

Я. И. Николинъ.

Профессоръ Томскаго Технологическаго Института Императора Николая II.

ПЕРЕХОДНЫЙ МАСШТАБЪ

ВЪ ПРИМѢНЕНИИ

къ діаграммамъ д'Оканя

ДЛЯ РАСЧЕТА ВОДОПРОВОДОВЪ.

Съ 3 таблицами чертежей.

ТОМСКЪ.

Типо-литографія Сибирскаго Товарищества Печ. Дѣла, уг. Дворянской ул. и Ямского пер., с. д.

1913.

Печатано по распоряженію Директора Томскаго Технологическаго
Института Императора Николая II.

Графическій расчетъ трубопроводовъ производится при посредствѣ діаграммъ, которыя, въ зависимости отъ номографическихъ принциповъ, положенныхъ въ ихъ основаніе, носятъ названіе діаграммъ изоплетныхъ кривыхъ или прямыхъ, логарифмографическихъ таблицъ и діаграммъ сопряженныхъ масштабовъ.¹⁾ Изъ большого числа такихъ діаграммъ наиболѣе новыми и удобными въ смыслѣ примѣненія являются *діаграммы сопряженныхъ масштабовъ, построенныя по методу точекъ прямолінейнаго пересѣченія*. Такъ какъ и открытіе этого метода, и его первыя примѣненія къ вопросамъ графическаго расчета въ техникѣ принадлежатъ М. д'Оканю (Maurice d'Ocagne, профессоръ Парижской Ecole des Ponts et Chaussées), то указанныя діаграммы, въ видахъ отличія отъ другого вида діаграммъ сопряженныхъ масштабовъ, я называю *діаграммами д'Оканя*. Въ этомъ способѣ, который примѣненъ и примѣнимъ къ гидравлическимъ формуламъ логарифмическаго вида, благодаря почти идеальной простотѣ обращенія съ діаграммами, мы имѣемъ крайне цѣнное средство, сокращающее до минимума трудъ и время при расчетѣ водоснабженія и канализаціи, безъ всякаго ущерба для точности получаемыхъ результатовъ.

Оставляя въ сторонѣ теоретическія основанія метода, лежащія въ основаніи діаграммъ д'Оканя, мы выяснимъ ихъ сущность и примѣненіе на частномъ примѣрѣ, именно на діаграммѣ для расчета водопроводныхъ трубъ круглаго сѣченія по формулѣ проф. Фламана, тѣмъ болѣе, что эту діаграмму намъ придется использовать и въ дальнѣйшемъ изложеніи.

Діаграммы д'Оканя служатъ для графическаго представленія уравненій, имѣющихъ форму

$$f_1(x) + f_2(y) = f_3(z). \quad (1)$$

Къ нимъ же сводятся уравненія вида

$$f_1(x) \cdot f_2(y) = f_3(z), \quad (2)$$

путемъ логарифмированія обѣихъ частей и обращенія въ форму

$$\log f_1(x) + \log f_2(y) = \log f_3(z). \quad (3)$$

¹⁾ Подробности по этому вопросу въ моей работѣ „Къ вопросу о графическихъ методахъ расчета водоснабженія и канализаціи. Вып. II. Классификація и теоретическія предпосылки номографическихъ способовъ расчета водопроводовъ“. (Изв. Томск. Технол. Инст. 1913, и отдѣльный выпускъ).

Эти діаграммы имѣютъ видъ трехъ (или большаго числа, при большемъ числѣ переменныхъ въ уравненіи) логарифмическихъ масштабовъ, расположенныхъ параллельно другъ другу и находящихся въ такой взаимной связи, что всякая прямая, пересекающая эти масштабы, встрѣчаетъ ихъ въ точкахъ съ такими числовыми значеніями переменныхъ, которыя при одновременной подстановкѣ удовлетворяютъ уравненію, представляемому діаграммой.

Прежде чѣмъ обратиться къ разъясненію способа построения уравненій вида (1) въ видѣ діаграммъ д'Оканя, необходимо дать понятіе объ одномъ основномъ приѣмѣ Номографіи, именно о построеніи масштабовъ функций.

Пусть имѣется нѣкоторая функция $f(x)$ независимой переменной x , въ такихъ предѣлахъ, что для каждаго значенія переменной x имѣется только одно определенное значеніе функции. Будемъ наносить на оси OX , отъ начала координатъ O (черт. 1), длины

$$\begin{aligned} l_1 &= \lambda f(x_1), \\ l_2 &= \lambda f(x_2), \\ l_3 &= \lambda f(x_3), \\ &\dots \end{aligned} \quad (4)$$

гдѣ λ — произвольно выбранная длина, и надпишемъ надъ точками, обозначающими концы отрезковъ $l_1, l_2, l_3, \dots$, соответствующія значенія $x_1, x_2, x_3, \dots$ переменной. Совокупность полученныхъ такимъ образомъ точекъ съ числовыми отмѣтками составитъ масштабъ функции $f(x)$. Длина λ называется *модулемъ* этого масштаба.

Если масштабъ функции долженъ быть ограниченъ двумя частными значеніями переменной, напр. x_0 и x_n , то можно построить его, начиная съ низшаго предѣла x_0 , безъ участія начала координатъ O . Чтобы получить точки $x_1, x_2, x_3, \dots$, нужно нанести на ось, начиная отъ произвольно выбранной точки съ отмѣткой x_0 , отрезки

$$\begin{aligned} l_1 &= \lambda [f(x_1) - f(x_0)] \\ l_2 &= \lambda [f(x_2) - f(x_0)] \\ l_3 &= \lambda [f(x_3) - f(x_0)] \\ &\dots \\ L &= \lambda [f(x_n) - f(x_0)], \end{aligned} \quad (5)$$

гдѣ L — длина масштаба.

Принимая

$$f(x) = x$$

и измѣняя ее черезъ равное и круглое число единицъ того или другого десятичнаго порядка, мы получимъ, путемъ указаннаго построения, *нормальный* масштабъ. Въ зависимости отъ задачъ, подлежащихъ графическому рѣшенію, иногда приходится примѣнять построеніе къ инымъ функциямъ, и тогда получаются масштабы функций другого характера, напр., *логарифмическіе, сегментные, изогранные*.

Изъ разныхъ масштабовъ, которые получаются въ результатъ построения функций, наиболѣе важное значеніе имѣетъ *логарифмическій* масштабъ. Если въ равенствахъ (4) примемъ

$$f(x) = \log x, \quad (6)$$

и примѣнимъ къ этому случаю указанный выше методъ построения, тогда получается логарифмическій масштабъ функций.

Для построения діаграммы д'Оканя, представляющей уравненіе

$$f_1(x) + f_2(y) = f_3(z), \quad (1)$$

нужно на произвольной прямой выбрать двѣ точки А и В на любомъ разстояніи другъ отъ друга и черезъ эти точки провести прямыя АХ и ВУ, параллельныя другъ другу. По этимъ прямымъ откладываются $f_1(x)$ и $f_2(y)$ въ видѣ масштабовъ функций, при произвольно выбранныхъ модуляхъ λ_1 и λ_2 , на основаніи равенства

$$\begin{aligned} x' &= \lambda_1 f_1(x), \\ y' &= \lambda_2 f_2(y), \end{aligned} \quad (7)$$

гдѣ x' и y' — разстоянія точекъ градуаціи масштабовъ отъ точекъ А и В. Далѣе на линіи АВ выбирается точка С, дѣлящая разстояние между точками А и В на части АС и СВ, пропорціональныя взятымъ модулямъ масштабовъ λ_1 и λ_2 , т. е. на основаніи пропорціи

$$AC : CB = \lambda_1 : \lambda_2. \quad (7')$$

Черезъ точку С проводятъ прямую, параллельную АХ и ВУ, которую принимаютъ за ось масштаба функций $f_3(z)$. Модуль масштаба этой функции λ_3 опредѣляется на основаніи равенства

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}, \quad (8)$$

или иначе

$$\frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}. \quad (8')$$

Наконецъ по оси СZ откладываютъ отъ точки С $f_3(z)$ въ видѣ масштаба функции, при модуль λ_3 . Полученная такимъ образомъ система трехъ масштабовъ и представитъ діаграмму д'Оканя для уравненія (1).

Такая діаграмма даетъ возможность опредѣлять значеніе любой изъ функций, входящихъ въ уравненіе (1), если извѣстны двѣ другія функции. Для этого достаточно пересѣчь масштабъ искомой функции прямой линіей, соединяющей точки двухъ другихъ масштабовъ, соответствующихъ заданнымъ значеніямъ функций. Вообще всякая прямая, пересѣкающая три сопряженныхъ масштаба діаграммы, въ точкахъ пересѣченія съ ними даетъ значенія функций, отложенныхъ по масштабамъ, одновременно удовлетворяющія уравненію, представляемому діаграммой.

Формула проф. Фламана ¹⁾, о діаграммѣ которой намъ придется сейчасъ говорить, обыкновенно примѣняется въ видѣ

$$D^{5/4} i = av^{7/4} \quad (9)$$

или

$$D^5 i^4 = a^4 v^7, \quad (9')$$

гдѣ D — діаметръ трубы,

i — гидравлическій уклонъ,

v — скорость,

a — коэффициентъ шероховатости.

Для коэффициента a Фламанъ даетъ два значенія:

для трубъ съ совершенно гладкою внутреннею поверхностью или покрытыхъ внутри составомъ, сглаживающимъ ихъ неровности,

$$a_1 = 0,00074,$$

а для трубъ, слегка покрытыхъ осадками, каковы обыкновенно послѣ нѣсколькихъ лѣтъ службы трубы водопроводовъ, въ среднемъ

$$a_2 = 0,00092.$$

Формула Фламана, въ какомъ бы видѣ она ни была взята, представляетъ частный случай уравненія вида

$$f_1(x) \cdot f_2(y) = f_3(z) \quad (2)$$

и потому можетъ быть представлена въ видѣ діаграммы сопряженныхъ масштабовъ, по методу д'Оканя.

Для представленія этой формулы въ видѣ діаграммы съ масштабами діаметровъ, гидравлическихъ уклоновъ и расходовъ, нужно преобразовать формулу

$$D^5 i^4 = a^4 v^7 \quad (9')$$

на основаніи соотношенія

$$v = \frac{4 Q}{\pi D^2}. \quad (10)$$

Тогда получается, при коэффициентѣ a для трубъ, бывшихъ въ службѣ,

$$D = 0,251 \frac{Q^{7/19}}{i^{4/19}}. \quad (11)$$

Примѣняя логарифмирование къ формулѣ (11), получаемъ:

$$\log D = \log 0,251 + \frac{7}{19} \log Q - \frac{4}{19} \log i. \quad (12)$$

Для представленія этого уравненія въ видѣ діаграммы, руководствуясь вышеизложенными правилами, возьмемъ двѣ параллельныя

¹⁾ Подробности въ моей работѣ „Формулы логарифмическаго вида для расчета водопроводовъ“.

оси Q и J (черт. 2), находящіяся на произвольно выбранномъ разстояніи s другъ отъ друга, и примемъ первую изъ нихъ за масштабъ расходовъ, а вторую за масштабъ уклоновъ. Затѣмъ наносимъ соотвѣтственно на каждой изъ нихъ, при помощи логарифмической линейки, масштабы функцій Q и i .

Для выбора модуля отложенія примемъ въ соображеніе слѣдующее: Если бы мы приняли для обоихъ масштабовъ безъ измѣненія модуль λ логарифмической линейки, то намъ пришлось бы, для отложенія функцій $\frac{7}{19} \log Q$ и $\frac{4}{19} \log i$, или умножить всѣ $\log$ на $\frac{7}{19}$ и $\frac{4}{19}$, или измѣнить масштаб логарифмической линейки въ отношеніи $\frac{7}{19}$ и $\frac{4}{19}$.

Чтобы не дѣлать этого, удобнѣе принять модули

$$\text{для масштаба } Q - \lambda_1 = \frac{19}{7} \lambda$$

$$\text{и для масштаба } i - \lambda_2 = \frac{19}{4} \lambda$$

(или кратные ихъ, въ зависимости отъ размѣровъ діаграммы и взаимнаго расположенія масштабовъ). Тогда намъ придется откладывать по масштабамъ Q и i , для выраженія функцій $\frac{7}{19} \log Q$ и $\frac{4}{19} \log i$, величины $\log Q$ и $\log i$ въ масштабѣ логарифмической линейки.

Такъ какъ функція $\frac{4}{19} \log i$ имѣетъ отрицательный знакъ, а $\frac{7}{19} \log Q$ — положительный, то увеличеніе числовыхъ значеній дѣленій на масштабахъ Q и J должно идти въ разныя стороны. Это нужно имѣть въ виду при выборѣ начальныхъ точекъ, отъ которыхъ откладываются дѣленія. Въ данномъ случаѣ удобнѣе помѣстить, примѣрно по серединѣ діаграммы, дѣленія O и O' , соотвѣтствующія нѣкоторымъ среднимъ значеніямъ Q и i , и затѣмъ отъ нихъ вести дѣленія въ обѣ стороны.

Построивъ такимъ образомъ масштабы расходовъ и уклоновъ, нужно, на основаніи соотношеній (7') и (8), опредѣлить положеніе, модуль и дѣленія масштаба діаметровъ D .

Такъ какъ, по предыдущему, модули масштабовъ Q и i

$$\lambda_1 = \frac{19}{7} \lambda,$$

$$\lambda_2 = \frac{19}{4} \lambda,$$

то, обозначая разстояніе отъ оси Q до оси D черезъ x , мы должны имѣть, по (7')

$$\frac{x}{s-x} = \frac{19}{7} : \frac{19}{4} = 4 : 7, \quad (13)$$

откуда

$$x = \frac{4}{11} s. \quad (13')$$

Модуль масштаба функціи ($\log D - \log 0,251$) опредѣлится на основаніи (8)

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{19}{11} \lambda, \quad (14)$$

гдѣ λ , по прежнему, модуль логарифмической линейки.

Для нанесенія дѣленій на масштабъ діаметровъ соединяемъ выбранныя ранѣе точки O и O' (или какія нибудь другія) масштабовъ Q и i . Пересѣченіе линіи OO' съ масштабомъ D дастъ точку O'' , отмѣтка которой, соотвѣтствующая значеніямъ Q и i въ точкахъ O и O' , опредѣляется расчетомъ. Построивъ затѣмъ логарифмическій масштабъ при модулѣ λ_3 и приложивъ его соотвѣтственнымъ дѣленіемъ къ точкѣ O'' , размѣчаемъ другія дѣленія масштаба діаметровъ, продолжая его въ обѣ стороны, насколько нужно.

Если, въ видахъ удобства, выбраны другіе модули (кратные λ_1 и λ_2), то положеніе оси D должно быть соотвѣтственнымъ образомъ измѣнено. Напримѣръ, при масштабѣ расходовъ въ 3 раза большемъ, чѣмъ масштабъ уклоновъ, изъ уравненія (7') получаемъ:

$$\frac{x}{s-x} = \frac{19.3}{7} : \frac{19}{4} = 12 : 7, \quad (15)$$

откуда

$$x = \frac{12}{19} s.$$

Обыкновенно на діаграммахъ гидравлическихъ формулъ, построенныхъ по методу д'Оканя, проводится еще ось, служащая масштабомъ для опредѣленія скоростей v . Для опредѣленія положенія и дѣленія масштаба скоростей, на основаніи положенія масштабовъ Q и D , можно было бы поступить такимъ же образомъ, исходя изъ соотношенія

$$v = \frac{4 Q}{\pi D^2}, \quad (10)$$

логарифмируя это выраженіе и представляя полученное уравненіе въ видѣ системы сопряженныхъ масштабовъ, въ которой масштабы Q и D совпадаютъ съ построенными ранѣе. Но прибѣгать къ этому не приходится, такъ какъ можно опредѣлить искомыя положенія и дѣленія чисто графическимъ путемъ. Для этого стоитъ только принять во вниманіе, что скорость въ 1,00 м. развивается въ трубопроводѣ діаметромъ 0,30 м. при расходѣ 70,7 литр., а въ трубопроводѣ діаметромъ 0,60 м. при расходѣ въ 282,7 литр. На основаніи этого мы можемъ провести соотвѣтственные пересѣкающія прямые и найти такимъ образомъ точку оси v , помѣчаемую 1,00 метр. Повторяя ту же операцію съ данными $Q=7,07$ литр., $D=0,30$ м. и $Q=28,27$ литр., $D=0,60$ м., получаемъ точку, соотвѣтствующую скорости 0,10 м. Эти двѣ точки должны находиться на линіи, параллельной другимъ масштабамъ.

Остается только градуировать разстояніе между 0,10 м. и 1,00 м. и продолжить дѣленія въ обѣ стороны.

Черт. 3 представляетъ діаграмму д'Оканя для графическаго расчета трубопроводовъ круглаго сѣченія по формулѣ Фламана, построенную Даріэсомъ (правильнѣе, сокращенную изъ діаграммы Бертрана). Она состоитъ изъ четырехъ масштабовъ, идущихъ въ слѣдующемъ порядкѣ, считая слѣва: масштабъ расходовъ, масштабъ діаметровъ, масштабъ потерь напора и масштабъ скоростей. Эта діаграмма построена слѣдующимъ образомъ. Разстояніе между масштабомъ расходовъ и масштабомъ гидравлическихъ уклоновъ выбрано съ такимъ расчетомъ, что логарифмы расходовъ откладываются въ масштабѣ въ 3 раза больше, нежели логарифмы уклоновъ. Въ этомъ случаѣ, если обозначимъ разстояніе между масштабами расходовъ и уклоновъ черезъ l , а разстояніе между масштабомъ расходовъ и масштабомъ діаметровъ черезъ x , по (15') должно быть соблюдено соотношеніе

$$x = \frac{12}{19}l. \quad (16)$$

Величина x принята равной 70 мм. Поэтому

$$l = \frac{70 \cdot 19}{12} = 110,8 \text{ мм.}$$

Модуль масштаба гидравлическихъ уклоновъ взятъ такимъ образомъ, что единицѣ логарифмовъ соотвѣтствуетъ 20 мм. Масштабъ расходовъ, какъ сказано, въ 3 раза крупнѣе, т. е. 60 мм. за единицу логарифмовъ. Исходя изъ такого соотношенія, на раздѣщенныхъ въ вышеуказанномъ разстояніи линіяхъ отложены логарифмы чиселъ: для расходовъ отъ 1 до 1000, а для уклоновъ отъ 1 до 0,000001. Такимъ образомъ получены масштабы расходовъ и гидравлическихъ уклоновъ. Для полученія масштаба діаметровъ, выбрано (на основаніи таблицы для формулы Фламана) такое соотношеніе Q и i , чтобы при немъ D было равно 1,00 м., и точки, соотвѣтствующія этимъ величинамъ Q и i , соединены прямою. Пересѣченіе ея съ линіей масштаба діаметровъ даетъ точку, помѣченную 1,00. Точно также найдена точка, соотвѣтствующая $D = 0,10$ м. Разстояніе между этими точками раздѣлено пропорціонально дѣленіямъ логарифмической линейки, и дѣленія продолжены въ обѣ стороны. Такимъ образомъ полученъ масштабъ діаметровъ. Масштабъ скоростей полученъ подобнымъ же образомъ.

Способъ употребленія діаграммы для формулы Фламана, представленной на черт. 3, вытекаетъ естественно изъ предыдущаго. Соотвѣтственныя величины четырехъ элементовъ, опредѣляющихъ теченіе, расхода, діаметра, гидравлическаго уклона и скорости, находятъ на одной пересѣкающей масштабъ прямой, которую опредѣляютъ

двѣ заданныя изъ этихъ величинъ. Двѣ другія неизвѣстныя читаются въ точкахъ встрѣчи сѣкущей линіи съ соотвѣтствующими масштабами. На практикѣ избѣгаютъ проводить сѣкушія линіи на самомъ чертежѣ, что повлекло бы быстрое загрязненіе и порчу его. Вмѣсто этого гораздо проще, скорѣе и удобнѣе употреблять или натянутую нить, или прозрачную полосу изъ бумаги, целлулоида и т. п., на которой предварительно прочерчена прямая линія (называемую транспарантомъ). При этомъ можно передвигать эту полосу или при помощи пальцевъ, или, что лучше, при помощи прикрѣпленныхъ на концахъ двухъ штифтовъ съ остріями. Въ послѣднемъ случаѣ удобно, поставивъ одно остріе на извѣстное дѣленіе, вращать прямую около оси острія, безъ опасности скольженія или перемѣщенія.

Цомимо описанной нами діаграммы д'Оканя для формулы Фламана, составленной Даріэсомъ, для гидравлическаго расчета трубопроводовъ примѣняются еще двѣ діаграммы этого типа, именно діаграмма Бертрана для формулы Фламана и діаграмма Даріэса для формулы Леви-Валло. Послѣдняя изъ нихъ во всѣхъ отношеніяхъ сходна съ описанной діаграммой для формулы Фламана. Діаграмма же Бертрана отличается отъ двухъ остальныхъ тѣмъ, что она заключаетъ не четыре, а девять масштабовъ, представляющія рядъ величинъ, производныхъ отъ Q , i , D и v .¹⁾ Способъ употребленія всѣхъ діаграммъ въ принципѣ одинъ и тотъ же, хотя нѣсколько осложняется въ примѣненіи къ діаграммѣ Бертрана, ввиду многочисленности масштабовъ, которые по существу составляютъ нѣсколько системъ сопряженныхъ масштабовъ.

Нужно, сказать, однако, что всѣ перечисленныя діаграммы сопряженныхъ масштабовъ, построенныя по методу д'Оканя, обладаютъ и однимъ общимъ недостаткомъ. Дѣло въ томъ, что всѣ онѣ предназначены исключительно для расчета водопроводныхъ трубъ при опредѣленныхъ условіяхъ работы, т. е. для чугунныхъ трубъ круглаго сѣченія при совершенномъ наполненіи и при одной (для каждой діаграммы) опредѣленной степени шероховатости.

Между тѣмъ при расчетѣ водоснабженій могутъ встрѣчаться задачи, требующія опредѣленія скорости и расхода при иной степени шероховатости, въ зависимости отъ матеріала и характера работы трубопроводовъ, а при расчетѣ канализацій, какъ извѣстно, приходится постоянно считаться съ разными степенями наполненія. Кромѣ того въ канализаціи же, а въ иныхъ случаяхъ и въ водоснабженіи, приходится примѣнять, кромѣ круглаго, другіе типы сѣченій. Для всѣхъ этихъ случаевъ перечисленныя діаграммы не приспособлены, и такимъ образомъ кругъ ихъ примѣненія пока, по необходимости, ограничивается расчетомъ водопроводовъ при обычныхъ среднихъ условіяхъ работы.

¹⁾ Подробности въ моей работѣ: „Классификація и теоретическія предпосылки но мографическихъ способовъ расчета водопроводовъ“.

Указанный недостатокъ, суживающій область примѣненія діаграммъ д'Оканя, не является, однако неустранимымъ. Прежде всего возможно, разумѣется, построение новыхъ діаграммъ для другихъ случаевъ расчета, столь же обычныхъ, какъ и расчеты водопроводовъ, т. е. діаграммъ для круглыхъ сѣченій съ половиннымъ наполненіемъ, примѣняемыхъ въ канализаціи, съ соотвѣтственными коэффициентами шероховатости, для овоидальныхъ сѣченій при наполненіи до пяти сводовъ, и для другихъ употребительныхъ типовъ сѣченій, при соотвѣтственныхъ степеняхъ наполненія и шероховатости. Построение такихъ новыхъ самостоятельныхъ діаграммъ является, въ видахъ примѣненія даннаго графическаго способа ко всѣмъ возможнымъ случаямъ расчета, является крайне желательнымъ и своевременнымъ.

Однако вопросъ еще не рѣшается такимъ образомъ окончательно. Дѣло въ томъ, что могутъ явиться случаи, когда интересно знать скорости и расходы при условіи увеличенія или уменьшенія степени шероховатости до нормы, не предусмотрѣнной готовыми діаграммами. Далѣе, совершенно невозможно имѣть готовые діаграммы для данныхъ сѣченій при всѣхъ различныхъ степеняхъ наполненія. Діаграммы должны предусматривать возможность такихъ случаевъ, и должно быть найдено средство, дающее возможность легко и быстро переходить отъ данныхъ готовой діаграммы, соотвѣтствующихъ опредѣленному заполненію и шероховатости, къ различнымъ степенямъ заполнения и шероховатости, опредѣляемымъ иными условіями работы трубопроводовъ.

Такое именно средство я предлагаю въ видѣ особыхъ графиковъ, которые называю *переходными масштабами*. Подобные графики, по моему мнѣнію, удовлетворяющіе поставленнымъ цѣлямъ, должны дополнять всякія діаграммы сопряженныхъ масштабовъ, а въ случаѣ неимѣнія ихъ на діаграммахъ, они легко могутъ быть изготовляемы спеціально. Нужно добавить къ этому, что такіе переходные масштабы даютъ возможность, между прочимъ, пользоваться діаграммами д'Оканя, построенными для сѣченій одного типа, въ цѣляхъ расчета сѣченій другихъ типовъ, что также можетъ быть иногда полезнымъ.

Изъ вышеизложеннаго видно, что вопросъ о переходныхъ масштабахъ для діаграммъ д'Оканя естественно распадается на три части, соотвѣтственно возможнымъ случаямъ перехода, во первыхъ, къ новымъ степенямъ шероховатости, во вторыхъ—къ разнымъ степенямъ заполнения, въ третьихъ—къ инымъ формамъ поперечныхъ сѣченій.

Тотъ способъ, который предлагается, мы будемъ разсматривать въ примѣненіи къ діаграммѣ формулы Фламана, построенной Даріэсомъ, съ которой уже имѣли дѣло. Они примѣнимы въ той же мѣрѣ и въ той же самой формѣ къ діаграммѣ формулы Леви-Валло. Что касает-

ся діаграммы Фламанъ-Бертрана, то, теоретически говоря, она вполне допускаетъ примѣненіе даннаго способа. Однако значительная сложность самой діаграммы дѣлаетъ практически трудно допустимымъ примѣненіе къ ней еще дополнительныхъ операций, во избѣжаніе ошибокъ, вѣроятность которыхъ при этихъ условіяхъ сильно возрастаетъ.

Обращаясь, такимъ образомъ, къ діаграммѣ Фламанъ-Даріэса и къ вопросу о переходѣ отъ нея къ другимъ коэффициентамъ шероховатости, мы должны оговориться, что, практически говоря, вопросъ о примѣненіи къ этой діаграммѣ другихъ коэффициентовъ шероховатости не имѣетъ значенія, такъ какъ эти коэффициенты не выработаны для самой формулы (не считая коэффициента для трубъ съ гладкой внутренней поверхностью), и она предназначена для рѣшенія вопросовъ въ примѣненіи къ одному опредѣленному случаю движенія воды. Это не мѣшаетъ намъ, однако, показать на примѣрѣ данной діаграммы возможность перехода къ другимъ степенямъ шероховатости, такъ какъ способъ сопряженныхъ масштабовъ д'Оканя можетъ и, навѣрное, будетъ примѣненъ къ логарифмическимъ формуламъ, предусматривающимъ болѣе широкій кругъ коэффициентовъ шероховатости.

Общій видъ формулы Фламана, какъ было указано выше, съ коэффициентомъ шероховатости a_1 будетъ

$$D^\alpha i = a_1 v^\beta. \quad (17)$$

Для представленія ея въ графическомъ видѣ, формула логарифмируется

$$\alpha \log D - \log a_1 = \beta \log v - \log i, \quad (17')$$

и затѣмъ строится, по извѣстнымъ правиламъ, въ видѣ масштабовъ функции ($\alpha \log D - \log a_1$), $\beta \log v$ и $\log i$. При такомъ способѣ построенія ясно, что переходъ отъ коэффициента шероховатости a_1 къ a_2 не вноситъ въ діаграмму никакихъ измѣненій въ отношеніи масштабовъ уклона i и скорости v , измѣненіе же въ масштабѣ діаметровъ сводится къ тому, что вмѣсто функции ($\alpha \log D - \log a_1$) откладывается отъ прежней начальной точки и при томъ же модуль функции ($\alpha \log D - \log a_2$). Не трудно видѣть (черт. 3), въ чемъ выразится такое измѣненіе графически. Благодаря сохраненію модуля, дѣленія масштаба останутся тѣ же самыя, но весь масштаб передвинется на длину, изображающую ($\log a_2 - \log a_1$) въ сторону начала. Вслѣдствіе этого числовая отмѣтка, соотвѣтствующая любой точкѣ оси масштаба, должна измѣниться, именно увеличиться съ увеличеніемъ коэффициента шероховатости, т. е. когда

$$\frac{a_2}{a_1} > 1; \log a_2 - \log a_1 > 0, \quad (18)$$

и уменьшиться въ обратномъ случаѣ. При этомъ измѣненіе происходитъ такимъ образомъ, что разстояніе между точками, которыя отвѣ-

чаютъ одному и тому же чтенію на масштабахъ діаметровъ, построенныхъ при коэффициентѣ a_1 и при коэффициентѣ a_2 , остается постояннымъ и равно $\pm (\log a_2 - \log a_1)$.

Такимъ образомъ, имѣя масштабъ діаметровъ для одной степени шероховатости, можно легко опредѣлить чтеніе любой точки оси масштаба, соответствующее масштабу для другой степени шероховатости. Для этого стоитъ только отложить отъ этой точки въ соответствующую сторону длину, соответствующую при модуль масштаба величинѣ $\pm (\log a_2 - \log a_1)$, и отмѣтка полученной новой точки, прочитанная по существующему масштабу, будетъ искомою.

Итакъ, одинъ и тотъ-же масштабъ діаметровъ и одна діаграмма Фламанъ-Даріеса, при желаніи, могли бы служить для расчетовъ въ предположеніи разныхъ степеней шероховатости. Такъ, напримеръ, съ этой діаграммой можно рѣшать задачи о движеніи воды въ трубахъ съ гладкой внутренней поверхностью, когда коэффициентъ $a = 0,00074$. Для этого, оперируя обычнымъ образомъ со всеми осями діаграммы, нужно только помнить, что отмѣтки точекъ масштаба діаметровъ въ данномъ случаѣ нужно читать ниже самыхъ точекъ въ разстояніи, соответствующемъ

$$\log a_1 - \log a_2 = 0,09456,$$

при модуль масштаба діаметровъ.

Чтеніе въ подобныхъ случаяхъ удобнѣе производить при посредствѣ изготовленнаго заранѣ переходнаго масштаба, дающаго нужныя длины для разныхъ коэффициентовъ шероховатости. Ясно, что указанная операція могла бы быть замѣнена также рѣшеніемъ задачи въ примѣненіи къ основному коэффициенту, съ измѣненіемъ затѣмъ результата пропорціонально отношенію a_2 къ a_1 . Форма такого масштаба, съ нанесеніемъ также дѣлений для другихъ случаевъ перехода, будетъ дана далѣе.

Въ томъ случаѣ, когда число коэффициентовъ шероховатости, съ которыми приходится имѣть дѣло, не превышаетъ двухъ, возможно построить два масштаба діаметровъ съ двухъ сторонъ одной и той же оси, одинъ для одного, другой для другого коэффициента шероховатости, и пользоваться тѣмъ или другимъ масштабомъ, въ зависимости отъ условій задачи.

Выше было указано, что діаграмма Фламанъ-Бертрана, какъ и другія того же типа, приспособлена только для расчета трубъ, работающих при совершенномъ заполненіи. Такой случай является преобладающимъ при расчетѣ водоснабженій. Совершенно обратное мы видимъ при расчетѣ канализаціи: здѣсь совершенное заполненіе является случаемъ исключительнымъ, а неполное нормальнымъ. Въ самомъ дѣлѣ, основной расчетъ канализаціонной сѣти ведется на половинное заполненіе. Кромѣ того, количество сточныхъ водъ, поступающихъ

въ канализацію, подвержено значительнымъ колебаніямъ, и потому водостокъ, рассчитанный на максимальное количество жидкости при совершенномъ заполненіи, будетъ при меньшемъ ея поступленіи заполненъ только частью, и въ немъ будетъ имѣть мѣсто такъ называемое несовершенное заполненіе. Степень этого заполненія опредѣляется обыкновенно отношеніемъ глубины потока жидкости въ средней ея части къ полной внутренней высотѣ водостока въ той же части.

Такимъ образомъ въ практикѣ очень часто приходится рассчитывать водостоки при несовершенномъ ихъ заполненіи, а также опредѣлять глубину протока въ трубахъ. Здѣсь приходится различать два случая, именно половинное заполненіе и заполненіе произвольной степени. Задачи, относящіяся къ первому, легко сводятся къ совершенному заполненію на основаніи того соображенія, что при одномъ и томъ же діаметрѣ D и уклонѣ i въ водостокѣ при половинномъ заполненіи скорость v та же, какъ и при совершенномъ заполненіи, а расходъ въ два раза меньше. Задачи, касающіяся всякихъ вообще степеней заполненія, сводятся къ опредѣленію соотношенія между расходомъ и скоростью при совершенномъ заполненіи и расходомъ и скоростью при различныхъ степеняхъ заполненія.

Разсмотримъ этотъ вопросъ, для примѣра, въ отношеніи водостокъ круглаго сѣченія. Представимъ себѣ (черт. 4) водостокъ круглаго сѣченія діаметромъ D . Раздѣлимъ вертикальный діаметръ его на 10 равныхъ частей и проведемъ черезъ точки дѣленія горизонтальныя прямыя, представляющія поверхности протекающей по водостоку жидкости при соответствующихъ его заполненіяхъ. Вычисляя для каждой степени заполненія величину гидравлическаго радіуса ρ и задаваясь какимъ нибудь уклономъ i , опредѣлимъ расходъ Q .

Имѣя величину Q для совершеннаго заполненія и Q_1, Q_2 и $Q_3 \dots Q_9$ для заполненій отъ 0,1 до 0,9, можно построить кривую, показывающую, какъ при данномъ діаметрѣ и уклонѣ измѣняется Q съ измѣненіемъ заполненія. Для построения этой кривой примемъ Q за единицу и отложимъ его въ какомъ нибудь масштабѣ вправо отъ линіи АВ по горизонтальной линіи АС, соответствующей совершенному заполненію. Разъ мы приняли Q , отвѣчающее совершенному заполненію, за 1, то вмѣсто величинъ $Q_1, Q_2 \dots$, надо на линіяхъ, отвѣчающихъ другимъ заполненіямъ, отложить величины отношеній

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{Q_1}{Q}, \\ \alpha_2 &= \frac{Q_2}{Q}, \\ &\dots \end{aligned} \quad (19)$$

Полученныя путемъ отложенія точки соединимъ кривой линіей.

Если возьмемъ другой діаметръ D , и другой уклонъ i_1 , то получимъ другую кривую Q . Произведя построение для различныхъ D и i , мы можемъ убѣдиться, что всѣ кривыя Q настолько близко совпадаютъ одна съ другой, что для цѣлей практики можно принять одну общую кривую Q одинаковую для всѣхъ D и i .

Имѣя такую кривую измѣненія расходовъ въ зависимости отъ степени заполнения, легко по количеству Q , отвѣчающему совершенному заполненію водостока для данныхъ D и i найти Q для любого заполнения. Для этого надо только, опредѣливши величину α , соответствующую желаемому заполненію, умножить Q на α или раздѣлить его на $\frac{1}{\alpha}$.

Въ случаѣ рѣшенія задачъ, относящихся къ несовершенному заполненію, такой переходъ отъ расхода при совершенномъ заполненіи къ расходу при разныхъ степеняхъ заполнения можетъ производиться непосредственно по масштабу расходовъ. Въ самомъ дѣлѣ, равенства (19) можно представить въ видѣ

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{Q}{\frac{1}{\alpha_1}} \\ Q_2 &= \frac{Q}{\frac{1}{\alpha_2}} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (19')$$

Логарифмируя отдѣльные равенства (19'), получаемъ

$$\begin{aligned} \log Q_1 &= \log Q - \log \frac{1}{\alpha_1} \\ \log Q_2 &= \log Q - \log \frac{1}{\alpha_2} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (20)$$

Выраженіе $\frac{1}{\alpha_m}$ вводится потому, что $\log$ его для большинства случаевъ положителенъ. Уравненія (20) показываютъ, что для полученія по масштабу расходовъ діаграммы, величины расходовъ $Q_1, Q_2, \dots$ при разныхъ степеняхъ заполнения сѣченія, нужно отъ дѣленія, соответствующаго расходу Q при совершенномъ заполненіи, отступить въ сторону начала масштаба на длину, изображающую при модуль масштаба $\log \frac{1}{\alpha_1}, \log \frac{1}{\alpha_2}, \dots$, и чтеніе въ полученной точкѣ дастъ искомое значеніе расхода при несовершенномъ заполненіи.

Въ видахъ удобства такой операціи, можно нанести величины $\log \frac{1}{\alpha_1}, \log \frac{1}{\alpha_2}$ и т. д. въ масштабъ, принятомъ для величины Q , на

переходномъ масштабѣ, отдѣльномъ или общемъ съ другими переходными величинами (форма котораго будетъ дана далѣе), надписавъ противъ дѣленій соотвѣтствующія имъ степени заполнения.

Необходимыя для построения масштаба значенія α и $\frac{1}{\alpha}$ даны въ таблицѣ (стр. 16) въ примѣненіи къ круглому обыкновенному овоидальному и лотковому сѣченію (о двухъ центрахъ, при соотношеніи пролета и радіуса лотка, показанномъ на чертежѣ 5).

Кривая Q (черт. 4) показываетъ, что количество жидкости, протекающее по водостоку любого сѣченія при данномъ уклонѣ, будетъ наибольшимъ при степени заполнения приблизительно равной 0,9. Количество это больше, чѣмъ при совершенномъ заполненіи. При заполненіи около 0,8 расходъ одинаковъ съ расходомъ, отвѣчающимъ совершенному заполненію, а при низшихъ степеняхъ заполнения меньше этого послѣдняго. Поэтому на переходномъ масштабѣ отмѣтка заполнения 0,8 совпадетъ съ отмѣткой 1,0, отмѣтка 0,9 ляжетъ выше, остальные же ниже единицы. Понятно, что для степеней заполнения, при которыхъ $\alpha_m > 1$, $\log \frac{1}{\alpha_m}$ будетъ отрицательнъ, а потому приходится откладывать по масштабу скоростей величину $-\log \frac{1}{\alpha_m}$ въ сторону увеличенія дѣленій. При построении переходнаго масштаба, это происходитъ само собой. Имѣя такой масштабъ вырѣзаннымъ и накладывая его на діаграмму такъ, чтобы точка съ отмѣткою $\frac{H}{D} = 1,0 = 0,8$ совпадала съ точкою, отвѣчающею условіямъ совершеннаго заполнения, найдемъ Q_m для этого заполнения. Обратно по Q_m , i и D можно найти отвѣчающую ему степень заполнения $\frac{H}{D}$.

Скорость теченія v , какъ извѣстно, также измѣняется въ зависимости отъ степени заполнения, и при расчетѣ канализаций иногда приходится опредѣлять скорости при разныхъ степеняхъ заполнения. Такъ же, какъ и въ отношеніи расхода, вопросъ сводится здѣсь къ переходу отъ скорости при совершенномъ заполненіи къ скорости при различныхъ степеняхъ заполнения, на основаніи заранее опредѣленнаго отношенія между этими скоростями. Возьмемъ для примѣра опять круглое сѣченіе и примемъ по прежнему 10 степеней заполнения, соотвѣтствующія черт. 4. Опредѣляя для каждой степени заполнения при среднемъ значеніи діаметра и уклона скорости теченія $v_1, v_2 \dots$ и сравнивая ихъ со скоростью при совершенномъ заполненіи, мы получимъ отношенія

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{v_1}{v} \\ \beta &= \frac{v_2}{v} \\ &\dots \end{aligned} \quad (21)$$

которыя, подобно предыдущему, можно считать практически соотвѣствующими для всякихъ діаметровъ и уклоновъ. Откладывая величины $\beta_1, \beta_2 \dots$ на тѣхъ же линіяхъ, гдѣ $\alpha_1, \alpha_2 \dots$, мы получаемъ кривую, опредѣляющую измѣненіе скоростей въ зависимости отъ степени наполненія. Эта кривая даетъ возможность, по извѣстной скорости при совершенномъ заполненіи, опредѣлять скорости при разныхъ степеняхъ заполненія, на основаніи соотношенія

$$v_m = \beta_m v. \quad (21')$$

Для примѣненія того же способа въ діаграммѣ д'Оканя, беремъ логарифмы равенствъ типа (21') въ формѣ

$$\log v_m = \log v - \log \frac{1}{\beta}. \quad (22)$$

Уравненіе (22) показываетъ, что скорость теченія при любой степени наполненія v_m можетъ быть получена по масштабу скоростей діаграммы, если взять чтеніе на разстояніи, соотвѣтствующемъ $\log \frac{1}{\beta_m}$, въ сторону начала масштаба отъ дѣленія, опредѣляющаго скорость v при совершенномъ заполненіи.

Удобнѣе всего и здѣсь величины $\log \frac{1}{\beta_1}, \log \frac{1}{\beta_2} \dots$ нанести на переходный масштабъ. Необходимыя для этого значенія β и $\frac{1}{\beta}$ даны также въ таблицѣ, въ примѣненіи къ сѣченіямъ трехъ типовъ. Примѣненіе масштаба во всемъ сходно съ примѣненіемъ выше упомянутаго переходнаго масштаба для расходовъ.

По виду кривой измѣненія скоростей при разныхъ степеняхъ наполненія можно заключить, что наибольшая скорость получается примѣрно при $\frac{H}{D} = 0,8$; при степени наполненія 0,5 скорость такая же, какъ и при совершенномъ заполненіи, при $\frac{H}{D}$ большемъ 0,5 она больше, а при $\frac{H}{D}$ меньшемъ 0,5 меньше, чѣмъ при совершенномъ заполненіи. Этому будетъ соотвѣтствовать и размѣщеніе дѣленій на переходномъ масштабѣ относительно $\frac{H}{D} = 1,0$.

Способъ переходныхъ масштабовъ, представляющій удобное средство для перехода въ діаграммахъ, построенныхъ по методу д'Оканя, къ новымъ степенямъ шероховатости и инымъ степенямъ наполненія, даетъ возможность расширить область примѣненія каждой діаграммы еще въ другомъ направленіи. Онъ позволяетъ, въ случаѣ нужды, пользоваться діаграммами, составленными въ примѣненіи къ одному виду сѣченій, напримѣръ, къ сѣченіямъ круговымъ, для расчета сѣченій другой формы.

ТАБЛИЦА

значеній α , $\frac{1}{\alpha}$, β , $\frac{1}{\beta}$ для разныхъ степеней заполнения.

Степень заполнения.		1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Круглое сѣченіе.	α	1	1,07	1	0,85	0,67	0,5	0,33	0,19	0,09	0,02
	$\log \frac{1}{\alpha}$	0	-0,03	0	0,07	0,17	0,3	0,48	0,72	1,05	1,7
	β	1	1,14	1,15	1,13	1,08	1	0,9	0,77	0,59	0,35
	$\log \frac{1}{\beta}$	0	-0,05	-0,06	-0,05	-0,03	0	0,05	0,11	0,23	0,46
Овоидаль- ное сѣче- ніе.	α	1	1,05	0,9	0,75	0,58	0,42	0,26	0,15	0,07	0,02
	$\log \frac{1}{\alpha}$	0	-0,02	0,05	0,13	0,24	0,38	0,59	0,82	1,2	1,7
	β	1	1,12	1,12	1,08	1,03	0,94	0,85	0,75	0,61	0,41
	$\log \frac{1}{\beta}$	0	-0,05	-0,05	-0,03	-0,01	0,03	0,07	0,13	0,23	0,39
Лотковое сѣченіе.	α	1	1,07	1	0,88	0,7	0,52	0,35	0,19	0,07	0,01
	$\log \frac{1}{\alpha}$	0	-0,03	0	0,06	0,16	0,3	0,46	0,72	1,16	2
	β	1	1,15	1,16	1,13	1,07	1	0,89	0,73	0,52	0,28
	$\log \frac{1}{\beta}$	0	-0,06	-0,06	-0,05	0,03	0	0,05	0,14	0,29	0,45

Нужно оговориться въ самомъ началѣ, что указываемый здѣсь искусственный расчетъ сѣченій одной формы по діаграммамъ другой, конечно, можно рекомендовать только для спорадическихъ случаевъ. Какъ ни простъ предлагаемый способъ въ принципѣ, онъ всетаки осложняетъ чтеніе, требуетъ значительной затраты вниманія и легко можетъ дать поводъ къ ошибкамъ. Такимъ образомъ, въ случаѣ необходимости рѣшенія цѣлаго ряда задачъ, относящихся къ сѣченію новаго типа, предпочтительно построить специальную діаграмму для этого типа сѣченій. Далѣе ясно, что вопросъ о примѣненіи къ расчету трубопроводовъ произвольнаго сѣченія можетъ возникать только въ отношеніи діаграммъ съ четырьмя масштабами, такъ какъ, на примѣръ, въ полной діаграммѣ Фламанъ Бертрана часть дополнительныхъ масштабовъ по существу относится только къ напорнымъ трубопроводамъ, да и сложность самой діаграммы дѣлаетъ практически неудобнымъ введеніе еще дополнительныхъ манипуляцій.

Что касается діаграммъ съ четырьмя масштабами, какъ діаграмма формулы Леви-Валло и діаграмма формулы Фламана, составленная Даріэсомъ, то онѣ допускаютъ примѣненіе къ расчету трубопрово-

довъ какого угодно сѣченія при помощи способа переходныхъ масштабовъ, причемъ дѣло сводится къ переходу къ эквивалентной діаграммѣ, построенной на основѣ гидравлическаго радіуса.

Разсмотримъ съ точки зрѣнія интересующаго насъ вопроса, на примѣръ, діаграмму Фламанъ-Даріэса.

Основное уравненіе, представляемое графически въ формѣ этой діаграммы, имѣетъ общій видъ

$$D^{\alpha} i = a v^{\beta}. \quad (23)$$

Для перехода къ графическому изображенію, оно было обращено въ логарифмическую форму

$$\alpha \log D - \log a = \beta \log v - \log i. \quad (23')$$

Уравненіе (23) можетъ быть представлено, съ введеніемъ вмѣсто величины D гидравлическаго радіуса ρ , въ видѣ

$$\rho^{\alpha} i = b v^{\beta}. \quad (24)$$

гдѣ

$$b = \frac{a}{4^{\alpha}}. \quad (25)$$

Если бы мы захотѣли представить уравненіе (24) въ той же графической формѣ, какъ и уравненіе (23), то логарифмируя (24), мы получаемъ

$$\alpha \log \rho - \log a + \log 4^{\alpha} = \beta \log v - \log i. \quad (24')$$

Сравнивая уравненія (23') и (24'), мы видимъ, что при построении, на основаніи (24'), діаграммы сопряженныхъ масштабовъ, включающей ρ вмѣсто D , изъ трехъ масштабовъ діаграммы масштабы скорости v и уклоновъ i должны имѣть то же положеніе и тотъ же модуль, какъ и существующая діаграмма. Что касается масштаба гидравлическихъ радіусовъ ρ , то разстояніе его отъ другихъ масштабовъ, а также модуль, а слѣдовательно и градуація, останутся тѣ же, что для масштаба D , но весь масштабъ передвинется въ сторону, противоположную началу, на длину, изображающую $\log 4^{\alpha}$.

Въ самомъ дѣлѣ, возьмемъ схему діаграммы сопряженныхъ масштабовъ D , i и v (черт. 6) и обозначимъ черезъ O точку, отъ которой откладываются масштабы функций $(\alpha \log D - \log a)$ и $(\alpha \log \rho - \log a + \log 4^{\alpha})$, черезъ $D - \rho$ произвольную точку оси масштабовъ, значеніе которой по масштабу діаметровъ D , а по масштабу гидравлическихъ радіусовъ ρ , и черезъ A и A_1 единичныя (т. е. соотвѣтствующія единицѣ того порядка, къ которому относятся величины D и ρ) точки масштабовъ. Тогда, на построенію, для точки D

$$OD = \alpha \log D - \log a,$$



а для единичной точки А

$$OA = \alpha \log 10^n - \log a = n\alpha - \log a,$$

для точки ρ , совпадающей съ D,

$$O\rho = \alpha \log \rho - \log a + \log 4^\alpha,$$

для единичной точки A_1

$$OA_1 = n\alpha - \log a + \log 4^\alpha.$$

Такимъ образомъ разстояние между единичными точками масштабовъ D и ρ будетъ

$$AA_1 = OA_1 - OA = \log 4^\alpha, \quad (25)$$

т. е. единичная точка масштаба ρ , а съ ней вмѣстѣ и другія, передвинуты, по сравненію съ соотвѣтственными точками масштаба D, на длину въ 4^α въ положительную, т. е. противоположную началу, сторону.

Указанная связь между масштабами гидравлическихъ радіусовъ и масштабами діаметровъ даетъ возможность, по даннымъ значеніямъ v и i , опредѣлять, при отсутствіи масштаба ρ , величины гидравлическихъ радіусовъ по масштабу D. Для этого нужно только искомое значеніе читать по масштабу не въ точкѣ встрѣчи съ нимъ пересѣкающей линіи, а ближе къ началу масштаба на длину, соотвѣтствующую $\log 4^\alpha = \alpha \log 4$. Въ видахъ удобства эта длина можетъ быть также нанесена на переходный масштабъ.

Такъ какъ уравненіе (24) правильно для всякой формы сѣченія, то выведенная нами связь между масштабами діаметровъ и гидравлическихъ радіусовъ и способъ перехода отъ D къ ρ годится для перехода къ гидравлическому радіусу сѣченія какой угодно формы *въ діаграммѣ круглаго сѣченія*. Если бы мы имѣли діаграмму для сѣченія другой формы, то она могла бы быть использована для перехода отъ ея параметра, пролета D или высоты H, къ гидравлическому радіусу всякихъ сѣченій, аналогичнымъ образомъ, путемъ введенія иныхъ величинъ вмѣстѣ $\log 4^\alpha$. Эти величины легко опредѣляются для каждаго типа сѣченій. Такъ, напримѣръ, для діаграммы обыкновеннаго овоидальнаго сѣченія при параметрѣ D (пролетъ) мы имѣемъ

$$\begin{aligned} \Omega &= 1,148 D^2 \\ P &= 3,965 D \\ \rho &= 0,2896 D. \end{aligned} \quad (26)$$

Слѣдовательно, вмѣсто $\alpha \log 4$, пришлось бы взять $\alpha \log \left(\frac{1}{0,2896} \right)$.

Возможно, конечно, также нанесеніе дѣленій масштаба гидравлическихъ радіусовъ на оси масштаба D съ другой стороны, если она не предназначена для дѣленій, соотвѣтствующихъ другому коэффициенту шероховатости.

До сихъ поръ мы, при обсужденіи вопроса о расчетѣ при посредствѣ діаграммы Фламанъ-Бертрава сѣченій произвольной формы, принимали во вниманіе только три масштаба діаграммы i , D и v . Введеніе въ расчетъ расхода Q и пользованіе масштабомъ расходовъ также возможно въ примѣненіи къ такому расчету.

Начнемъ разсмотрѣніе вопроса опять съ основного уравненія діаграммы Фламанъ-Бертрава

$$D^\alpha i = av^\beta. \quad (23)$$

Это уравненіе можетъ быть преобразовано, путемъ введенія вмѣсто скорости v ея выраженія въ зависимости отъ Q и D

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}. \quad (10)$$

Тогда получится

$$D^\alpha + 2\beta i = a \left(\frac{4}{\pi} \right)^\beta Q^\beta. \quad (27)$$

Какъ бы ни былъ построенъ масштабъ расходовъ Q , система трехъ масштабовъ діаграммы D , i и Q представляетъ самостоятельную діаграмму, которая является графическимъ представленіемъ уравненія (27) и можетъ быть получена изъ него обычнымъ способомъ построенія, послѣ приведенія къ логарифмической формѣ

$$(\alpha + 2\beta) \log D - \log a = \beta \log Q + \log \left(\frac{4}{\pi} \right)^\beta - \log i. \quad (27')$$

Если бы мы захотѣли построить діаграмму, представляющую зависимость между ρ , i и Q , то мы должны начать съ уравненія

$$\rho^\alpha i = b v^\beta, \quad (24)$$

гдѣ

$$n = \frac{a}{4^\alpha}. \quad (25)$$

Подставимъ въ уравненіе (24) выраженіе

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{Q}{4\pi\rho^2}. \quad (10')$$

Это послѣднее имѣетъ значеніе только для круглаго сѣченія. Слѣдовательно, способъ перехода отъ масштаба расходовъ діаграммы для круглыхъ трубопроводовъ при параметрѣ D къ масштабу расходовъ при параметрѣ ρ , который мы получимъ, исходя изъ (10'), будетъ пригоденъ только для расчета круглыхъ сѣченій.

Итакъ, изъ (24) и (10') получаемъ:

$$\rho^\alpha + 2\beta i = b \left(\frac{1}{4\pi} \right)^\beta Q^\beta, \quad (28)$$

или, принимая во вниманіе (25"),

$$\rho^\alpha + 2\beta i = \frac{a}{4^\alpha} \left(\frac{1}{4\pi} \right)^\beta Q^\beta. \quad (28')$$

Чтобы представить это соотношение въ графической формѣ, мы должны его логарифмировать, причемъ получается

$$(\alpha + 2\beta) \log p - \log a + \log 4^\alpha = \beta \log Q + \log \left(\frac{1}{4\pi} \right)^\beta - \log i. \quad (28'')$$

Сравнивая уравненіе (28'') съ (27'), мы видимъ, что если бы мы стали строить діаграмму по уравненію (28''), то она совпала бы съ имѣющейсѣ діаграммой, отвѣчающей (27'), въ отношеніи взаимнаго расположенія масштабовъ. Далѣе, градуація масштаба уклоновъ остается безъ перемѣны, а градуація масштаба диаметровъ и способъ чтенія по нему измѣняются соотвѣтственно переходу къ параметру p , во всемъ согласно предыдущему, что вполне естественно. Что касается масштаба расходовъ Q , то здѣсь приходится откладывать, при прежнемъ модулѣ, вмѣсто функціи $\beta \log Q + \log \left(\frac{4}{\pi} \right)^\beta$, функцію $\beta \log Q + \log \left(\frac{1}{4\pi} \right)^\beta$. Не трудно видѣть, по примѣру предшествующаго, что это значить. Градуація масштаба расходовъ остается неизмѣнной, но значеніе всѣхъ дѣленій измѣняется такимъ образомъ, какъ будто весь масштабъ передвинутъ въ сторону возрастанія Q на длину, соотвѣтствующую величинѣ $\log \left(\frac{1}{4\pi} \right)^\beta - \log \left(\frac{4}{\pi} \right)^\beta$, которая равна

$$\log \left(\frac{1}{4\pi} \right)^\beta - \log \left(\frac{4}{\pi} \right)^\beta = \beta \log \frac{1}{16}. \quad (29)$$

Такъ какъ значеніе разности $\log$ оказалось отрицательнымъ, то упомянутое перемѣщеніе въ дѣйствительности происходитъ въ направленіи къ началу.

Такимъ образомъ, чтобы получить по масштабу Q данной діаграммы значеніе Q , соотвѣтствующее діаграммѣ съ параметромъ p , для круглаго сѣченія, нужно взять чтеніе не въ точкѣ встрѣчи масштаба Q съ пересѣкающей линіей, а на длину $-\beta \log \frac{1}{16}$ въ сторону возрастанія значеній Q . Это разстояніе, въ видахъ удобства, можетъ быть нанесено на переходный масштабъ, который долженъ быть, по возможности, общій для всѣхъ переходныхъ величинъ, какъ уже упомянутыхъ, такъ и послѣдующихъ.

Совершенно аналогичнымъ образомъ можно доказать, что при помощи діаграммы съ параметромъ D для круглыхъ сѣченій возможно рѣшеніе задачъ, включающихъ расходъ Q , въ отношеніи какихъ угодно сѣченій, при помощи того же способа. Разница будетъ только въ числовыхъ величинахъ разницы логарифмовъ (29) и соотвѣтственныхъ длинахъ переходнаго масштаба.

Въ самомъ дѣлѣ, будемъ разсматривать съ этой точки зрѣнія параллельно три формы сѣченія:

1) круглое діаметра D ;

2) обыкновенное овоидальное съ пролетомъ D и высотой $H = \frac{3D}{2}$ (черт. 5), за параметръ котораго примемъ пролетъ D^1);

3) лотковое сѣченіе о двухъ центрахъ съ пролетомъ и радіусомъ лотка $= D$ (черт. 5), который также примемъ за параметръ.

Для всѣхъ этихъ сѣченій имѣютъ мѣсто слѣдующія соотношенія въ общемъ видѣ:

$$\rho = \frac{D}{m}, \quad (30)$$

$$D = m \rho, \quad (31)$$

$$Q = \rho D^2 v, \quad (32)$$

$$v = \frac{1}{\rho} \frac{Q}{D^2}, \quad (32)$$

$$v = \frac{1}{m^2 \rho} \frac{Q}{\rho^2}. \quad (33)$$

При этомъ для разныхъ формъ сѣченія величины m и ρ имѣютъ слѣдующія числовыя значенія:

1) круглое сѣченіе:

$$m = 4,$$

$$\rho = \frac{\pi}{4},$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{4}{\pi},$$

$$\frac{1}{m^2 \rho} = \frac{1}{4\pi};$$

2) овоидальное сѣченіе:

$$m = 3,453,$$

$$\rho = 1,148;$$

3) лотковое сѣченіе:

$$m = 5,464,$$

$$\rho = 0,48;$$

Вставимъ въ выраженіе (29) вмѣсто $\frac{1}{4\pi}$ и $\frac{4}{\pi}$ соотвѣтствующія имъ общія выраженія, относящіяся къ сѣченіямъ всѣхъ трехъ типовъ, т. е. $\frac{1}{m^2 \rho}$ и $\frac{1}{\rho}$. Тогда получаемъ общее выраженіе, замѣняющее (29):

$$\log \left(\frac{1}{m^2 \rho} \right)^\beta - \log \left(\frac{1}{\rho} \right)^\beta = 2\beta \log \frac{1}{m}. \quad (34)$$

1) Ср. Ясюковичъ. Расчетъ водостокѣвъ съ помощью логарифмо-графическихъ таблицъ.

Такимъ образомъ длина переходнаго масштаба для чтенія на данной діаграммѣ значенія Q при параметрѣ p должна соответствовать:

- 1) для овоидальнаго сѣченія $3,5 \log 0,2896$;
- 2) для лотковаго сѣченія $3,5 \log 0,183$.

Всѣ вышеизложенныя разсужденія, относившіяся къ діаграммѣ Фламанъ-Бертрана съ четырьмя сопряженными масштабами, приложимы также и къ аналогичной ей діаграммѣ Леви-Даріэса.

Изъ предшествующаго мы видимъ, что съ одной только діаграммой сопряженныхъ масштабовъ для водоводовъ круглаго сѣченія можно рѣшать задачи, относящіяся не только къ круглымъ, но и къ какимъ угодно правильнымъ сѣченіямъ, въ которыхъ существуетъ зависимость площади и гидравлическаго радіуса отъ того или другого параметра, въ формѣ:

$$\begin{aligned} p &= m, D \\ \Omega &= p D^2, \end{aligned} \quad (35)$$

гдѣ D — параметръ.

Такая діаграмма, общая для всѣхъ сѣченій, будетъ состоять изъ слѣдующихъ элементовъ:

- 1) масштабъ расходовъ Q (можно двойной, для секундъ и минутъ);
- 2) масштабъ діаметровъ D (можно для двухъ степеней шероховатости);
- 3) масштабъ уклоновъ i ;
- 4) масштабъ скоростей v ;
- 5) переходный масштабъ, полный составъ котораго будетъ определенъ далѣе.

Но такая общая діаграмма, какъ выше было указано, можетъ считаться удобной для расчета сѣченій иныхъ формъ, кромѣ круглой, только при небольшомъ одновременномъ количествѣ такихъ расчетовъ, такъ какъ нѣкоторое осложненіе, вносимое въ работу примѣненіемъ переходнаго масштаба, парализуетъ главное достоинство діаграммъ сопряженныхъ масштабовъ—простоту операцій. Поэтому для систематическихъ расчетовъ различныхъ сѣченій гораздо удобнѣе примѣненіе нѣсколькихъ діаграммъ, составленныхъ спеціально для каждаго типа сѣченія. Составъ этихъ діаграммъ такой же, какъ указано, но составъ переходнаго масштаба можетъ быть соответственнo сокращенъ. Для расчета водоснабженія и канализаціи достаточно имѣть на примѣръ, діаграммы для слѣдующихъ наиболѣе употребительныхъ, типовъ поперечныхъ сѣченій: круглаго, овоидальнаго (одного или двухъ), лотковаго (одного или двухъ) и круглаго съ лоткомъ наднѣ¹⁾.

¹⁾ Благодаря нѣкоторой спѣшности въ окончаніи настоящаго выпуска, не оказалось возможности закончить начатыхъ обработкой діаграммъ сопряженныхъ масштабовъ для указанныхъ типовъ сѣченій, въ примѣненіи къ формулѣ Лампе. Эти діаграммы предполагается дать впослѣдствіи.

Зная теперь всѣ случаи и задачи, для которыхъ можетъ служить рекомендуемый нами переходный масштабъ, мы остановимся, наконецъ, на его составѣ и формѣ. Составъ такого масштаба зависитъ отъ состава основныхъ діаграммъ. Мы будемъ разсматривать переходный масштабъ въ наиболѣе сложной его формѣ, т. е. масштабъ, предназначенный для перехода отъ одной діаграммы для опредѣленной формы сѣченія, (именно круглой, что по преимуществу возможно на практикѣ) при одной степени шероховатости и совершенномъ наполненіи, къ другимъ формамъ сѣченія, коэффициентамъ шероховатости и степенямъ наполненія. Такимъ могъ бы быть, напримѣръ, переходный масштабъ къ діаграммѣ сопряженныхъ масштабовъ Фламанъ-Даріэса о четырехъ масштабахъ, который мы и построимъ.

Резюмируя, на основаніи предшествующаго, всѣ случаи примѣненія переходнаго масштаба, мы видимъ, что онъ долженъ давать слѣдующія разстоянія:

1) Разстоянія, служація для перехода отъ коэффициента шероховатости, при которомъ построена діаграмма, къ расчету при иныхъ коэффициентахъ шероховатости; они соотвѣтствуютъ $(\log a_m - \log a)$ при модуль масштаба діаметровъ, гдѣ

a — основной коэффициентъ шероховатости;

a_m — общее обозначеніе другихъ коэффициентовъ шероховатости, переходъ къ которымъ можетъ потребоваться.

2) Разстояніе, служащее для перехода отъ расчета съ параметромъ D и системы масштабовъ v, i, D къ параметру ρ , т. е. къ діаграммѣ v, i, ρ , которое соотвѣтствуетъ величинѣ $\alpha \log 4$, отложенной при модуль масштаба діаметровъ.

3) Разстоянія, служація для перехода отъ скорости v при совершенномъ заполненіи къ скоростямъ $v_1, v_2 \dots$ при разныхъ степеняхъ наполненія, которыя представляютъ величины $\log \frac{1}{\alpha_1}, \log \frac{1}{\alpha_2} \dots$, отложенныя при модуль масштаба скоростей.

4) Разстоянія, служація для перехода отъ расхода Q при совершенномъ заполненіи къ расходамъ при другихъ степеняхъ наполненія $Q_1, Q_2 \dots$, которое соотвѣтствуетъ величинамъ $\log \frac{1}{\beta_1}, \log \frac{1}{\beta_2} \dots$ при модуль масштаба расходовъ.

Эти четыре элемента переходнаго масштаба являются наиболѣе важными. Къ нимъ могутъ быть присоединены также:

5) Разстоянія, для опредѣленія по гидравлическимъ радіусамъ параметровъ сѣченій иной формы, кромѣ круглой, т. е. пролета D или высоты H ; оно представляетъ величину $\alpha \log \frac{1}{\lambda}$ при модуль

масштаба діаметровъ, гдѣ

$$\lambda = \frac{\rho}{D}, \quad (36)$$

или

$$\lambda = \frac{\rho}{H}, \quad (37)$$

въ зависимости отъ того, что принимается за параметръ той или другой формы сѣченія;

б) Разстоянія, для перехода отъ расчета расходовъ при параметрѣ D къ расчету расходовъ при параметрѣ ρ для различныхъ формъ сѣченій; оно соотвѣтствуетъ величинѣ $2\beta \log \frac{1}{\lambda}$ при модуль масштаба расходовъ.

Чертежъ 7 представляетъ переходный масштабъ, составленный нами, въ видѣ примѣра, для діаграммы сопряженныхъ масштабовъ Фламанъ-Бертрана.

Онъ состоитъ изъ двухъ скалъ. На лѣвой скалѣ отъ точки D внизъ отложено прежде всего разстояніе для перехода отъ коэффициента шероховатости $a = 0,00092$ къ $a_1 = 0,00074$. Это разстояніе при модуль масштаба діаметровъ діаграммы, представленной на чертежѣ 3, оказывается равнымъ 4,3 мм. и конецъ его помѣченъ буквой D' .

Далѣе отъ той же точки D отложено внизъ разстояніе для перехода отъ масштаба діаметровъ къ масштабу гидравлическихъ радіусовъ. Длина его равна въ данномъ случаѣ 33,9 мм. и конецъ обозначенъ буквой ρ .

Отъ этой послѣдней точки вверхъ отложены разстоянія для перехода отъ гидравлическаго радіуса къ пролету (D_1) и высотѣ (H_1) обыкновеннаго овоидальнаго сѣченія и къ пролету (D_2) лотковаго сѣченія о двухъ центрахъ.

Черта, соотвѣтствующая ρ , обозначена также буквой v и служитъ началомъ разстояній для перехода отъ скорости при совершенномъ заполненіи къ скоростямъ при степеняхъ заполнения 0,1, 0,2 , причемъ концы такихъ разстояній обозначены соотвѣтственно цифрами 1, 2, 3

На правой скалѣ масштаба отъ начальной черты, обозначенной буквой Q , отложены вверхъ и внизъ разстоянія для перехода отъ расхода при совершенномъ заполненіи къ расходамъ при степеняхъ заполнения 0,1—0,9, концы которыхъ обозначены цифрами 1—9 и, въ видахъ наглядности, соединены съ дѣленіями для скоростей при соотвѣтственныхъ степеняхъ заполнения.

Наконецъ, на той же скалѣ отъ черты Q вверхъ отложены разстоянія для перехода отъ расчета расходовъ при параметрѣ D къ расчету при параметрѣ ρ для сѣченій круглаго и обыкновеннаго овои-

дальнаго, причемъ концы ихъ обозначены соотвѣтственно буквами Q^p и Q_1^p .

Примѣненіе такого переходнаго масштаба извѣстно изъ предшествующаго. Пользоваться имъ можно при помощи циркуля или, еще лучше, наклеивши на картонъ и прикладывая каждый разъ къ соотвѣтственному масштабу діаграммы.

1912 г.

ЛИТЕРАТУРА.

Bechmann. Salubrité urbaine. II. Assainissement. 1899.

Брублевскій. Графическій способъ расчета водостоковъ (Изв. Общ. Гражд. Инженеровъ, 1907).

Dariès. Calcul des conduites d'eau. 1900.

Кашкаровъ Н. А. Расчетъ трубопроводовъ графическимъ способомъ Бертрана. 1907.

Lalanne. Mémoire sur les tables graphiques et sur la géometrie anamorphose appliquée à diverses questions qui se rattachent à l'art de l'ingénieur (Annales des Ponts et Chaussées, 1846).

Николинъ Я. И. Формулы логарифмическаго вида для расчета водопроводовъ. 1910.

Николинъ Я. И. Графическіе методы расчета водоснабженія и канализации. Вып. I. Теорія и примѣненія способа сопряженныхъ масштабовъ. 1911.

Томе. Вып. II. Классификація и теоретическія предпосылки номографическихъ способовъ расчета водопроводовъ. 1913.

D'Ocagne. Nomographie. 1891.

D'Ocagne. Traité de Nomographie. 1899.

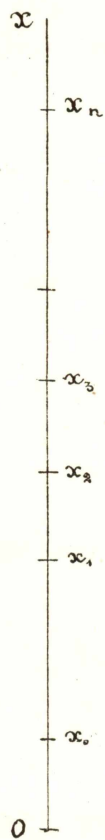
D'Ocagne. Exposé synthétique des principes fondamentaux de la Nomographie. 1903.

Schilling. Ueber die Nomographie de M. d'Ocagne.

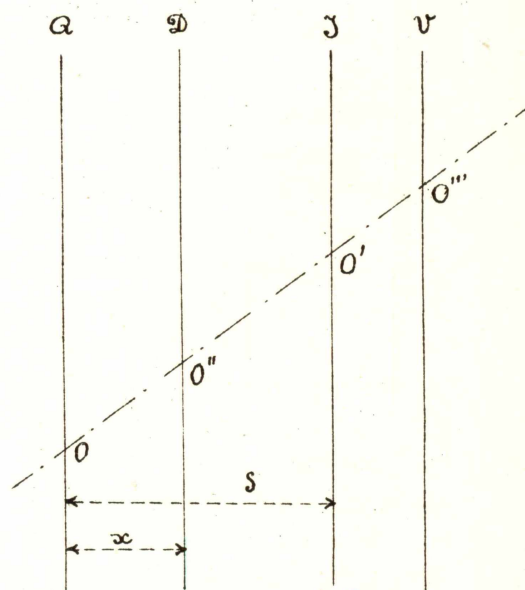
Черепашинскій М. М. Водоснабженіе городовъ. 1905.

Ясюковичъ М. Расчетъ водостоковъ съ помощью логарифмо-графическихъ таблицъ. 1906.

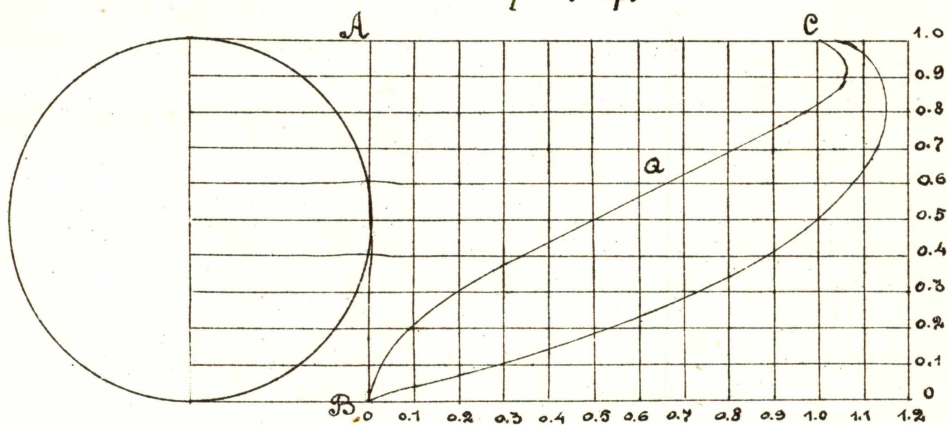
Черт. 1.



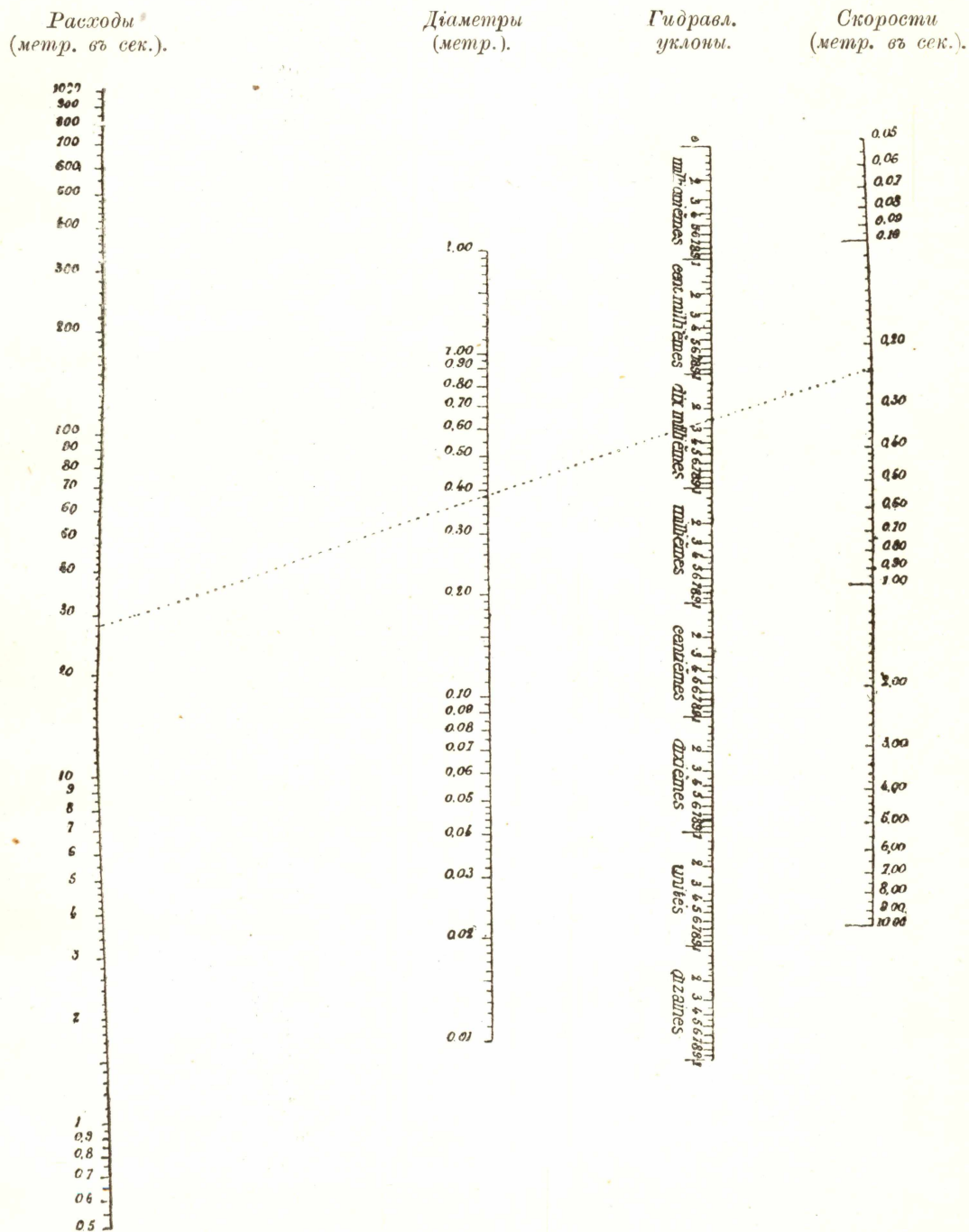
Черт. 2.



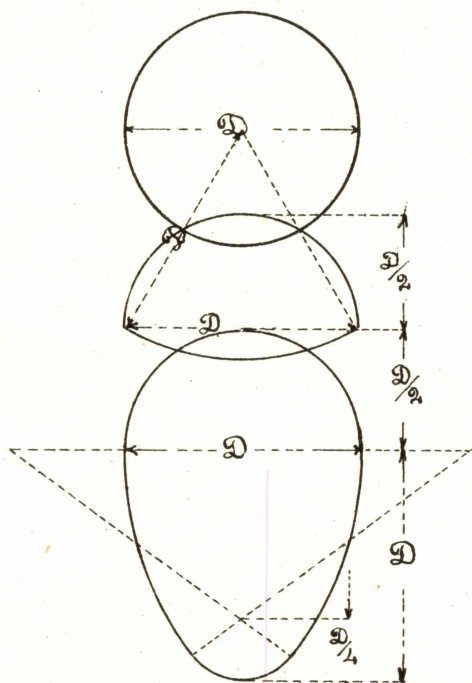
Черт. 4.



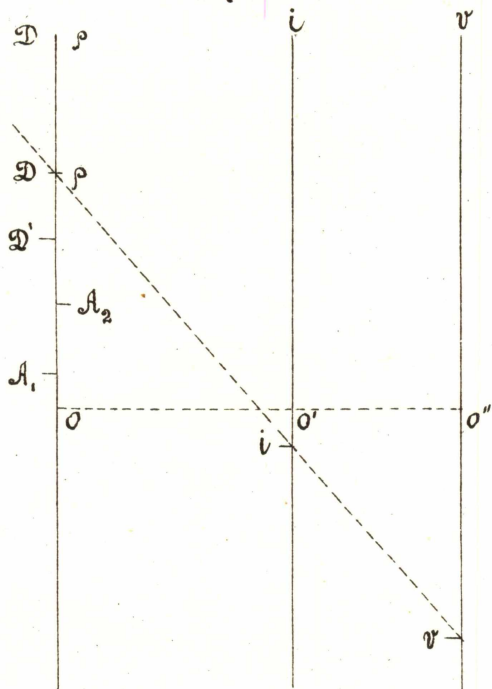
Черт. 3. Диаграмма Даріэса (сокращенная Бертрана)
для расчета водопроводных труб (формула
Фламана).



Черт. 5.



Черт. 6.



Черт. 7.

