

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОШИБКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ОПТИМАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ГРУЗА И ДИАМЕТРА ПРОВОЛОКИ
ПРИ ОРИЕНТИРОВАНИИ ШАХТЫ

А. П. КАЗАЧЕК, Г. Ф. ЛЫСОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Величину давления потока воздуха на проволоку отвеса P ($г/м$), необходимую для предрасчета ожидаемой ошибки проектирования при ориентировании шахты, подсчитывают по формуле

$$P = cqS_m, \quad (1)$$

где c — некоторый коэффициент;

q — динамическое давление потока воздуха на единицу площади плоской пластинки, $кг/м^2$;

S_m — площадь „миделевого“ сечения проволоки, $м^2$.

Коэффициент c формулы (1) определяют по специальному графику как функцию от критерия Рейнольдса R_e , значение которого находят из выражения

$$R_e = \frac{Vd}{f}, \quad (2)$$

где d — диаметр проволоки отвеса, $см$;

V — скорость потока воздуха, $см/сек$;

f — кинематическая вязкость воздуха, $см/сек$ (при расчетах рекомендуется брать значение f при температуре 20° , равное $1/7$).

Динамическое давление потока воздуха q ($кг/м^2$) вычисляют по формуле

$$q = \frac{\gamma}{2g} V^2, \quad (3)$$

где γ — $1,296$ — вес $1 м^3$ воздуха, $кг$;

g — $9,81$ — ускорение силы тяжести, $м/сек^2$;

V — скорость потока воздуха, $м/сек$.

Площадь „миделевого“ сечения S_m ($м^2$) одного погонного метра проволоки отвеса подсчитывают по формуле

$$S_m = d, \quad (4)$$

где d — диаметр проволоки отвеса, $м$.

Далее определяют отклонение отвеса потоком воздуха a ($мм$), согласно гипотезе проф. Д. Н. Оглоблина [1], по формуле

$$a = \frac{PhH}{Q}, \quad (5)$$

где h — длина нижней части отвеса, подверженная давлению воздуха, $м$;
 H — длина всего отвеса (глубина ствола), $м$;
 Q — действующий груз, $кг$.

Наконец, величина ожидаемой ошибки проектирования створа отвесов θ'' (сек) находится из выражения

$$\theta'' = \frac{2a}{c} \rho, \quad (6)$$

где c — расстояние между отвесами, $м$;
 $\rho = 206265''$.

Описанный порядок подсчета ожидаемой ошибки проектирования при ориентировке через одну вертикальную выработку является довольно сложным и требует значительных затрат времени. В связи с этим на практике маркшейдеры редко производят предварительный подсчет ошибки проектирования. Между тем ориентирование горных выработок без предварительного подсчета ожидаемой ошибки проектирования, являющейся основным источником ошибок при ориентировке через одну вертикальную выработку, может вызвать ошибку в подборе величины груза или диаметра проволоки и, следовательно, не гарантирует правильного решения задачи проектирования.

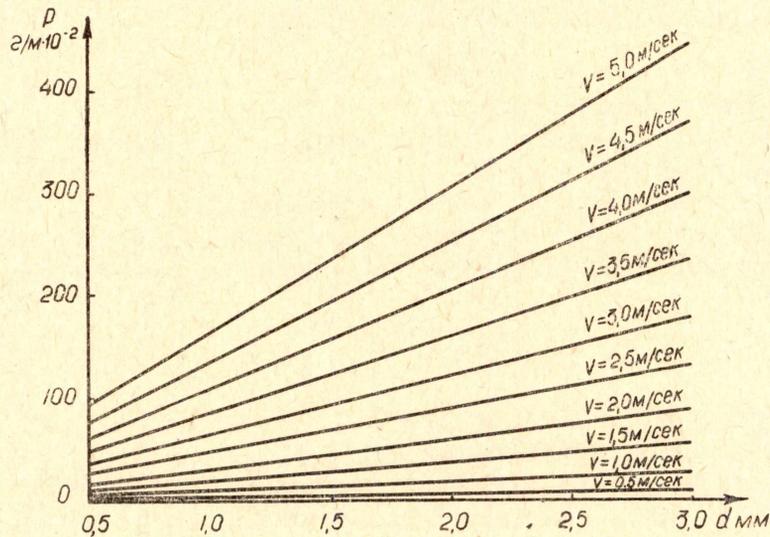


Рис. 1.

Анализируя формулы (1), (2), (3), (4), можно сделать вывод, что при постоянной кинематической вязкости воздуха, величина P является функцией скорости потока воздуха V и диаметра проволоки отвеса d . Рассматривая зависимость величины P от диаметра проволоки при постоянной скорости потока воздуха V (рис. 1), можно сказать, что при значении V в пределах от 0,1 до 5,0 $м/сек$ эта зависимость является прямолинейной. В то же время зависимость величины P от скорости потока воздуха при постоянном диаметре проволоки отвеса в пределах от 0,5 до 3,0 $мм$ (рис. 2) является криволинейной, точнее параболической.

Указанным условиям соответствует эмпирическое выражение зависимости P от V и d такого вида

$$P = (0,079d + 0,0133) V^{1,791} + 0,0005. \quad (7)$$

В приведенной эмпирической формуле (7) значение d отвеса должно быть подставлено в мм, величина скорости воздуха V — в м/сек. В этом случае P будет подсчитано в г/м.

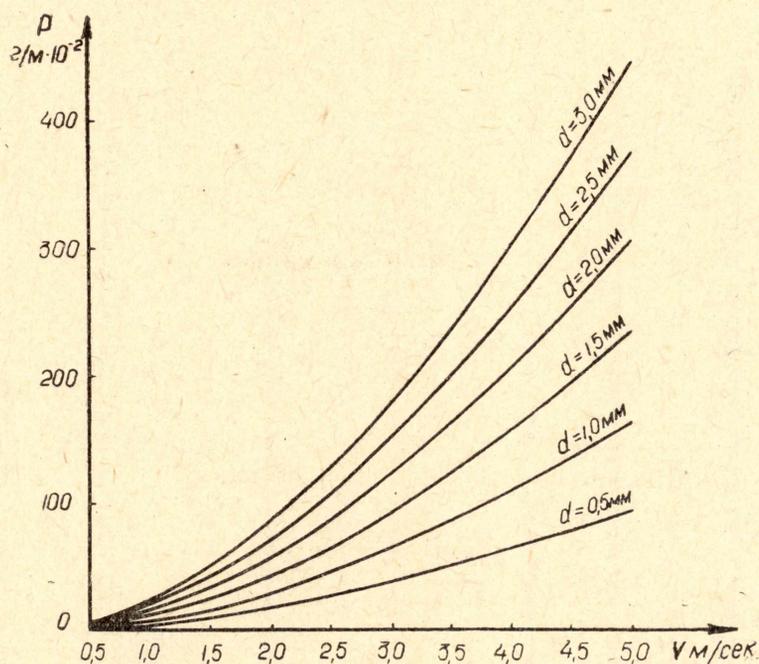


Рис. 2.

Формула (7) для подсчета значения P неудобна, но может быть использована для построения номограммы, с помощью которой возможно весьма просто и с достаточной точностью находить значение P . Номограмма и схема ее использования представлены на рис. 3.

По предлагаемой номограмме можно находить значения P в широких пределах, т. е. при изменении d от 0,5 до 3,0 мм и V — от 0,1 до 5,0 м/сек.

Воспользуемся далее эмпирическим выражением зависимости P от V и d для определения величины ожидаемой ошибки проектирования, для чего подставим значение P из формулы (7) в выражение (5) и по формуле (6) определим ошибку проектирования

$$\theta'' = \frac{2\rho h N [(0,079d + 0,0133) V^{1,791} + 0,0005]}{cQ} \quad (8)$$

Член 0,0005, находящийся в числителе формулы (8), имеет существенное значение при весьма малом значении P (менее 0,01), т. е. при скоростях движения воздуха менее 0,3 м/сек и выбранном диаметре отвеса менее 0,8 мм. В этих случаях подсчет ожидаемой ошибки проектирования нужно производить по формулам (5) и (6), определяя величину P по предложенной выше номограмме. В подавляющем большинстве случаев P имеет значение более 0,01, поэтому величиной члена 0,0005 в формуле (8) можно пренебречь (ошибка в определении θ'' , которую мы допустим, опуская величину 0,0005, не превзойдет 5%) и записать формулу (8) в следующем виде:

$$\theta'' = \frac{2\rho h N (0,079d + 0,0133) V^{1,791}}{cQ} \quad (9)$$

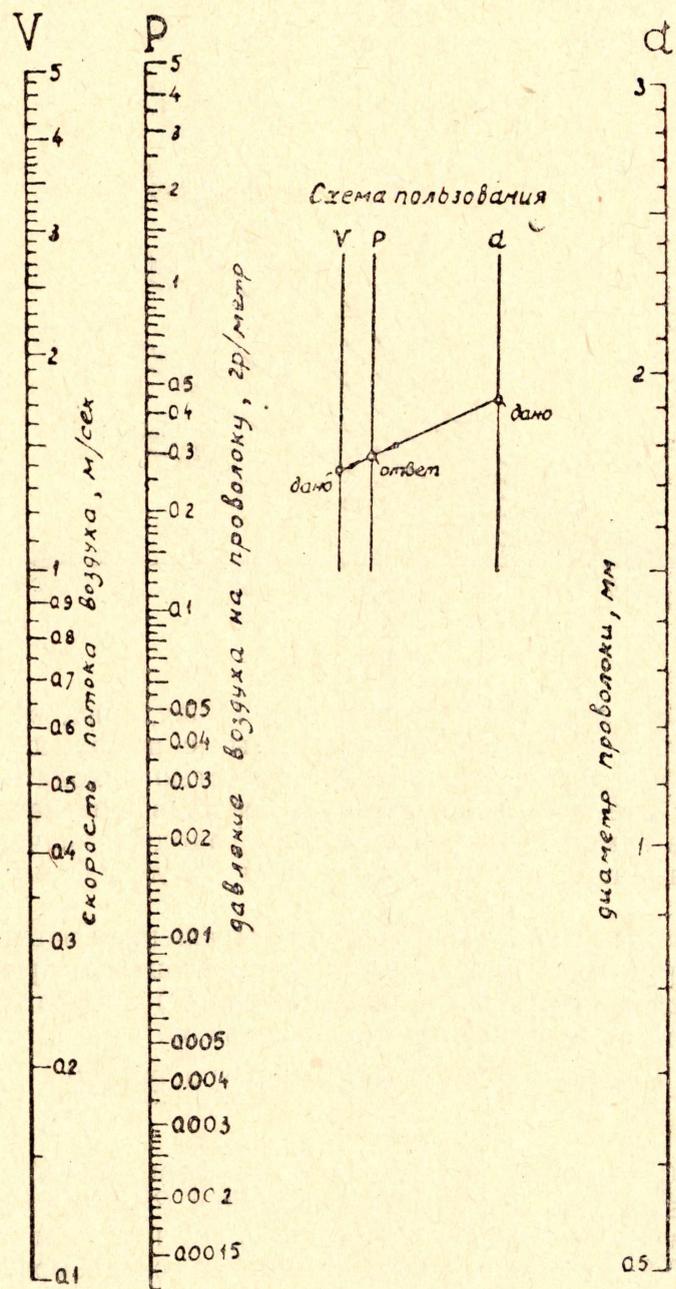


Рис. 3.

Формула (9) для непосредственного подсчета погрешности проектирования Θ'' также неудобна, но может быть использована для построения номограммы, предназначенной для определения величины Θ'' по заданным значениям H, h, V, d, Q при расстоянии между отвесами, c , равном 1 метру. Эта номограмма и схема использования ею представлены на рис. 4 и 5.

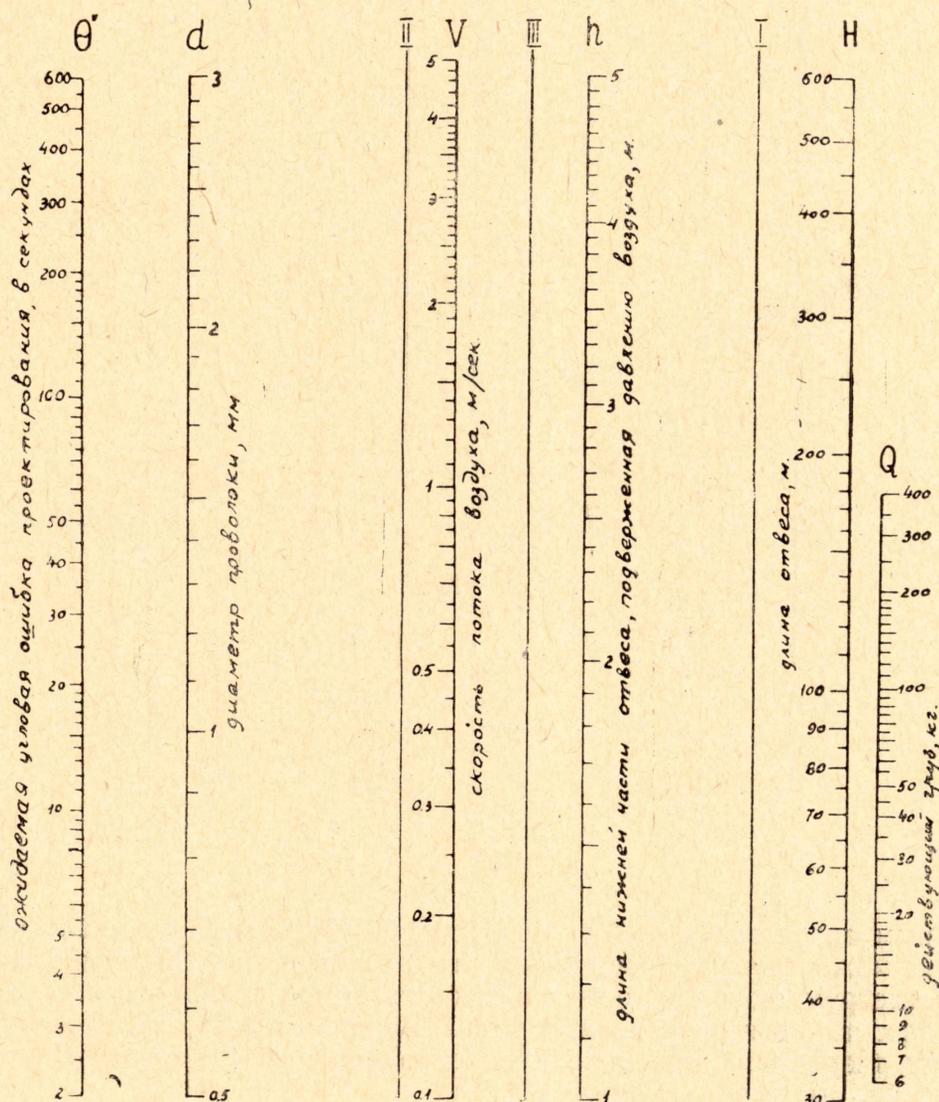


Рис. 4.

По предлагаемой номограмме значение Θ'' может находиться с точностью в одну единицу второго знака при изменении H в пределах 30—600 м, h — от 1 до 5 м, V — от 0,1 до 5,0 м/сек, d — от 0,5 до 3,0 мм и Q — от 6 до 400 кг.

Для того, чтобы определить ошибку проектирования Θ'' при любом значении c , необходимо найденную величину Θ'' разделить на заданное значение c в метрах.

Используем теперь формулу (8) для решения вопроса о выборе оптимальных величин груза и диаметра проволоки отвеса при ориентировании шахты через один вертикальный шахтный ствол. Учитывая, что с целью уменьшения ошибки проектирования необходимо для каж-

дой проволоки принимать максимальный груз, равный по величине 60% от предела прочности проволоки, выразим значение d в формуле (8) величиной груза Q , для чего воспользуемся данными о допуске весе грузов, приведенными в технической инструкции (3). Построим график зависимости между диаметром проволоки класса „П“ и макси-

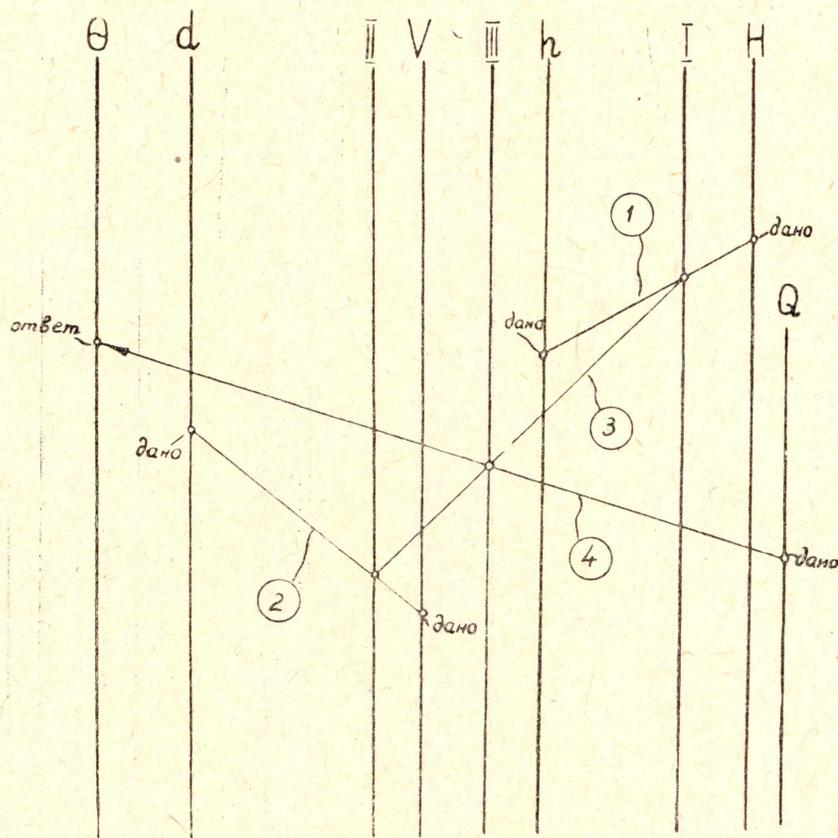


Рис. 5.

мальным допустимым весом груза (рис. 6). Очевидно, что аналогичный график может быть построен также для характеристики зависимости между диаметром проволоки от веса и весом груза для проволоки класса „В“.

Рассматривая приведенный график можно сказать, что зависимость между диаметром проволоки и максимальным допустимым грузом может быть выражена формулой

$$d = yQ^x, \quad (10)^1$$

Подставив в эту формулу значения грузов Q , равные 26 и 330 кг, величины соответствующих диаметров проволоки класса „П“ (0,5 и 2,0 мм) и решив два логарифмических уравнения, найдем

$$d = 0,0844Q^{0,516}, \quad (11)$$

где d — диаметр проволоки, мм,
 Q — величина максимального груза, кг.

¹⁾ Правильнее было бы выразить зависимость d от Q формулой $d = aQ^{\frac{1}{2}}$, но учитывая рекомендации технической инструкции, лучше сохранить приведенную формулу (10).

Используя значения максимального груза Q , приведенные в технической инструкции для проволоки класса „П“ диаметром 0,8, 1,0, 1,5 мм, можно вычислить по формуле (11) величины указанных диаметров и убедиться в хорошей сходимости результатов.

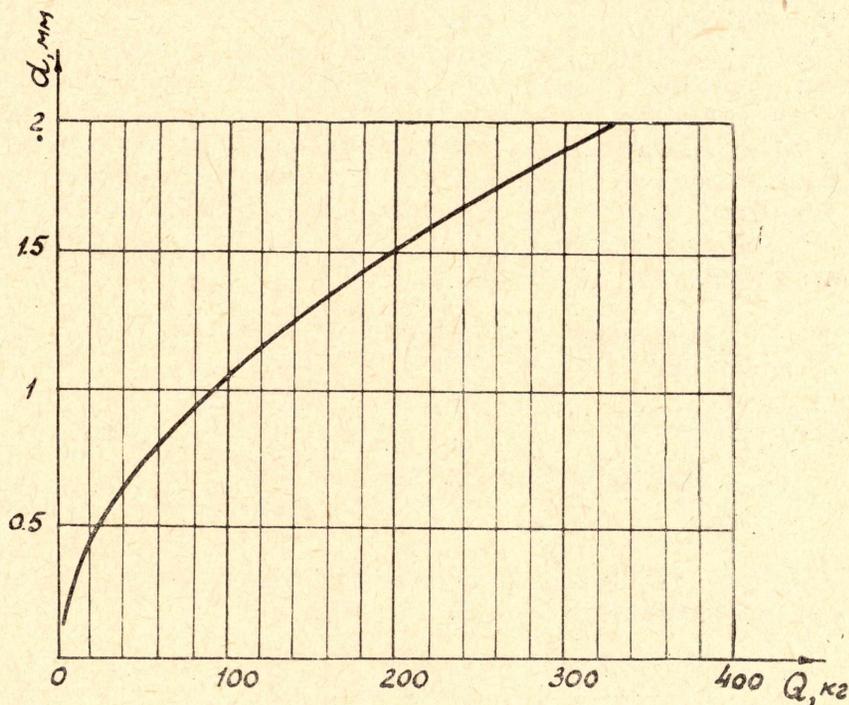


Рис. 6.

Таким же способом может быть установлена зависимость между d и Q для проволоки класса „В“, выражающаяся формулой

$$d = 0,0744Q^{0,555}. \quad (12)$$

Подставив найденное значение d по формуле (11) в выражение (8), получим

$$\theta'' = \frac{2\rho h H}{c} \left[\frac{(0,00666Q^{0,546} + 0,0133) V^{1,791}}{Q} + \frac{0,0005}{Q} \right]. \quad (13)$$

Пренебрегая весьма малым членом $\frac{0,0005}{Q}$, упростим формулу (13)

$$\theta'' = \frac{2\rho h H V^{1,791}}{c} \times \left(\frac{0,00666Q^{0,546} + 0,0133}{Q} \right). \quad (14)$$

Формула (14) выражает связь между ошибкой проектирования, объективными „параметрами“ H , h , V , выбранными расстоянием между отвесами c и величиной груза Q для проволоки класса „П“.

Из формулы (14) следует, что с целью уменьшения ошибки проектирования в любых условиях выгодно увеличивать величину груза и диаметра проволоки. Таким образом, подтверждается замечание Друмма, приведенное без доказательства в работе (2), о том, что „большой груз не может испортить ориентировку, тогда как малый может сделать это наверняка“. Из формулы (14) также следует, что величина ошибки проектирования зависит от совокупности пяти факторов

(H , V , c , Q и h) и условий проектирования (влияния капежа, упругости проволоки отвеса, побочных колебаний и т. п.). Следовательно, игнорирование любого из названных факторов при определении ожидаемой ошибки проектирования или при выборе груза и диаметра проволоки может привести к неправильным выводам. Ниже мы подробнее остановимся на этом предположении.

Учитывая, однако, что увеличение величины груза и диаметра проволоки, возможно, в какой-то степени может вызвать возрастание погрешности примыкания (этот вопрос требует дополнительных исследований), можно сказать, что наиболее обоснованным следует считать такой выбор величины груза Q и соответствующего этому грузу диаметра проволоки отвеса, при котором (при заданной ошибке проектирования Θ'' , объективных „параметрах“ H , h , V и принятом c) удовлетворяется равенство (14), т. е.

$$\frac{0,00666Q^{0,546} + 0,0133}{Q} = \frac{\Theta''c}{2\rho HhV^{1,791}} \quad (15)$$

или при $\Theta'' = 90''$

$$\frac{0,00666Q^{0,546} + 0,0133}{Q} = \frac{45c}{\rho hHV^{1,791}} \quad (16)$$

Аналогичное равенство может быть написано для груза, подвешиваемого на проволоке класса „В“

$$\frac{0,00587Q^{0,555} + 0,0133}{Q} = \frac{45c}{\rho hHV^{1,791}} \quad (17)$$

Формула (16) для непосредственного вычисления величин грузов Q неудобна, но может быть использована для построения номограммы, с помощью которой возможно определять величину груза Q и диаметра проволоки d . Эта номограмма и схема ее использования представлены на рис. 7.

По предлагаемой номограмме можно находить величины Q и d в широких пределах, т. е. при изменении H от 30 до 1000 м, h — от 1 до 10 м, V — от 0,1 до 5,0 м/сек и c — от 0,5 до 10 м.

Приводить здесь другую номограмму для определения величины груза для проволоки класса „В“ нет необходимости, так как в этом случае можно использовать описанную номограмму. Определив по номограмме величину груза Q для проволоки класса „П“ и уменьшив ее на 15%, мы получим оптимальное значение груза при проектировании проволокой класса „В“. Что касается диаметра проволоки, то он легко может быть найден интерполяцией по таблице, приведенной в технической инструкции (3).

Воспользуемся теперь приведенной номограммой и проверим правильность рекомендации § 220 маркшейдерской инструкции (3), в которой учитываются только три фактора (диаметр проволоки, глубина шахтного ствола и скорость потока воздуха) из пяти ранее указанных факторов, оказывающих влияние на погрешность проектирования.

Пусть $H=250$ м, $V=0,6$ м/сек, $h=6$ м, $c=2$ м.

Находим по номограмме: $Q=180$ кг, $d=1,4$ мм.

Инструкция же, учитывая только H , V и d , рекомендует для этих условий, т. е. для H меньше 300 м и V меньше 0,7 м/сек, применять для проектирования тонкую проволоку диаметром до 1 мм включитель-

но и, следовательно, величину груза не более 92 кг. На самом же деле применение проволоки тоньше 1,4 мм и груза менее 180 кг не обеспечит в данных условиях ошибку проектирования в пределах 90%, т. е. не обеспечит правильного решения задачи ориентирования.

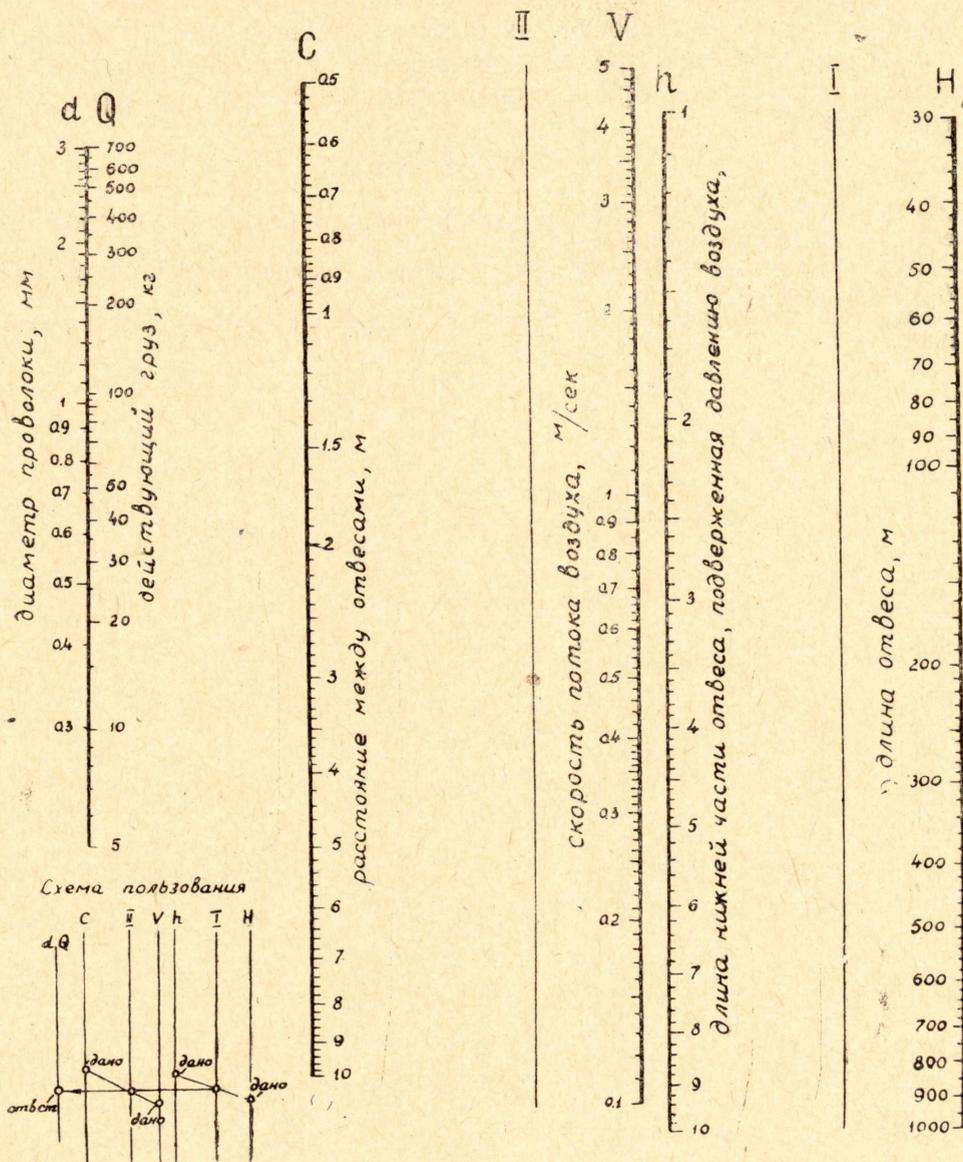


Рис. 7.

Выводы

1. Следует считать установленным, что с целью уменьшения ошибки проектирования, вызываемой действием потока воздуха на шахтные отвесы, в любых условиях выгодно увеличивать величину груза.
2. Величину ошибки проектирования следует учитывать по совокупности всех пяти факторов (глубины ствола, скорости потока воздуха, расстояния между отвесами, величины груза и длины нижней части отвеса, подверженной давлению воздуха) с учетом условий проектирования (влияния капеза, побочных колебаний и т. п.). Таким образом, рекомендации § 220 технической инструкции [3], по нашему мнению, следует считать недостаточно обоснованными.

3. В работе разработан новый метод определения оптимальной величины груза (диаметра проволоки) по совокупности условий проектирования и даны номограммы, позволяющие достаточно точно определять ожидаемую ошибку проектирования и оптимальную величину груза (диаметра проволоки) при производстве ориентировок.

4. Необходимо провести экспериментальные исследования для окончательной проверки предложенного метода выбора величины груза и диаметра проволоки при ориентировании через один вертикальный шахтный ствол.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Н. Оглоблин. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений. Ч. III, Metallurgizdat, 1953.

2. Д. Н. Оглоблин. Ориентировка подземной съемки через одну вертикальную шахту, ОНТИ, 1938.

3. Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ, Углетехиздат, 1959.
