ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 118 1963

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ, ВЫРАЖАЮЩИЕ ДАВЛЕНИЕ ПОТОКА ВОЗДУХА НА ПРОВОЛОКУ ОТВЕСА ЧЕРЕЗ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА И ДИАМЕТР ПРОВОЛОКИ

Г. Ф. ЛЫСОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Давление потока воздуха на проволоку отвеса при ориентировании шахты определяется по следующей формуле (1,67):

$$p = cqs, \tag{1}$$

где p — давление потока воздуха в *кг/м* на единицу длины проволоки,
c — некоторый коэффициент,
q — динамическое давление потока воздуха в *кг/м*^{2} на единицу площади плоской пластинки,
s — площадь в *м*^{2} так называемого „миделевого" сечения тела, т. е. его проекции на плоскость, перпендикулярную направлению движения потока воздуха.

Коэффициент c формулы (1) определяют по специальному графику (1,68) как функцию от критерия Рейнольдса R, значение которого находят из выражения:

$$R = \frac{vd}{f}, \tag{2}$$

где d — диаметр проволоки отвеса в *см*,
v — скорость потока воздуха в *см/сек*,
f — кинематическая вязкость воздуха в *см*^{2}*/сек*.

Величина кинематической вязкости f зависит, в основном, от температуры воздуха. Мерксом (Maerx), исследовавшим этот вопрос, дан график (1,68) для определения кинематической вязкости в зависимости от температуры воздуха. Из этого графика следует, что при изменении температуры воздуха в пределах от 0 до 10° кинематическая вязкость меняет свое значение от 0,140 до 0,146 *см*^{2}*/сек*, т. е. весьма незначительно. Поэтому вполне обосновано при расчетах рекомендуется (1,68) считать кинематическую вязкость постоянной и равной 1/7.

Динамическое давление потока воздуха q вычисляют по формуле:

$$q = \frac{\gamma}{2g} v^2, \tag{3}$$

где: $\gamma = 1{,}296$ — вес 1 *м*^{3} воздуха в *кг*,

$g = 9{,}81$ — ускорение силы тяжести в *м/сек*^{2},

v — скорость потока воздуха в *м/сек*.

Площадь „миделевого" сечения s одного погонного метра проволоки отвеса определяют по формуле:

$$s = d \cdot 1\ м = d, \tag{4}$$

где d — диаметр проволоки отвеса в *м*.

Анализируя формулы (1), (2), (3), (4), можно сказать, что при постоянной кинематической вязкости величина p является функцией от скорости потока воздуха v и диаметра проволоки отвеса d. С целью установления функциональной зависимости p от v и d мы подсчитали ряд значений p (в г/пог. м) по приведенным выше формулам, изменяя величины v в пределах от 0,1 до 5,0 *м/сек* через 0,3 — 0,2 *м/сек* и d — в пределах от 0,5 до 3,0 *мм* через 0,5 *мм*. Результаты подсчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

V, *м/сек* \ *d, мм*	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,1	0,0014	0,00195	0,0026	0,0033	0,0041	0,0047
0,3	0,0064	0,0112	0,0154	0,0197	0,0250	0,0295
0,5	0,0155	0,0270	0,0390	0,0505	0,0625	0,0735
0,7	0,0280	0,0490	0,0700	0,0910	0,1120	0,1320
1,0	0,0535	0,0930	0,1320	0,1720	0,2120	0,2510
1,3	0,0840	0,1485	0,2120	0,2750	0,3390	0,4010
1,5	0,1050	0,1880	0,2700	0,3500	0,4300	0,5100
1,7	0,1400	0,2370	0,3400	0,4400	0,5500	0,6500
2,0	0,1800	0,3180	0,4600	0,6000	0,7300	0,8600
2,3	0,2300	0,4060	0,5800	0,7500	0,9200	1,1000
2,5	0,270	0,468	0,670	0,870	1,070	1,270
2,7	0,310	0,538	0,770	1,000	1,230	1,460
3,0	0,385	0,670	0,950	1,240	1,530	1,820
3,3	0,446	0,776	1,102	1,432	1,763	2,106
3,5	0,490	0,841	1,209	1,570	1,941	2,290
3,7	0,548	0,957	1,368	1,777	2,188	2,598
4,0	0,670	1,169	1,660	2,160	2,670	3,170
4,3	0,740	1,300	1,860	2,410	2,970	3,530
4,5	0,800	1,376	1,952	2,550	3,150	3,750
4,7	0,850	1,513	2,150	2,790	3,440	4,090
5,0	0,926	1,609	2,290	3,000	3,700	4,400

Примечание: Значения p в табл. 1 указаны в *г/пог. м*.

Используя данные табл. 1, мы построили ряд графиков зависимости p от величины диаметра проволоки d при постоянных скоростях потока воздуха v (рис. 1). Рассматривая рис. 1, можно сделать вывод о том, что при постоянном значении v в пределах от 1,0 до 5,0 *м/сек* зависимость величины p от диаметра проволоки отвеса d имеет прямолинейный характер. Таким же образом далее был построен ряд графиков зависимости величины p от скорости потока воздуха v при постоянных диаметрах проволоки отвесов в пределах от 0,5 до 3,0 *мм*. Рассматривая графики, изображенные на рис. 2, можно сделать вывод, что в этом случае зависимость p от v будет криволинейной, точнее — параболической.

Таким образом, представляется возможным выразить давление воздуха на проволоку отвеса непосредственно аналитически через скорость движения воздуха и диаметр проволоки в виде одного или нескольких эмпирических выражений следующего строения:

$$p = xdv^y, \tag{5}$$

$$p = xdv^y + \varphi, \tag{6}$$

$$p = (xd + z)\, v^y, \tag{7}$$

$$p = (xd + z)\, v^y + \varphi. \tag{8}$$

Из приведенных эмпирических формул зависимости p от v и d наиболее подходящим с точки зрения физического смысла является выражение вида (5), при котором значение p получается равным нулю, когда v или d равны нулю. Однако, учитывая эмпирический характер представленных формул и то, что на самом деле, вероятно, зависимость p от v и d представляется более сложной функцией, нужно было бы исследовать также формулы (6), (7), (8) и по результатам этих исследований сделать соответствующие выводы.

Определение параметров x и y формулы (5) мы произвели дважды по способу наименьших квадратов (методом посредственных наблюдений), т. е. с соблюдением условий:

$$\left.\begin{aligned} &\text{а)}\quad [\varepsilon\varepsilon] = \min, \\ &\text{б)}\quad [P\varepsilon\varepsilon] = \min, \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

где ε — отклонение подсчитанной по установленной формуле (5) величины p от соответствующего значения этой величины, зафиксированного в табл. 1;

P — веса, вводимые с целью получения эмпирической формулы (5), в равной степени пригодной для определения величины p при больших и малых значениях v и d.

В первом случае мы должны были решить систему двух нормальных уравнений следующего вида:

$$\left.\begin{aligned} &[\lg v \lg v]\, y + [\lg v] \lg x - [\lg v\,(\lg p - \lg d)] = 0, \\ &[\lg v]\, y + n \lg x - [(\lg p - \lg d)] = 0, \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

где n — число всех значений p в табл. 1.

Опустив довольно громоздкие вычисления, приведем окончательные результаты по определению формулы вида (5) первым способом:

$$p = 0{,}0929\, dv^{1{,}755}. \tag{11}$$

Во втором случае предварительно определялись веса „наблюдений“ по данным табл. 1 с учетом порядков первых значащих цифр

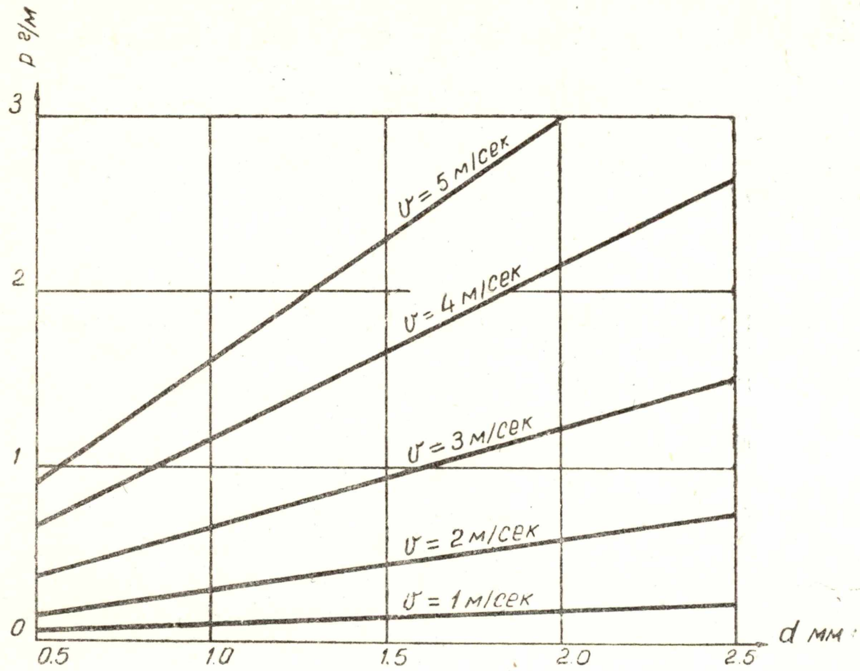
p г/м
3
2
1
0
v = 5 м/сек
v = 4 м/сек
v = 3 м/сек
v = 2 м/сек
v = 1 м/сек
d мм
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5

Рис. 1.

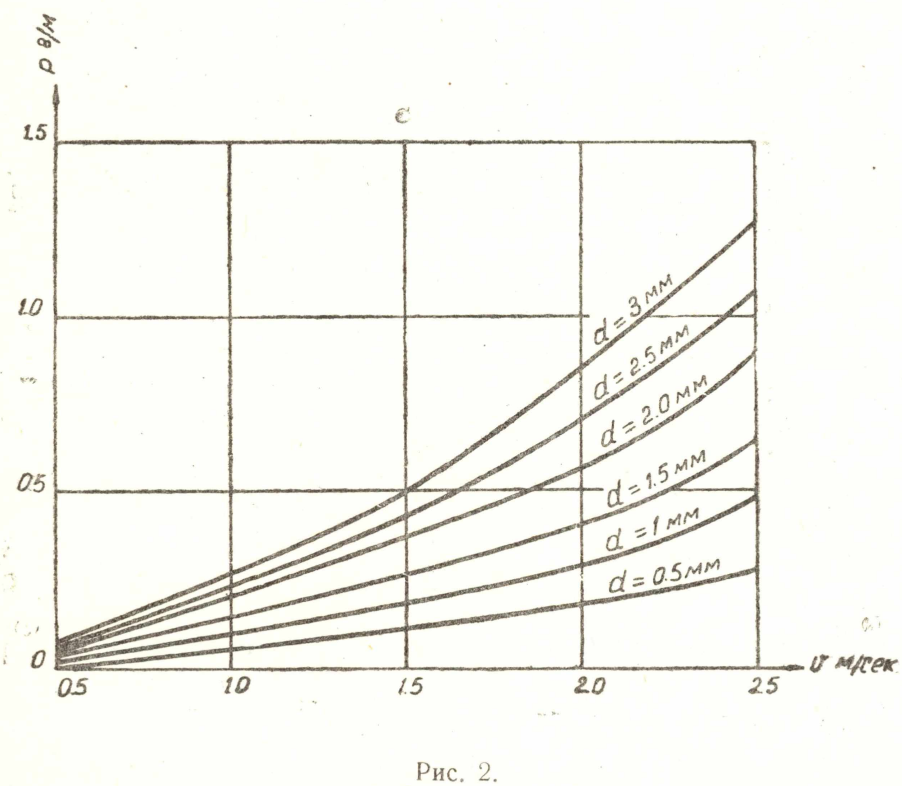
p г/м
1.5
1.0
0.5
0
d = 3 мм
d = 2.5 мм
d = 2.0 мм
d = 1.5 мм
d = 1 мм
d = 0.5 мм
v м/сек
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5

Рис. 2.

значений p (веса устанавливались обратно пропорциональными порядку первой значащей цифры значений p табл. 1). Далее решались два нормальных уравнения вида:

$$
\begin{gathered}
[P \lg v \lg v]\, y + [P \lg v] \lg x - [P \lg v (\lg p - \lg d)] = 0, \\
[P \lg v]\, y + [P] \lg x - [P (\lg p - \lg d] = 0.
\end{gathered} \tag{12}
$$

Опустив все вычисления, приведем окончательные результаты нахождения формулы (5) вторым способом:

$$
p = 0{,}0947\, dv^{1{,}714}. \tag{13}
$$

Определение параметров x, y, z, φ, формул (6), (7), (8) производилось в следующем порядке.

Величина x находилась путем решения нормального уравнения:

$$
[(d_i - d_o)^2]\, x_o - [(d_i - d_o)(p_i - p_o)] = 0, \tag{14}
$$

для подсчета коэффициентов которого использовались данные строки $v = 1{,}0$ *м/сек* табл. 1. Здесь x_o — уравненное значение величины x, p_o — значение величины p при v, равной 1,0 *м/сек*, и d_o, равном 0,5 *мм*. В результате подсчета было получено значение x_o, равное 0,0790.

Параметр y формул (6), (7), (8) находился путем решения нормального уравнения:

$$
[\lg v_k \lg v_k]\, y_o - \left[\lg v_k \left(\lg \frac{p_i - p_o}{x_o (d_i - d_o)}\right)\right] = 0, \tag{15}
$$

где y_o — уравненное значение величины y,

v_k — скорости потока воздуха от 0,1 до 5,0 *м/сек*, зафиксированные в табл. 1,

p_i — значения p при скорости v_k и диаметре отвеса d_i, равном 3,0 *мм*,

p_o — значение p при скорости v_k и диаметре отвеса d_o, равном 0,5 *мм*.

В результате подсчета параметр y_o оказался равным 1,790.

Уравненное значение величины z_o формул (7) и (8) определялось решением нормального уравнения:

$$
nz_o - \left[\left(\frac{p_k - p_{k-1}}{v_k^y - v_{k-1}^y}\right) - x_o\right] = 0, \tag{16}
$$

где n — число членов столбца $d = 1{,}0$ *мм* табл. 1 без одного ($n=20$) p_k, p_{k-1} — значения p столбца $d = 1{,}0$ *мм* табл. 1.

Величина z_o оказалась равной 0,0133.

Значение φ_o уравнений (6) и (8) находилось путем решения нормальных уравнений:

а) для формулы (6):

$$
n\varphi_o - [p_i - x_o d_i v^y] = 0, \tag{17}
$$

где p_i, d_i — значения p и d строки $v = 0{,}1$ *м/сек* табл. 1.

б) для формулы (8):

$$
n\varphi_o - [p_i - (x_o d_i + z_o)\, v^y] = 0 \tag{18}
$$

Решив уравнения (17) и (18), мы получили:

Таблица 2

№ п/п	№№ формул	Вид формул	Средняя погрешность определения p по формуле *г/пог. м*	Краткая характеристика формул
1	11	$p = 0{,}0929\, dv^{1{,}755}$	$\pm 0{,}0807$	Погрешности подсчета величины p по формуле достигают в отдельных случаях 30—40 %.
2	13	$p = 0{,}0947\, dv^{1{,}714}$	$\pm 0{,}046$	Формула дает хорошие результаты при v более 0,2 *м/сек* и d более 0,8 *мм* (погрешности подсчета величины p колеблются в пределах 5—20%)
3	19	$p = 0{,}079\, dv^{1{,}790} + 0{,}0007$	$\pm 0{,}127$	Дает хорошие результаты только при v менее 0,3 *м/сек* и d менее 0,8 *мм*. При больших значениях v и d погрешности подсчета достигают 25 %.
4	20	$p = (0{,}079\, d + 0{,}0133)\, v^{1{,}790}$	$\pm 0{,}035$	Дает хорошие результаты при v более 0,2 *м/сек* и d более 0,8 *мм* (ошибки подсчета не превышают 10 %).
5	21	$p = (0{,}079\, d + 0{,}0133)\, v^{1{,}790} + 0{,}0005$	$\pm 0{,}035$	Дает хорошие результаты при любых значениях p в исследованных пределах (погрешность подсчета не превышает 6 %).

а) для формулы (6): $\varphi_o = 0{,}0007$,

б) для формулы (7): $\varphi_o = 0{,}0005$.

Таким образом, зависимость p (в *г/м*) от v (в *м/сек*) и d (в *мм* может быть представлена также формулами:

$$p = 0{,}079\, d v^{1{,}790} + 0{,}0007, \tag{19}$$

$$p = (0{,}079\, d + 0{,}0133)\, v^{1{,}790}, \tag{20}$$

$$p = (0{,}079\, d + 0{,}0133)\, v^{1{,}790} + 0{,}0005. \tag{21}$$

Далее был произведен анализ установленных эмпирических формул связи давления потока воздуха на проволоку отвеса со скоростью движения воздуха и диаметром проволоки. Результаты этой работы представлены в табл. 2.

Выводы

1. При определении величины p нет надобности использовать формулы (1), (2), (3), (4) и методику, описанную выше, так как значение p с достаточной точностью может находиться непосредственно, как функция заданных v и d.
2. Установлены эмпирические формулы связи давления потока воздуха на проволоку отвеса со скоростью движения воздуха и диаметром проволоки.
3. Наиболее точной для выражения указанной связи является формула (21), позволяющая подсчитывать значения p с погрешностью не более 6%.
4. Достаточную для технических целей точность дают также формулы (20) и (13), по которым значение p подсчитывается с ошибкой соответственно не более 10% и 20%.

ЛИТЕРАТУРА

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