Я. И. Николинъ.

Профессоръ Томскаго Технологическаго Института Императора Николая II.

ПЕРЕХОДНЫЙ МАСШТАБЪ

ВЪ ПРИМѢНЕНІИ

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 прямолинейнаго 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

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

Къ нимъ же сводятся уравненія вида

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

путемъ логарифмированія обѣихъ частей и обращенія въ форму

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

[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 перемѣнныхъ въ уравненіи) логарифмическихъ масштабовъ, расположенныхъ параллельно другъ другу и находящихся въ такой взаимной связи, что всякая прямая, пересѣкающая эти масштабы, встрѣчаетъ ихъ въ точкахъ съ такими числовыми значеніями перемѣнныхъ, которыя при одновременной подстановкѣ удовлетворяютъ уравненію, представляемому діаграммой.

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

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

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

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

Если масштабъ функціи долженъ быть ограниченъ двумя частными значеніями перемѣнной, 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, $x_3 \ldots$, нужно нанести на оси, начиная отъ произвольно выбранной точки съ отмѣткой x_0, отрѣзки

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

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 построенія, *нормальный* масштабъ. Въ зависимости отъ задачъ, подлежащихъ графическому рѣшенію, иногда приходится примѣнять построеніе къ инымъ функціямъ, и тогда получаются масштабы функцій другого характера, напр., *логарифмическіе*, *сегментные*, *изоградные*.

Изъ разныхъ масштабовъ, которые получаются въ результатѣ построенія функцій, наиболѣе важное значеніе имѣетъ *логарифмическій* масштабъ. Если въ равенствахъ (4) примемъ

$$f(x) = \log x, \tag{6}$$

и примѣнимъ къ этому случаю указанный выше методъ построенія, тогда получается логарифмическій масштабъ функціи.

Для построенія діаграммы д'Оканя, представляющей уравненіе

$$f_1(x) + f_2(y) = f_3(z), \tag{1}$$

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

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

гдѣ x' и y' — разстоянія точекъ градуаціи масштабовъ отъ точекъ A и B. Далѣе на линіи AB выбирается точка C, дѣлящая разстояніе между точками A и B на части AC и CB, пропорціональныя взятымъ модулямъ масштабовъ λ_1 и λ_2, т. е. на основаніи пропорціи

$$AC : CB = \lambda_1 : \lambda_2. \tag{7'}$$

Черезъ точку C проводятъ прямую, параллельную AX и BY, которую принимаютъ за ось масштаба функціи $f_3(z)$. Модуль масштаба этой функціи λ_3 опредѣляется на основаніи равенства

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}, \tag{8}$$

или иначе

$$\frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}. \tag{8'}$$

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

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

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

$$D^{5/4}\, i = a v^{7/4} \tag{9}$$

или

$$D^5 i^4 = a^4 v^7, \tag{9'}$$

гдѣ D — діаметръ трубы,

i — гидравлическій уклонъ,

v — скорость,

a — коеффиціентъ шероховатости.

Для коеффиціента 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

$$f_1(x)\,.\,f_2(y) = f_3(z) \tag{2}$$

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, пужно преобразовать формулу

$$D^5 i^4 = a^4 v^7 \tag{9'}$$

на основаніи соотношенія

$$v = \frac{4\ Q}{\pi\ D^2}\,. \tag{10}$$

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

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

Примѣняя логарифмированіе къ формулѣ (11), получаемъ:

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

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 множить всѣ log на $\frac{7}{19}$ и $\frac{4}{19}$, или измѣнить масштабъ 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 итти въ разныя стороны. Это нужно имѣть въ виду при выборѣ начальныхъ точекъ, отъ которыхъ откладываются дѣленія. Въ данномъ случаѣ удобнѣе помѣстить, примѣрно по срединѣ діаграммы, дѣленія 0 и 0′, 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′)

$$\frac{x}{s-x} = \frac{19}{7} : \frac{19}{4} = 4 : 7, \tag{13}$$

откуда

$$x = \frac{4}{11}s. \tag{13'}$$

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

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{19}{11}\lambda, \tag{14}$$

гдѣ λ, по прежнему, модуль логарифмической линейки.

Для нанесенія дѣленій на масштабѣ 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:

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

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 дѣленій масштаба скоростей, на основаніи положенія масштабовъ Q и D, можно было бы поступить такимъ же образомъ, исходя изъ соотношенія

$$v = \frac{4\,Q}{\pi\,D^2}, \tag{10}$$

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 соотвѣтственныя пересѣкающія прямыя 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 большемъ, 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

$$x = \frac{12}{19} l. \tag{16}$$

Величина x принята равной 70 мм. Поэтому

$$l = \frac{70.19}{12} = 110{,}8 \text{ мм.}$$

Модуль масштаба гидравлическихъ уклоновъ взятъ такимъ образомъ, что единицѣ логарифмовъ соотвѣтствуетъ 20 мм. Масштабъ расходовъ, какъ сказано, въ 3 раза круппѣе, т. е. 60 мм. за единицу логарифмовъ. Исходя изъ такого соотношенія, на размѣщенныхъ 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, находятся 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 сѣкущія 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.

Помимо 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 номографическихъ способовъ расчета водопроводовъ“.

Указанный недостатокъ, суживающій область примѣненія діаграммъ д'Оканя, не является, однако неустранимымъ. Прежде всего возможно, разумѣется, построеніе 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 коеффиціентами шероховатости, для овоидальныхъ сѣченій при наполненіи до пятъ сводовъ, и для другихъ употребительныхъ типовъ сѣченій, при соотвѣтственныхъ степеняхъ наполненія и шероховатости. Построеніе 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 готовыя 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 заполненія 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 заполненія, 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 касается діаграммы Фламанъ-Бертрана, то, теоретически говоря, она вполнѣ допускаетъ примѣненіе даннаго способа. Однако значительная сложность самой діаграммы дѣлаетъ практически трудно допустимымъ примѣненіе къ ней еще дополнительныхъ операцій, 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 коеффиціентамъ шероховатости, мы должны оговориться, что, практически говоря, вопросъ о примѣненіи къ этой діаграммѣ другихъ коеффиціентовъ шероховатости не имѣетъ значенія, такъ какъ эти коеффиціенты не выработаны для самой формулы (не считая коеффиціента 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 коеффиціентовъ шероховатости.

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

$$D^{\alpha}\, i = a_1\, v^{\beta}. \tag{17}$$

Для представленія ея въ графическомъ видѣ, формула логарифмируется

$$\alpha \log D - \log a_1 = \beta \log v - \log i, \tag{17'}$$

и затѣмъ строится, по извѣстнымъ правиламъ, въ видѣ масштабовъ функціи $(\alpha \log D - \log a_1)$, $\beta \log v$ и $\log i$. При такомъ способѣ построенія ясно, что переходъ отъ коеффиціента 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 функціи $(\alpha \log D - \log a_1)$ откладывается отъ прежней начальной точки и при томъ же модулѣ функція $(\alpha \log D - - \log a_2)$. Не трудно видѣть (черт. 3), въ чемъ выразится такое измѣненіе графически. Благодаря сохраненію модуля, дѣленія масштаба останутся тѣ же самыя, но весь масштабъ 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 коеффиціента шероховатости, т. е. когда

$$\frac{a_2}{a_1} > 1;\ \log a_2 - \log a_1 > 0, \tag{18}$$

и уменьшиться въ обратномъ случаѣ. При этомъ измѣненіе происходитъ такимъ образомъ, что разстояніе между точками, которыя отвѣчаютъ одному и тому же чтенію на масштабахъ діаметровъ, построенныхъ при коеффиціентѣ a_1 и при коеффиціентѣ 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, соотвѣтствующее масштабу для другой степени шероховатости. Для этого стоитъ только отложить отъ этой точки въ соотвѣтственную сторону длину, соотвѣтствующую при модулѣ масштаба величинѣ $\pm$ ($\log a_2 - \log a_1$), и отмѣтка полученной новой точки, прочитанная по существующему масштабу, будетъ искомой.

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

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

при модулѣ масштаба діаметровъ.

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

Въ томъ случаѣ, когда число коеффиціентовъ 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 коеффиціента 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, работающихъ 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, расчитанный 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 расчитывать 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 жедіа метрѣ 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 водостоковъ 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 соотвѣтствующихъ 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 $Q_3 \ldots Q_9$ для заполненій отъ 0,1 до 0,9, можно построить кривую, показывающую, какъ при данномъ діаметрѣ и уклонѣ измѣняется Q съ измѣненіемъ заполненія. Для построенія этой кривой примемъ Q за единицу и отложимъ его въ какомъ нибудь масштабѣ вправо отъ линіи AB по горизонтальной линіи AC, соотвѣтствующей совершенному заполненію. Разъ мы приняли Q, отвѣчающее совершенному заполненію, за 1, то вмѣсто величинъ $Q_1, Q_2 \ldots$, надо на линіяхъ, отвѣчающихъ другимъ заполненіямъ, отложить величины отношеній

$$\alpha_1 = \frac{Q_1}{Q}, \quad \alpha_2 = \frac{Q_2}{Q}, \quad \ldots \qquad (19)$$

Полученныя путемъ отложенія точки соединимъ кривой линіей.

Если возьмемъ другой діаметръ D_1 и другой уклонъ i_1, то получимъ другую кривую Q. Произведя построеніе 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 заполненія, легко по количеству Q, отвѣчающему совершенному заполненію водостока для данныхъ D и i найти Q для любого заполненія. Для этого надо только, опредѣливши величину α, соотвѣтствующую 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 заполненія можетъ производиться непосредственно по масштабу расходовъ. Въ самомъ дѣлѣ, равенства (19) можно представить въ видѣ

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{Q}{\frac{1}{\alpha_1}} \\ Q_2 &= \frac{Q}{\frac{1}{\alpha_2}} \\ &\cdots\cdots \end{aligned} \tag{19'}$$

Логарифмируя отдѣльныя равенства (19'), получаемъ

$$\begin{aligned} \log Q_1 &= \log Q - \log \frac{1}{\alpha_1} \\ \log Q_2 &= \log Q - \log \frac{1}{\alpha_2} \\ &\cdots\cdots\cdots \end{aligned} \tag{20}$$

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 . . . . при разныхъ степеняхъ заполненія сѣченія, нужно отъ дѣленія, соотвѣтствующаго расходу Q при совершенномъ заполненіи, отступить въ сторону начала масштаба на длину, изображающую при модулѣ масштаба $\log \frac{1}{\alpha_1}$, $\log \frac{1}{\alpha_2}$ . . . , 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 масштабѣ, 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 заполненія.

Необходимыя для построенія 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 заполненія 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 заполненія меньше этого послѣдняго. Поэтому на переходномъ масштабѣ отмѣтка заполненія 0,8 совпадетъ съ отмѣткой 1,0, отмѣтка 0,9 ляжетъ выше, остальныя же ниже единицы. Понятно, что для степеней заполненія, при которыхъ $\alpha_m > 1$, $\log \frac{1}{\alpha_m}$ будетъ отрицателенъ, а потому приходится откладывать по масштабу скоростей величину $-\log \frac{1}{\alpha_m}$ въ сторону увеличенія дѣленій. При построеніи 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 заполненія, найдемъ Q_m для этого заполненія. Обратно по Q_m, i и D можно найти отвѣчающую ему степень заполненія $\frac{H}{D}$.

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

$$\beta = \frac{v_1}{v}$$

$$\beta = \frac{v_2}{v} \qquad (21)$$

$$\cdot \; \cdot \; \cdot \; \cdot \; \cdot$$

которыя, подобно предыдущему, можно считать практически соотвѣтствующими для всякихъ діаметровъ и уклоновъ. Откладывая величины β_1, β_2. . . на тѣхъ же линіяхъ, гдѣ α_1, α_2 . . . , мы получаемъ кривую, опредѣляющую измѣненіе скоростей въ зависимости отъ степеней наполненія. Эта кривая даетъ возможность, по извѣстной скорости при совершенномъ заполненіи, опредѣлять скорости при разныхъ степеняхъ заполненія, на основаніи соотношенія

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

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

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

Уравненіе (22) показываетъ, что скорость теченія при любой степени заполненія 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 $\log \frac{1}{\beta_1}$, $\log \frac{1}{\beta_2}$. . . . 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 заполненія можно заключить, что наибольшая скорость получается примѣрно при $\frac{H}{D} = 0{,}8$; при степени заполненія 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 заполненія, 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 заполненія.

Степень заполненія.		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
Овоидальное сѣченіе.	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 спеціальную 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, напримѣръ, 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 трубопроводовъ 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, напримѣръ, діаграмму Фламанъ-Даріэса.

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

$$D^{\alpha} i = a v^{\beta}. \tag{23}$$

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

$$\alpha \log D - \log a = \beta \log v - \log i. \tag{23'}$$

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

$$\rho^{\alpha} i = b v^{\beta}. \tag{24}$$

гдѣ

$$b = \frac{a}{4^{\alpha}}. \tag{25}$$

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

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

Сравнивая уравненія (23′) и (24)′, мы видимъ, что при построеніи, 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 функцій ($\alpha \log D - \log a$) 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, по построенію,
для точки D

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

а для единичной точки A

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

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 разстояніе между единичными точками масштабовъ D и ρ будетъ

$$AA_1 = OA_1 - OA = \log 4^{\alpha}, \tag{25}$$

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

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

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 коэффиціенту шероховатости.

До сихъ поръ мы, при обсужденіи вопроса о расчетѣ при посредствѣ діаграммы Фламанъ-Бертрана 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-Бертрана

$$D^{\alpha}\, i = av^{\beta}. \tag{23}$$

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

$$v = \frac{4\,Q}{\pi D^2}. \tag{10}$$

Тогда получится

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

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

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

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

$$\rho^{\alpha}\, i = b\, v^{\beta}, \tag{24}$$

гдѣ

$$n = \frac{a}{4^{\alpha}}. \tag{25}$$

Подставимъ въ уравненіе (24) выраженіе

$$v = \frac{4\,Q}{\pi\,D^2} = \frac{Q}{4\,\pi\,\rho^2}. \tag{10'}$$

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:

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

или, принимая во вниманіе (25″),

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

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

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

Сравнивая уравненіе (28″) съ (27′), мы видимъ, что если бы мы стали строить діаграмму по уравненію (28″), то она совпала бы съ имѣющейся діаграммой, отвѣчающей (27′), въ отношеніи взаимнаго расположенія масштабовъ. Далѣе, градуація масштаба уклоновъ остается безъ перемѣны, а градуація масштаба діаметровъ и способъ чтенія по нему измѣняются соотвѣтственно переходу къ параметру ρ, во всемъ согласно предыдущему, что вполнѣ 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 значитъ. 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

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

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 ρ, 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 высотою $H=\frac{3D}{2}$ (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:

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

$$D = m\,\rho,$$

$$Q = p\,D^2\,v, \qquad (31)$$

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

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

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

1) круглое сѣченіе:

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

2) овоидальное сѣченіе:

$$m = 3{,}453,$$
$$p = 1{,}148;$$

3) лотковое сѣченіе:

$$m = 5{,}464,$$
$$p = 0{,}48;$$

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. $\frac{1}{m^2\,p}$ и $\frac{1}{p}$. Тогда получаемъ общее выраженіе, замѣняющее (29):

$$\log\left(\frac{1}{m^2\,p}\right)^{\beta} - \log\left(\frac{1}{p}\right)^{\beta} = 2\beta\,\log\frac{1}{m}. \qquad (34)$$

[1]) Ср. Ясюковичъ. Расчетъ водостоковъ съ помощью логарифмо-графическихъ таблицъ.

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

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:

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

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 опредѣленъ 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 соотвѣтственно сокращенъ. Для расчета водоснабженія и канализаціи достаточно имѣть напримѣръ, діаграммы для слѣдующихъ наиболѣе употребительныхъ, типовъ поперечныхъ сѣченій: круглаго, овоидальнаго (одного или двухъ), лотковаго (одного или двухъ) и круглаго съ лоткомъ на днѣ[1]).

---

[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, коеффиціентамъ 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, служащія для перехода отъ коеффиціента шероховатости, при которомъ построена діаграмма, къ расчету при иныхъ коеффиціентахъ шероховатости; они соотвѣтствуютъ ($\log a_m - \log a$) при модулѣ масштаба діаметровъ, гдѣ

a — основной коеффиціентъ шероховатости;

a_m — общее обозначеніе другихъ коеффиціентовъ 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 модулѣ масштаба діаметровъ.

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

4) Разстоянія, служащія для перехода отъ расхода Q при совершенномъ заполненіи къ расходамъ при другихъ степеняхъ заполненія Q_1, Q_2 . . . , которое соотвѣтствуетъ величинамъ $\log \frac{1}{\beta_1}$, $\log \frac{1}{\beta_2}$ . . . . при модулѣ 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 модулѣ

масштаба діаметровъ, гдѣ

$$\lambda = \frac{\rho}{D}, \tag{36}$$

или

$$\lambda = \frac{\rho}{H}, \tag{37}$$

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

6) 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 модулѣ 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 коеффиціента шероховатости $a = 0{,}00092$ къ $a_1 = 0{,}00074$. Это разстояніе при модулѣ масштаба діаметровъ діаграммы, представленной на чертежѣ 3, оказывается равнымъ 4,3 м.м. 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 заполненія 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 заполненія 0,1—0,9, концы которыхъ обозначены цифрами 1—9 и, въ видахъ наглядности, соединены съ дѣленіями для скоростей при соотвѣтственныхъ степеняхъ заполненія.

Наконецъ, на той же скалѣ отъ черты Q вверхъ отложены разстоянія для перехода отъ разсчета расходовъ при параметрѣ D къ разсчету при параметрѣ ρ для сѣченій круглаго и обыкновеннаго овоидальнаго, причемъ концы ихъ обозначены соотвѣтственно буквами Q^{ρ} и Q_1^{ρ}.

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 канализаціи. Вып. I. Теорія и примѣненія способа сопряженныхъ масштабовъ. 1911.

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

D'Ocagne. Nomographie. 1891.

D'Ocagne. Traité de Nomographie. 1899.

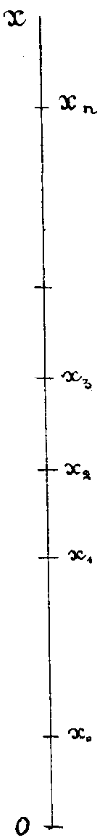
D'Ocagne. Fxposé synthétique des principes fondamenteaux de la Nomographie. 1903.

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

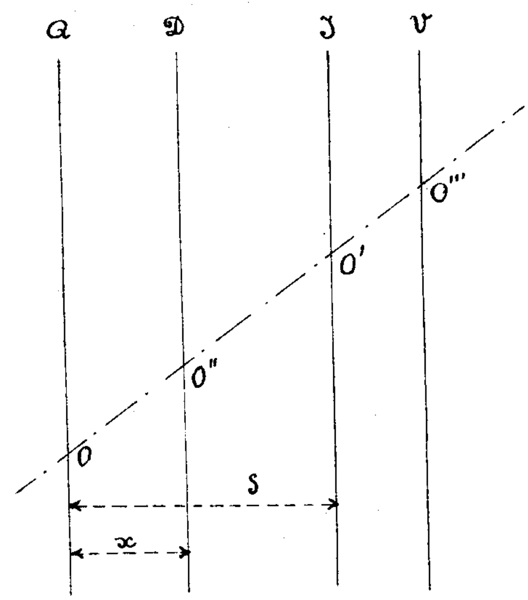
Черепашинскій М. М. Водоснабженіе городовъ. 1905.

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

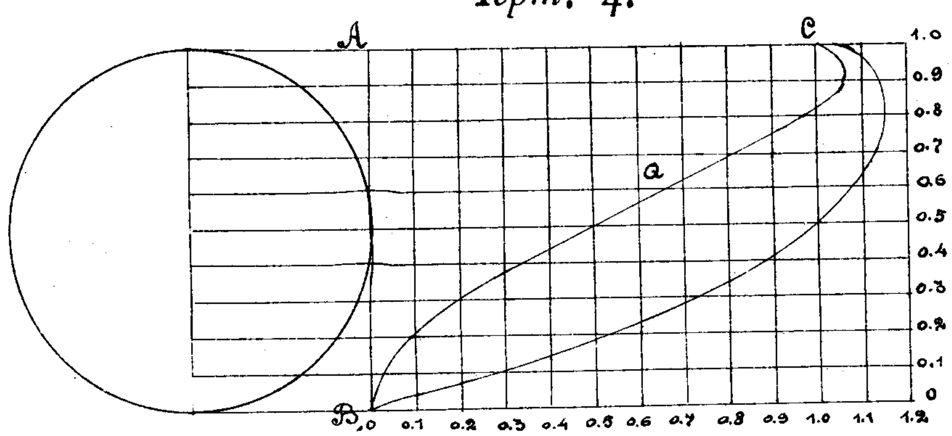
Черт. 1.



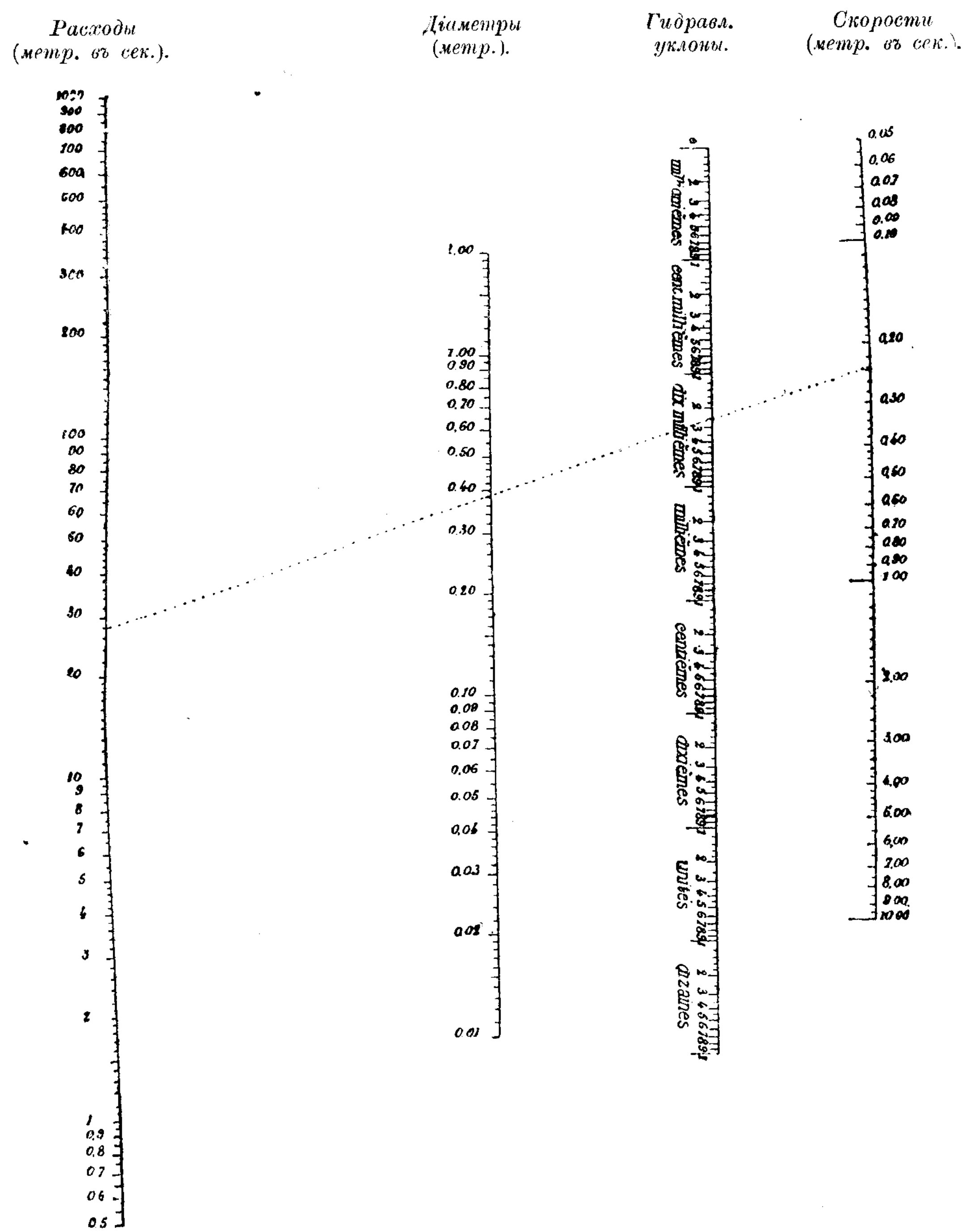
Черт. 2.



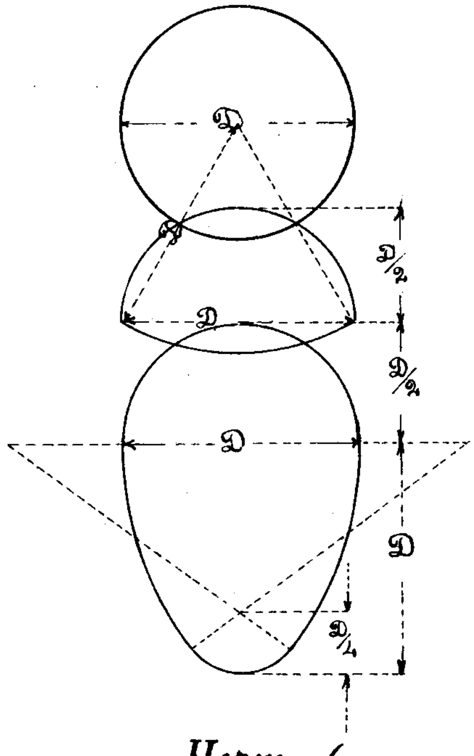
Черт. 4.



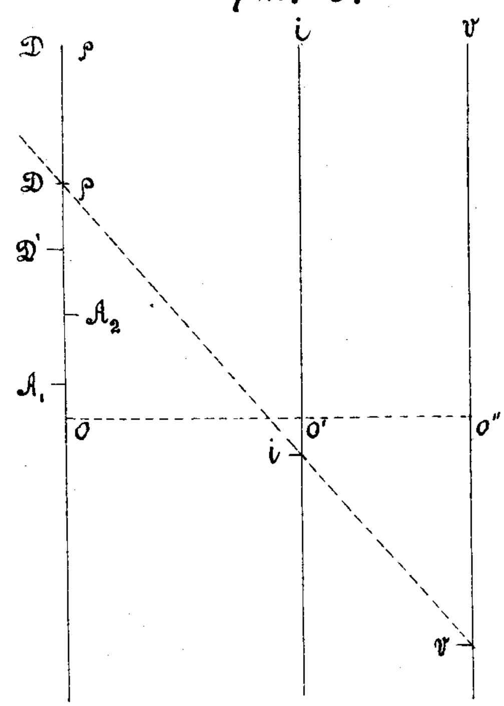
Черт. 3. Діаграмма Даріэса (сокращенная Бертрана) для расчета водопроводныхъ трубъ (формула Фламана).



Черт. 5.



Черт. 6.



Черт. 7.