387—392.
10. **Olive.** Traité d'hydraulique. Paris. p. 189—195. (Encyclopédie théorique et pratique des connaissances civiles et militaires. Partie civile. Cours de construction).
11. **Rühlmann.** Hydromechanik. Hannover. 1880. II Heft. s. 510—532.
12. **Strukel.** Der Wasserbau. Th. III. Helsingfors-Leipzig. 1902. s. 15—16.
13. **Tolkmitt.** Grundlagen der Wasserbaukunst. Berlin, 1898. s. 89—98.
14. **Tiapkin.** Bestimmung der Fülldauer der Schleusenammer auf dem Ssewernij Donez bei wirksamer Stau-Oberfläche. Leipzig. 1903. (Sowie auch: Zeitschrift für Gewässerkunde, 6 Bd. 3 Heft).
15. **Weisbach.** Untersuchungen in dem Gebiete der Mechanik und Hydraulik. Abth. I. 1842.
16. „ — Die Experimental-Hydraulik. 1855. §§ 29—35.

О Г Л А В Л Е Н И Е.

	<i>Стран.</i>
ПРЕДИСЛОВІЕ.....	1— 2
ВВЕДЕНІЕ. Подраздѣленіе устройствъ шлюзовыхъ водопроводовъ.	
Принятія опредѣленія и обозначенія.....	3— 4
Глава I. Щитовыя отверстія въ полотнохъ воротъ	5—12
1. Предѣлы примѣненія формулъ.....	5
А. Камера съ вертикальными стѣнками.	
§ 1. Время T_1 наполненія шлюзной камеры изъ верхняго бьефа.	
2. Истеченіе чрезъ незатопленное отверстие	5 — 6
3. Истеченіе чрезъ затопленное отверстие.....	6
§ 2. Время T_2 опорожненія шлюзной камеры въ нижній бьефъ.	
4. Истеченіе чрезъ затопленное отверстие.....	6
5. Истеченіе чрезъ отверстие частью затопленное.....	6
§ 3. Выборъ формулы, введеніе поправки; величина коэффициента μ расхода.	
6. Выгодность устройства затопленныхъ отверстій	6— 7
7. Опредѣленіе необходимой площади щитовыхъ отверстій.	7
8. Поправка въ величинахъ T_1 и T_2 вслѣдствіе немгновеннаго открытія отверстій.....	7 — 9
9. О величинѣ коэффициента μ расхода.....	9—10
В. Камера съ наклонными стѣнками при шлюзахъ съ отдѣльными головами.	
10. Дополнительные обозначенія.....	10

§ 4. Наполнение шлюзной камеры.	
11. Время T_1 наполнения камеры.....	10—11
§ 5. Опорожнение шлюзной камеры.	
12. Время T_2 опорожнения камеры.....	11
§ 6. Некоторые общія заключенія.	
13. Полное время T	11
14. Сравненіе величинъ T_1 и T_2	11
15. Особыя выраженія для площадей камеры при разныхъ горизонтахъ.....	12
16. Случай примѣненія формулъ (8) и (9).....	12
Глава II. Круговые каналы въ стѣнахъ шлюза	13—28
§ 1. Необходимость примѣненія особыхъ формулъ для опредѣленія T .	
17. Наблюденія надъ истеченіемъ воды чрезъ отверстія и каналы въ шлюзѣ.....	13—14
18. Объ опредѣленіи T при круговыхъ каналахъ.....	14—15
§ 2. Упрощенныя формулы для T при круговыхъ каналахъ.	
19. Общая формула гидравлики.....	15—16
20. Приближенное вычисленіе (простое).....	16
21. Приближенное вычисленіе (болѣе точное).....	16—18
§ 3. Общія формулы для T при круговыхъ каналахъ.	
22. Наиболѣе правильное вычисленіе.....	18
23. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ съ одной соединительной трубой.....	18—20
24. Шлюзъ съ одной парой круговыхъ каналовъ.....	20
25. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ съ двумя соединительными трубами.....	20—22
26. Шлюзъ съ двумя парами круговыхъ каналовъ.....	22—23
27. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ съ n соединительными трубами.....	23—25
28. Шлюзъ съ n парами круговыхъ каналовъ.....	25
29. Частные случаи общей формулы.....	25—26
30. Распространеніе общей формулы круговыхъ каналовъ на отверстія въ полотнахъ воротъ.....	26—27
31. Примѣненіе къ разобраннымъ случаямъ.....	27
§ 4. Объ опредѣленіи T_2 .	
32. Время опорожненія.....	27

§ 5. О поправкахъ въ найденныхъ T_1 и T_2 .

33. Время, нужное для открытія отверстій..... 27

Глава III. Продольные каналы въ стѣнахъ шлюза съ поперечными отвѣтвленіями по длинѣ..... 28—68

34. О примѣненіи особыхъ формулъ для продольныхъ каналовъ 28

А. Формула инженера *Ө. Г. Зброжека.*

§ 1. Имѣющіяся въ литературѣ данныя.

35. Отсутствие вывода..... 28—29
 36. Принятые дополнительные обозначенія 29
 37. Общая формула гидравлики..... 29
 38. Условіе пользования общей формулой гидравлики 29—30

§ 2. Предполагаемый выводъ формулы въ общемъ видѣ.

39. Выводъ..... 30—33
 40. Частные случаи..... 34

§ 3. Нѣкоторые соображенія о правильности пользования формулой *Ө. Г. Зброжека.*

41. Разсматриваемыя гидравлическія сопротивленія..... 34
 42. Выбранный коэффициентъ расхода 34
 43. Произвольная поправка послѣ вычисленій 34—35
 44. Видъ формулы и предѣлъ примѣненія ея 35
 45. Время опорожненія T_2 35

Б. Формулы профессора *Ф. Е. Максименко.*

46. Основныя особенности вывода..... 35

§ 4. Опредѣленіе времени T_1 для наполненія камеры изъ верхняго бьефа.

47. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ однимъ каналомъ, имѣющимъ на концѣ два отвѣтвленія 35—37
 48. Продольные каналы въ шлюзѣ съ двумя на концѣ отвѣтвленіями 37—38
 49. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ каналомъ, имѣющимъ на концѣ два развѣтвленія 38—41
 50. Продольные каналы въ шлюзѣ съ двумя на концѣ отвѣтвленіями 41—42
 51. Частные случаи..... 42

52. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ каналомъ, имѣющимъ на концѣ три развѣтвленія	42—47
53. Продольные каналы въ шлюзѣ съ тремя на концѣ отвѣтвленіями	47
54. Частные случаи	48
55. Продольные каналы въ шлюзѣ съ n на концѣ отвѣтвленіями	48—49
56. Частные случаи	50—51
56а. Упрощенные способы опредѣленія T_1	51—52

§ 5. Опредѣленіе времени T_2 для опорожненія камеры въ нижній бѣефъ.

57. Видоизмѣненныя обозначенія	53
58. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ n приемныхъ развѣтвленій, сходящихся въ одной точкѣ	53—55
59. Случай примѣненія	55
60. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ два приемныя отвѣтвленія, несходящіяся въ одной точкѣ	56—57
61. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ	57
62. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ три приемныя отвѣтвленія, несходящіяся въ одной точкѣ	58—61
63. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ	61
64. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ два приемныя и въ концѣ два устьевыя отвѣтвленія, несходящіяся въ одной точкѣ	61—62
65. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ	62—63
66. Случай двухъ сообщающихся сосудовъ, соединенныхъ одной соединительной трубой и однимъ продольнымъ каналомъ, имѣющимъ вначалѣ три приемныя и въ концѣ три устьевыя отвѣтвленія, несходящіяся въ одной точкѣ	63—64
67. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ	64—66
68. Продольные каналы въ шлюзѣ съ m приемными и однимъ устьевымъ отвѣтвленіями	66—68
69. Частные случаи	68

§ 6. Самый общий видъ формулы для T_2 при продольныхъ каналахъ въ шлюзахъ.	
70. Продольные каналы въ шлюзахъ съ m приемными и n устьевыми отвлѣтвленіями по своей длинѣ.....	68
71. Частные случаи.....	68
71 ⁰ О поправкахъ въ найденныхъ T_1 и T_2	68

Глава IV. Гидравлическія сопротивленія въ шлюзныхъ водопроводахъ..... 69—86

73. Подраздѣленіе сопротивленій.....	69
--------------------------------------	----

§ 1. Опредѣленіе общихъ сопротивленій.

74. Величина общихъ по длинѣ сопротивленій.....	69—70
75. Гидравлическій уклонъ.....	70
76. Коэффициенты скорости и сопротивленія.....	70—72
77. Примѣненіе къ шлюзнымъ водопроводамъ формулъ и коэффициентовъ, выведенныхъ для движенія воды въ каналахъ.....	72—74
78. Особья формы поперечнаго сѣченія шлюзныхъ водопроводовъ.....	74

§ 2. Опредѣленіе мѣстныхъ сопротивленій.

79. Мѣстныя сопротивленія.....	74
80. Сопротивленіе при входѣ.....	75
81. Сопротивленіе при выходѣ.....	75—76
82. Сопротивленіе при быстромъ измѣненіи поперечнаго сѣченія.....	76—77
83. Поправка <i>St.-Venant'a</i> въ общей формулѣ этого сопротивленія.....	78
84. Сопротивленіе въ простыхъ и двойныхъ колѣнахъ.....	78—79
85. Сопротивленія въ закругленіяхъ.....	79—80
86. Сопротивленія въ колѣнахъ съ закругленіемъ.....	80
87. Нѣкоторыя общія заключенія о сопротивленіяхъ въ колѣнахъ и закругленіяхъ.....	80—81
88. Сопротивленіе при отвлѣтвленіяхъ.....	81—82

§ 3 Совмѣстное опредѣленіе общихъ и мѣстныхъ сопротивленій для того же участка трубы.

89. Необходимость суммированія сопротивленій общихъ и мѣстныхъ.....	82—83
---	-------

§ 4. О составленіи общихъ коэффициентовъ сопротивленія и отдѣльныхъ элементовъ въ формулахъ проф. Ф. Е. Максименко.

90. Порядокъ составленія коэффициентовъ сопротивленія ..	83
91. Опредѣленіе коэффициентовъ формулы	84— 85
92. Порядокъ составленія коэффициентовъ формулы	85— 86

Глава V. Результаты подсчетовъ по приведеннымъ формуламъ и общее заключеніе о возможности при-
мѣненія послѣднихъ.....

86—118

93. Основанія для сравнительныхъ выводовъ	86
---	----

§ 1. Примѣры устройствъ круговыхъ каналовъ въ шлюзѣ.

94. Шлюзы на р. С. Донцѣ.....	86— 87
95. Шлюзы на р. Шекснѣ.....	88
96. Шлюзъ на р. Москвѣ у Перервы	88— 89
97. Шлюзъ на р. Шпрее у Шарлоттенбурга	89— 90
98. Шлюзъ на каналѣ Одеръ-Шпрее у Tränke	90— 91

§ 2. Сравненіе формулъ для круговыхъ каналовъ и выводы изъ результатовъ подсчета по нимъ.

99. Выборъ наилучшей формулы.....	91— 92
100. Примѣненіе формулъ щитовыхъ отверстій къ расчету круговыхъ каналовъ.....	92— 95
101. Прямое и обратное положенія канала.....	95— 96

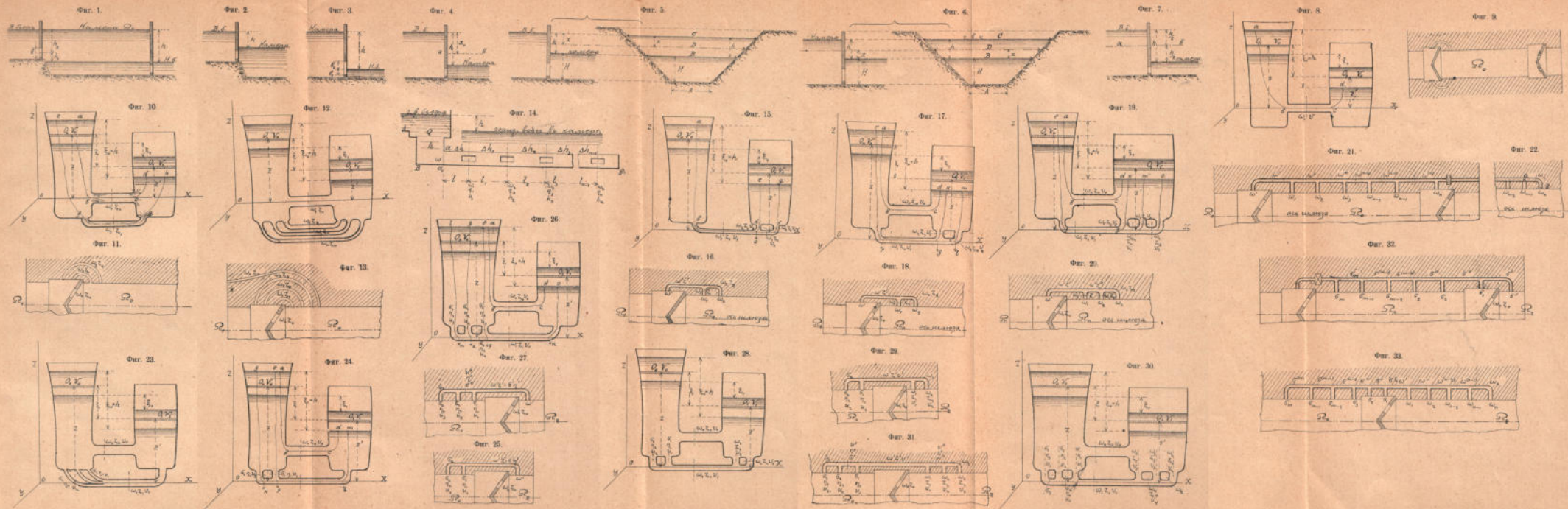
§ 3. Примѣры устройствъ продольныхъ каналовъ въ шлюзѣ.

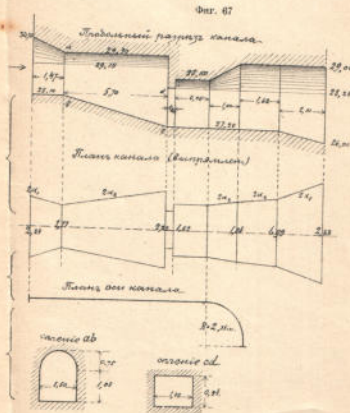
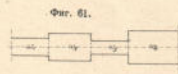
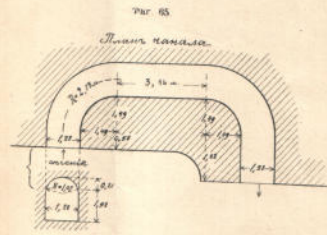
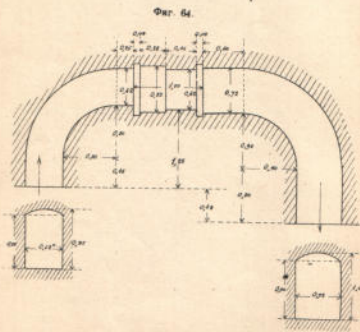
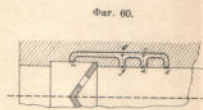
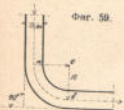
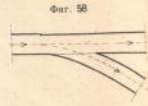
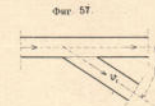
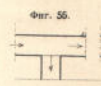
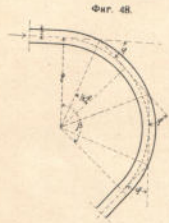
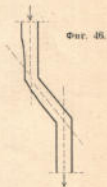
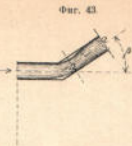
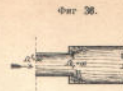
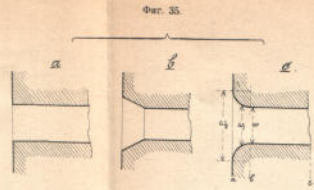
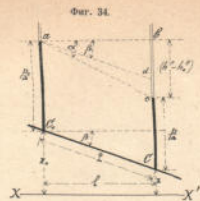
102. Шлюзъ на каналѣ Dortmund-Ems при Altenrheine.....	97— 99
103. Шлюзъ на каналѣ Dortmund-Ems при Teglingen'ѣ	99—100
104. Предохранительный шлюзъ на каналѣ de Jonage.....	100
105. Двойной шлюзъ на каналѣ de Jonage.....	100—101
106. Шлюзъ на каналѣ Kaiser-Wilhelm въ Brunsbüttel'ѣ.....	101—102
107. Шлюзъ на р. Шпрее въ Берлинѣ	102—103
108. Необходимыя условія для возможности сравненія формулъ для продольныхъ каналовъ	103—104
109. Сравнительные подсчеты по формуламъ <i>Θ. Г. Зброжека</i> и <i>Ф. Е. Максименко</i>	104—105

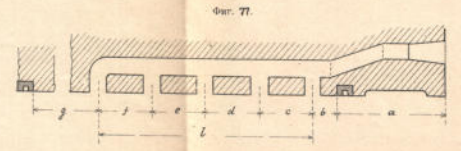
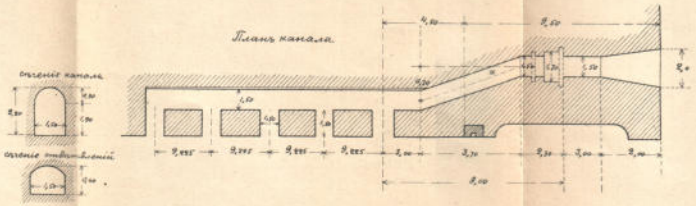
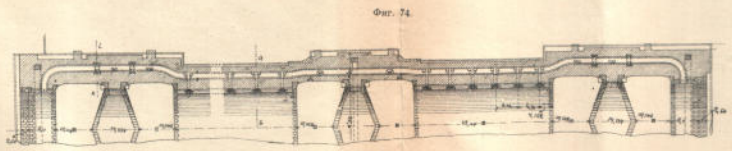
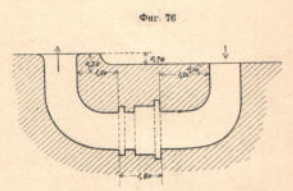
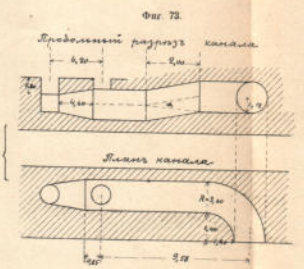
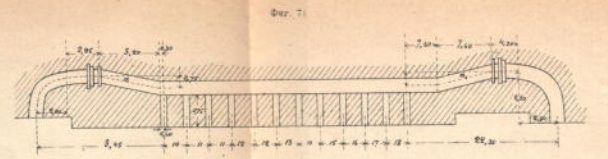
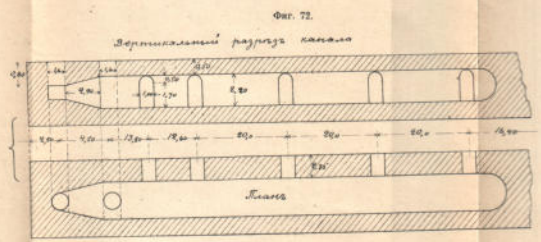
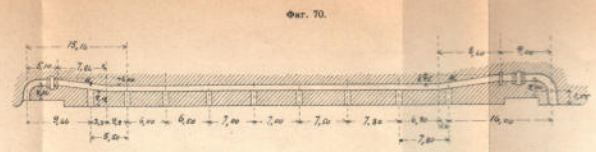
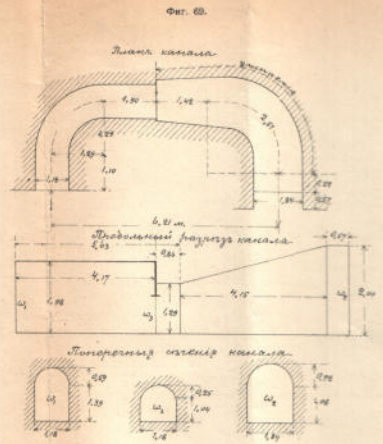
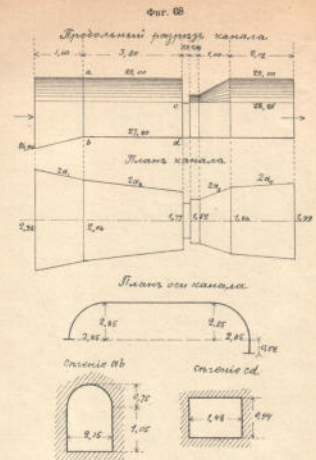
§ 4. Сравненіе формулъ для продольныхъ каналовъ и выводы изъ результатовъ подсчета по нимъ.

110. Выборъ наилучшей формулы.....	105
111. Сравненіе формулъ <i>Θ. Г. Зброжека</i> и <i>Ф. Е. Максименко</i>	105—110

§ 5. Найвыгоддэйшае распрэдыленне і число отвѣтвленій; взаимная зависимость площадей сѣченій канала и отвѣтвленій.	
112. Принятая для подсчетовъ формула	110
113. Измѣненіе разстояній между отвѣтвленіями	110—112
114. Измѣненіе площадей сѣченія отвѣтвленій	112—114
115. Измѣненіе числа отвѣтвленій	114—118
§ 6. Общій характеръ пользованія всѣми вышерассмотрѣнными формулами.	
116. Нѣкоторыя практическія указанія	118
ЛИТЕРАТУРА	119—120
ОГЛАВЛЕНІЕ	121—127







Труды инженера Н. Д. Тяпкина.

1. Краткій курсъ гидравлическихъ машинъ. Текстъ литографир. 264 стр.; къ нему атласъ въ 42 таблицы чертежей. Москва 1898 г. Цѣна 5 руб.
2. Приборы для опредѣленія скоростей и расходовъ воды въ открытыхъ руслахъ. Текстъ печати. 304 стр.; къ нему атласъ въ 30 таблицъ чертежей. Москва 1901 г. Цѣна 5 руб.
3. Нѣкоторые новѣйшіе приборы для измѣренія скоростей течения воды въ открытыхъ руслахъ. Докладъ IX Съѣзду гидротехниковъ. Съ 1 табл. чертежей. СПбургъ. 1902 г.
4. Прикладная механика. Части машинъ, передаточные механизмы, простыя и грузоподъемныя машины. Текстъ печати. 259 стр.; къ нему атласъ въ 32 таблицы чертежей. Москва 1902 г. Цѣна 5 руб.
5. Опредѣленіе отверстій плотинъ для р. Сѣв. Донца. (Къ проекту шлюзованія). Съ 1 табл. чертежей. Тифлисъ 1903 г. Цѣна 40 коп.
6. Опредѣленіе времени наполненія и опорожненія камеры шлюзовъ на р. Сѣв. Донцѣ при рабочихъ подпорныхъ горизонтахъ. (Къ проекту шлюзованія). Съ 1 табл. чертежей. Тифлисъ 1903 г. Цѣна 50 коп.
7. Bestimmung der Fülldauer der Schleusen-Kammer auf dem Ssewernei Doncz bei wirksamer Stau-Oberfläche. Leipzig. 1903. Pr. 1.⁵⁰ M.
8. Разсчетъ фермъ системы Поаре. (Къ проекту шлюзованія р. Сѣв. Донца). Съ 4 табл. чертежей. Тифлисъ 1903 г. Цѣна 1 р. 75 коп.
9. О постановкѣ занятій по курсу «Внутреннія водяныя сообщенія» въ Императорскомъ Московскомъ Инженерномъ Училищѣ за время съ 1897 по 1903 г. Москва. 1903 г.
10. Инженерное черченіе. Таблицы (6) чертежей простыхъ инженерныхъ сооружений и деталей, съ краткимъ поясительнымъ текстомъ. Москва 1901—1903 г. Цѣна 1 р. 20 коп.
11. О постановкѣ занятій по курсу «Геометрическое и инженерное черченіе» въ Императорскомъ Московскомъ Инженерномъ Училищѣ. Москва. 1903 г.
12. Запасное водохранилище въ долинѣ р. Пила возлѣ города Ассуана. Съ 2 листами чертежей. Москва 1904 г. Цѣна 90 коп.
13. О формулахъ, примѣняемыхъ для гидравлическаго разчета шлюзныхъ водопроводовъ въ различныхъ случаяхъ ихъ устройства. Текстъ 127 стр. Съ 3 листами чертежей. Москва 1904 г. Цѣна 3 руб. 50 коп.

ПЕЧАТАЕТСЯ:

Примѣры опредѣленія времени наполненія и опорожненія камеръ шлюзовъ въ различныхъ случаяхъ устройства водопроводовъ. Съ 1 табл. чертежей.

ГОТОВИТСЯ КЪ ПЕЧАТИ:

Водопроводы (отверстія, каналы и галлерей) въ шлюзахъ. Съ 10 табл. чертежей расположенія и устройства.

СВЛАДЪ ИЗДАНІЙ:

- 1) У автора: Москва, Бахметьевская ул., 15.
- 2) Книжный магазинъ К. Л. Риккера: Петербургъ. Невскій просп. 14.