

ПОСТРОЕНИЕ КРУГОВОЙ НОМОГРАММЫ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ДЕПРЕССИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

А. Ф. КАРАТАЕВ

Линейный прибор для расчетов по формулам с многими переменными, построенный по принципу логарифмической линейки, при больших пределах изменения переменных величин получается большим и громоздким.

Размещение шкал переменных величин на круге делает прибор более компактным и удобным для производства расчетов. Поэтому производим разработку методики построения круговых приборов для расчетов по формулам с многими переменными.

Если окружность неподвижного круга разделить на две полуокружности и на внешней стороне этих полуокружностей нанести равномерные деления, значения которых возрастают по часовой стрелке, а на втором подвижном круге нанести диаметр, один конец которого утолщен, а другой снабжен стрелкой, то после совмещения утолщенного конца диаметра подвижного круга с нулевым делением неподвижного круга и перемещения на 3 деления по часовой стрелке противоположный конец диаметра со стрелкой укажет 3 (рис. 1). При перемещении утолщенного конца диа-

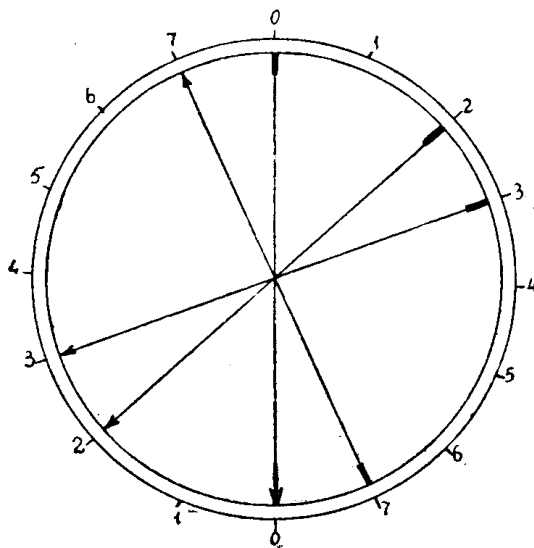


Рис. 1.

метра подвижного круга еще на 4 деления по часовой стрелке противоположный конец диаметра со стрелкой укажет уже сумму делений (отрезков) $3 + 4 = 7$ (рис. 1). При перемещении утолщенного конца диаметра подвижного круга против часовой стрелки на 5 делений противоположный конец диаметра подвижного круга укажет разность делений $7 - 5 = 2$ (рис. 1).

Это свойство окружности неподвижного круга и диаметра подвижного круга положено в основу методики построения круговых приборов (номограмм).

Круговой прибор (номограмма) для расчетов по формуле вида:

$$Z = x + y \quad (1)$$

может быть построен путем нанесения переменных величин на полуокружности неподвижного и подвижного кругов.

Разместив шкалу Z на левой полуокружности неподвижного круга, а шкалу x на правой и шкалу y на правой полуокружности подвижного круга и расположив возрастающие значения переменных по часовой стрелке, получим круговой прибор (номограмму) для сложения (рис. 2). Тогда

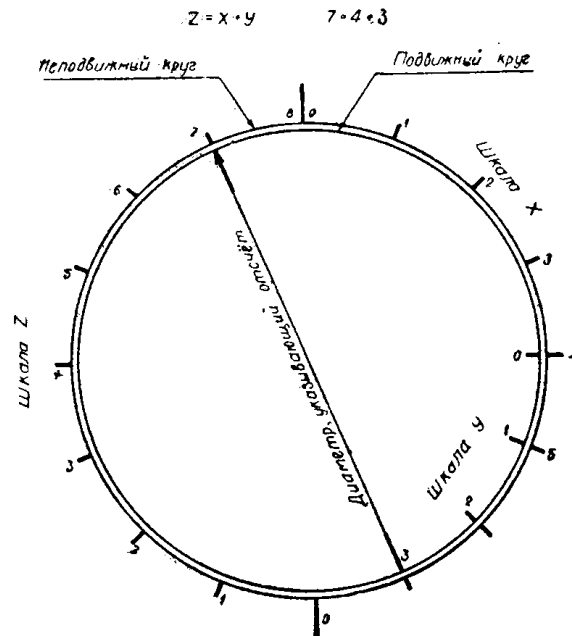


Рис. 2.

Расчет по формуле (1) можно производить, как указано на рис. 2, т. е. при $x=4$ и $y=3$, $Z = x + y = 4 + 3 = 7$ к отрезку шкалы $x=4$ прибавляем отрезок шкалы $y=3$. Противоположный конец диаметра подвижного круга шкалы y (со стрелкой) соответствующего значения переменного $y=3$ укажет на шкале Z подвижного круга ответ.

Если возрастающие значения шкалы y на подвижном круге расположить против часовой стрелки на левой полуокружности подвижного круга, то получим круговой прибор (номограмму) для вычитания (рис. 3) по формуле вида:

$$Z = x - y \quad (2)$$

Расчет можно производить, как указано на рис. 3, т. е. при $x=5$ и $y=3$, $Z = x - y = 5 - 3 = 2$ из отрезка шкалы $x=5$ отнимаем отрезок шкалы $y=3$.

Еще проще получается подсчет по формулам (1) и (2), если в приборах (номограммах) (рис. 2, 3) шкалу y расположить наоборот, т. е. в приборе (номограмме) для сложения шкалу y расположить на левой полуокружности подвижного круга и возрастающие значения переменных против часовой стрелки (рис. 4), а в приборе (номограмме) для вычитания

шкалу u расположить на правой стороне полуокружности подвижного круга и возрастающие значения переменной по часовой стрелке (рис. 5).

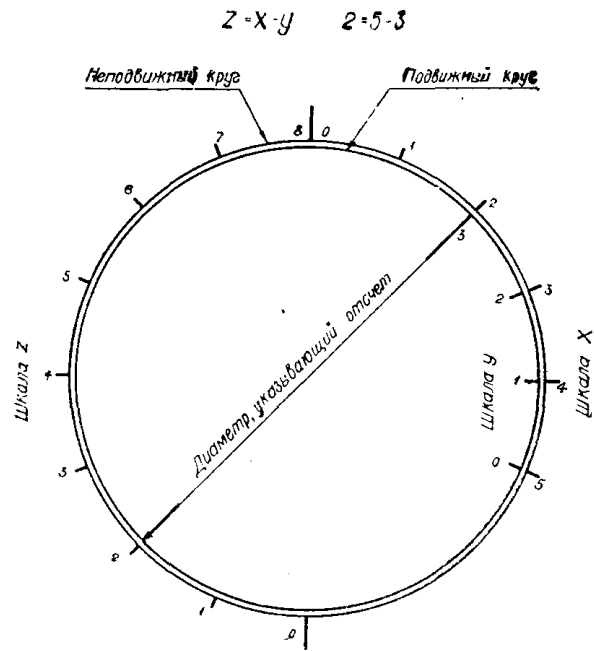


Рис. 3.

Подсчет при этом будет заключаться в совмещении штрихов переменных величин x и y , а стрелка диаметра подвижного круга, соответствующая нулевому значению переменного u на шкале Z , укажет ответ.

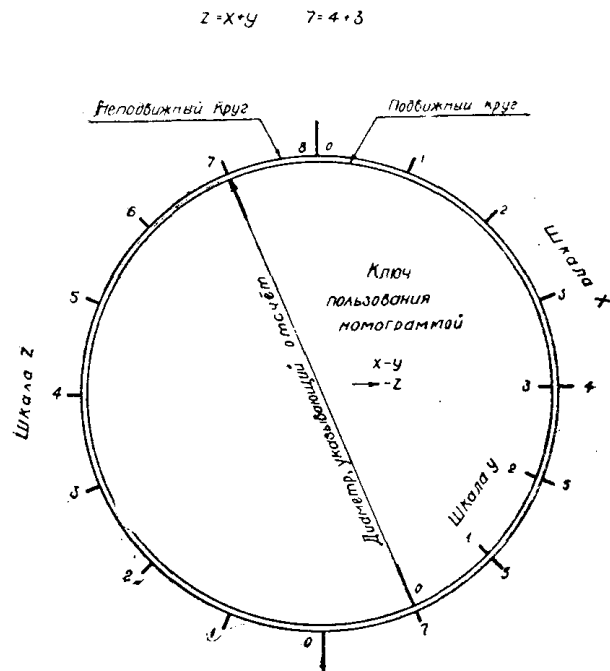


Рис. 4.

Используя первый способ построения (рис. 2, 3) и второй способ (рис. 4 и 5), можно построить круговой прибор (номограмму) для расчетов по формуле:

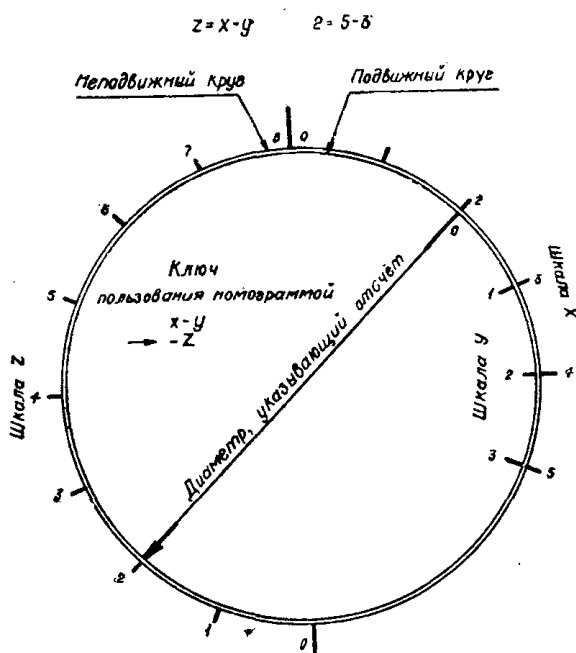


Рис. 5.

$$Z = x + y + l + C - k. \quad (3)$$

Построение кругового прибора (номограммы) только по первому способу привело к необходимости иметь пять кругов (рис. 6), а сочетание первого и второго способов позволяет разместить переменные на трех кругах.

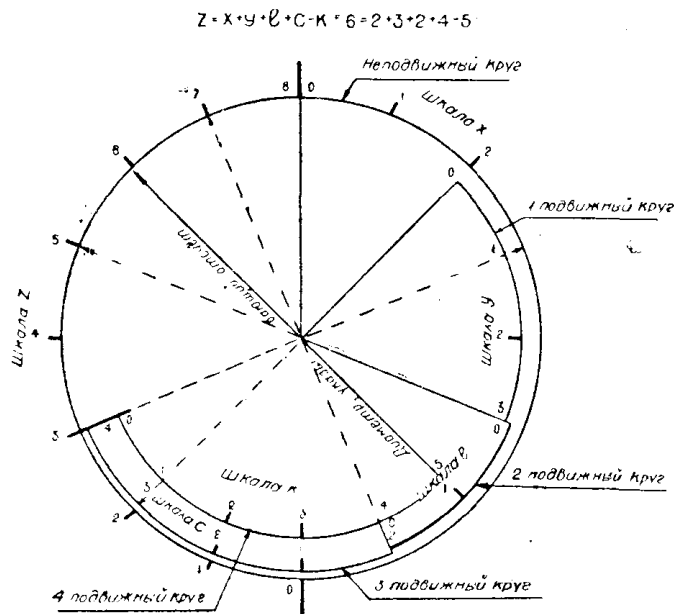


Рис. 6.

На рис. 7 показано построение кругового прибора (номограммы) для расчета по формуле (3) при $x=2$, $y=3$, $l=2$, $C=5$, $k=4$ и $Z=8$.

Как видно из рис. 7, сначала складываем x и y , используя второй способ построения кругового прибора (номограммы) для трех переменных (рис. 4). От стрелки диаметра среднего подвижного круга, указывающего отсчет на нижнем неподвижном круге, по первому способу построения круговых приборов (номограмм) для трех переменных величин (рис. 3) строим шкалу k . Далее, используя второй способ, наносим шкалу l на верхний подвижный круг и, используя первый способ, — шкалу C .

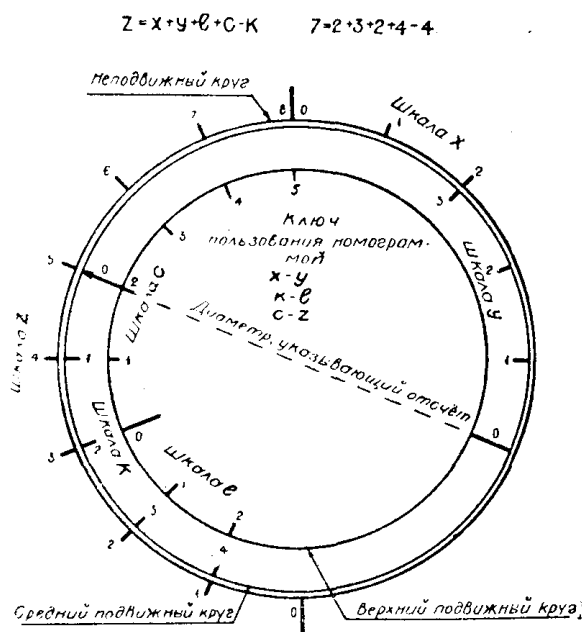


Рис. 7.

Указанный способ построения кругового прибора (номограммы) для расчетов по формуле (3) приводит к следующему ключу пользования прибором (номограммой), нанесенному на чистом поле верхнего подвижного круга $x - y$, $k - l$, $C - Z$, т. е. для нахождения Z необходимо совместить сначала штрихи шкал x и y , а потом, придерживая средний и нижний круги, совместить штрихи шкал k и l , а штрих шкалы C укажет на шкале Z ответ.

Формула (3) показывает, что от порядка производства сложения слагаемых x , y , l , C и вычитания вычитаемого k ответ (т. е. Z) не меняется. Следовательно, при построении кругового прибора (номограммы) можно делать любое размещение и совмещение шкал переменных.

В основу рационального размещения шкал должно быть положено:

1. Достижение минимального диаметра кругового прибора (номограммы) при принятых пределах переменных величин.

2. Максимальное использование длин окружностей нижнего неподвижного круга, среднего подвижного и минимальное верхнего подвижного круга. Это обеспечивает возможность без добавления кругов использовать круговой прибор (номограмму) для расчета еще по другим формулам.

Положительные переменные величины при построении и пользовании круговым прибором (номограммой) суммируются в одном направлении, а отрицательные — в противоположном, поэтому при перенесении в формуле (3) положительных переменных в одну, а отрицательных в другую, т. е. исключение отрицательных переменных, определит минимальный диаметр.

Рациональный диаметр круговой номограммы будет, когда

$$Z + k = x + y + l + C. \quad (4)$$

При $x=4$, $y=5$, $l=4$, $C=3$, $k=2$ и $Z=14$ рациональный диаметр круговой номограммы определится из выражения

$$\pi D_{\text{рац}} = l_{\text{рац}} = Z + k = x + y + l + C = 14 + 2 = 4 + 5 + 4 + 3 = 16,$$

откуда

$$D_{\text{рац}} = \frac{l_{\text{рац.}}}{\pi} = \frac{16}{\pi}. \quad (5)$$

Изложенное подтверждают рис. 7 и 8, на которых составлены две круговые номограммы с одинаковой ценой деления и одинаковыми диаметрами кругов, но первая (рис. 7) для $Z=8$, а вторая (рис. 8) для $Z=14$.

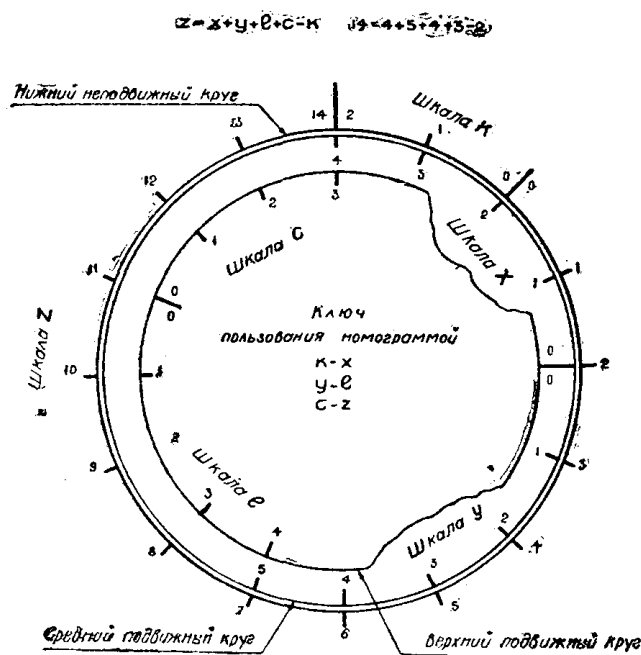


Рис. 8.

Если же вместо равномерных шкал в построенных круговых приборах (номограммах) (рис. 7 и 8) нанести логарифмические шкалы, то отсчеты будут связаны соотношением:

$$\lg Z = \lg x + \lg y + \lg l + \lg C - \lg k \quad (6)$$

или

$$Z = \frac{x \cdot y \cdot l \cdot C}{k}. \quad (7)$$

Следовательно, замена равномерных шкал логарифмическими позволяет приборы (номограммы) для сложения и вычитания превратить в приборы (номограммы) для умножения и деления.

Длины шкал переменных величин при этом определяются по формулам:

$$l_h = \lg h \cdot M_h, \quad (8)$$

$$l_x = \lg x \cdot M_x, \quad (9)$$

$$l_y = \lg y \cdot M_y, \quad (10)$$

$$l_l = \lg l \cdot M_l, \quad (11)$$

$$l_c = \lg c \cdot M_c, \quad (12)$$

$$l_k = \lg k \cdot M_k, \quad (13)$$

где $l_h, l_x, l_y, l_l, l_c, l_k$ — длины шкал переменных величин, $M_h, M_x, M_y, M_l, M_c, M_k$ — масштабы шкал переменных величин.

Тогда формула (6) примет вид:

$$l_h = l_x + l_y + l_l + l_c - l_k. \quad (14)$$

Для всех формул, которые могут быть приведены к виду формулы (14), применим изложенный способ построения круговых приборов (номограмм). Приведение других формул к виду формулы (14) изложено ниже.

Формула

$$h = \frac{x^2}{y^3} \quad (15)$$

после логарифмирования примет вид:

$$\lg h = 2 \lg x - 3 \lg y. \quad (16)$$

Для того, чтобы длина шкалы (l_h) переменной величины h равнялась алгебраической сумме длин шкал ($l_x - l_y$) переменных величин x и y , а равенство (16) приняло вид

$$l_h = l_x - l_y,$$

необходимо подобрать соответствующие масштабы шкал.

Формула (16) показывает, что масштабы шкал должны быть прямо пропорциональны показателям степеней переменных величин. Обозначив через a показатель степени переменного h , через b — переменного x и через c — переменного y , а через M_h, M_x, M_y — масштабы шкал переменных величин, получим:

$$\frac{a}{b} = \frac{M_h}{M_x}, \quad (17)$$

$$\frac{a}{c} = \frac{M_h}{M_y}. \quad (18)$$

Длины шкал переменных величин определяются по формулам:

$$l_h = \lg h \cdot M_h, \quad (19)$$

$$l_x = \lg x \cdot M_x, \quad (20)$$

$$l_y = \lg y \cdot M_y, \quad (21)$$

а формула (16) примет вид:

$$l_h = l_x - l_y. \quad (22)$$

Формула (22) аналогична формуле (14). Следовательно, изложенная выше методика построения круговых номограмм применима и для формулы 15.

Пользуясь вышеизложенной методикой построения кругового прибора по формулам с многими переменными, строим круговой прибор (номограмму) для подсчета депрессии горных выработок.

Депрессия отдельных горных выработок, составляющих вентиляционную струю, в настоящее время определяется по формуле

$$h = \alpha \frac{LP}{S^3} Q^2, \quad (23)$$

где h — депрессия выработки в мм вод. ст.;

α — коэффициент трения, зависящий от степени шероховатости выработки;

L — длина выработки в м;

P — периметр выработки в м;

S — площадь поперечного сечения выработки в m^2 ;

Q — количество воздуха, проходящее по выработке в $m^3/сек.$

Зависимость между поперечным сечением выработки (S) и ее периметром (P) выражается формулой:

$$P = C \sqrt{S} \quad \text{или} \quad C = \frac{P}{\sqrt{S}}, \quad (24)$$

где P — периметр выработки в м;

C — коэффициент, зависящий от формы выработки;

S — площадь поперечного сечения выработки в m^2 .

Это дает возможность в формуле (23) периметр (P) заменить через площадь поперечного сечения (S) по формуле (24). Тогда формула (23) примет вид:

$$h = \alpha \frac{LC\sqrt{S}}{S^3} Q^2 \quad \text{или} \quad h = \alpha \frac{LC}{S^{2,5}} Q^2. \quad (25)$$

Для исключения необходимости арифметического подсчета величины C , а также для установления средних величин C , в зависимости от формы при приближенных расчетах, составляем таблицу для стандартных поперечных сечений горных выработок.

Для квадратной формы поперечного сечения со стороной квадрата, равной a , периметр P будет равняться $4a$, т. е. $P = 4a$, а площадь квадрата S равняется a^2 , т. е. $S = a^2$. По формуле (24) определяем величину C , подставляя P и S , выраженные через сторону a квадрата

$$C = \frac{P}{\sqrt{S}} = \frac{4a}{\sqrt{a^2}} = 4, \quad C_{\text{кв}} = 4.$$

Для круглого сечения $P = \pi D$, а $S = \frac{\pi D^2}{4}$ (где D — диаметр круглой выработки); подставляя эти значения в формулу (24), получим:

$$C = \frac{\pi D}{\sqrt{\frac{\pi D^2}{4}}} = 3,55, \quad C_{\text{кр}} = 3,55.$$

Для прямоугольного сечения со сторонами a и b , $P = 2a + 2b$, а $S = a \cdot b$.

$$\text{При } \frac{b}{a} = 4, \quad b = 4a,$$

$$P = 2a + 2(4a) = 10a, \quad S = a \cdot 4a = 4a^2.$$

Подставляя эти выражения P и S в формулу (24), получим:

$$C \parallel \frac{10 a^2}{\sqrt{4 a^2}} = 5.$$

$$\text{При } \frac{b}{a} = 3, \quad b = 3 a,$$

$$P = 2 a + 2(3 a) = 8 a, \quad S = a \cdot 3 a = 3 a^2.$$

Подставляя эти выражения P и S в формулу (24), получим:

$$C = \frac{8 a}{\sqrt{3 a^2}} = 4,63.$$

$$\text{При } \frac{b}{a} = 2, \quad b = 2 a,$$

$$P = 2 a + 2(2 a) = 6 a, \quad S = a \cdot 2 a = 2 a^2.$$

Подставляя эти выражения P и S в формулу (24), получим:

$$C = \frac{6 a}{\sqrt{2 a^2}} = 4,25.$$

По полученным величинам коэффициента C для различных форм поперечного сечения выработок составляем таблицу.

Коэффициент C , учитывающий форму выработки

Таблица

№ пп	Форма выработки	Коэффициент C	
1	Прямоугольная		
	$\frac{b}{a} = 4$	5,00	
	$\frac{b}{a} = 3$	4,63	
	$\frac{b}{a} = 2$	4,25	
2	Квадратная		
	$\frac{b}{a} = 1$	4,00	
3	Круглая	3,55	
4	Сводчатая	3,85	
5	Горизонтальные, прямоугольные и трапециoidalные:		
		а) однопутевые	4,02
		б) двухпутевые	4,20

} приближенно

Логарифмируя выражение (25), получим:

$$\lg h = \lg a + \lg L + \lg C + 2 \lg Q - 2,5 \lg S. \quad (26)$$

Формула (26) аналогична формуле (6). Следовательно, изложенная методика построения круговых номограмм применима и для формулы (25).

Приняв масштабы шкал переменных величин h, α, L, C одинаковыми и равными 10, так как показатели степени у них ($a=1$) одинаковые, по формулам (17) и (18) определяем масштаб (M_Q) шкалы Q и масштаб (M_S) шкалы S

$$\frac{a}{b} = \frac{M_h}{M_Q} \quad \text{или} \quad \frac{1}{2} = \frac{10}{M_Q},$$

откуда $M_Q = 20$,

$$\frac{a}{C} = \frac{M_h}{M_S} \quad \text{или} \quad \frac{1}{2,5} = \frac{10}{M_S},$$

откуда $M_S = 25$.

Пределы переменных величин, входящих в формулу (25) подсчета депрессии горных выработок, принимаем по данным практики:

α от 0,0003 до 0,005,

L от 1 м до 100 м,

C от 3,55 до 5,0,

Q от 0,40 м³/сек до 550 м³/сек,

S от 1,5 м² до 45 м², соответственно

h от 0,004 до 80 мм вод. ст.

Строим круговую номограмму (рис. 9) изложенным выше способом.

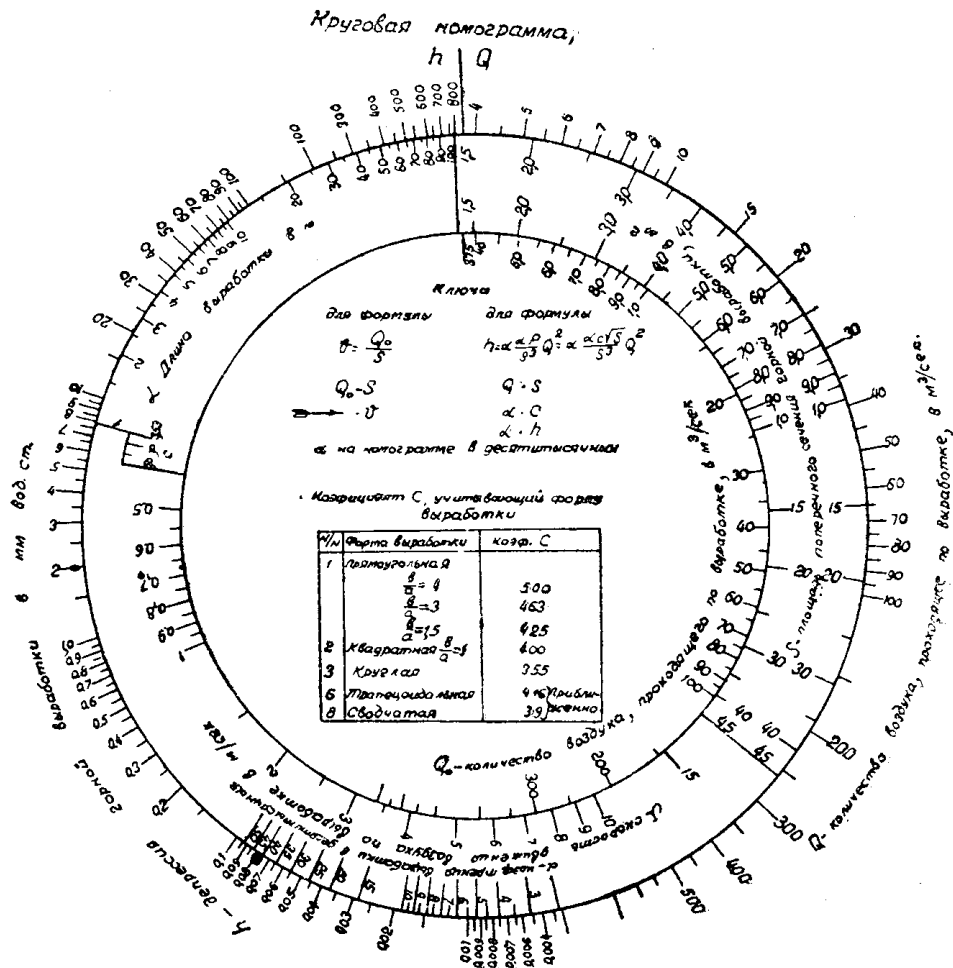


Рис. 9

Круговая номограмма, для подсчета депрессии горных выработок, представляет собой три круга, лежащих один на другом, с логарифмическими шкалами. Нижний неподвижный круг имеет шкалы h и Q , средний—подвижной шкалы S и α , верхний—подвижной шкалы C и L . На свободном поле верхнего подвижного круга нанесен ключ пользования круговой номограммой и таблица величин коэффициента C , учитывающего форму поперечного сечения горной выработки (рис. 9).

Ключ пользования круговой номограммой указывает, что для подсчета депрессии горной выработки по формуле (25) необходимо сначала совместить штрихи шкал переменных величин Q и S , а потом, закрепив нижний и средний круг, совместить штрихи шкал переменных величин C и α , а штрих шкалы L верхнего круга укажет ответ, т. е. искомое значение h на нижнем неподвижном круге.

Правило технической эксплуатации угольных шахт требует, прежде чем приступить к подсчету депрессии горных выработок, проверять скорость движения воздуха по ним. Это позволяет установить соответствие принятых скоростей движения воздуха по горным выработкам правилам технической эксплуатации, в какой-то степени уже судить о затрате энергии на проветривание горных выработок и установить „узкие“ места в принятой схеме проветривания. Поэтому на среднем круге, на окружности диаметром меньшим, чем сам круг, нанесены логарифмические шкалы переменных величин S и V , а на верхнем круге на окружности такого диаметра, как и на среднем круге, нанесена логарифмическая шкала переменной величины $Q_0 = Q$.

На поле верхнего круга помещен ключ пользования круговой номограммой для подсчета скоростей движения воздуха по горной выработке, по формуле:

$$V = \frac{Q_0}{S} = \frac{Q}{S}.$$

Этот ключ указывает, что для определения скорости движения воздуха по горной выработке нужно совместить требуемый штрих шкалы Q_0 верхнего круга, указывающего величину количества воздуха, протекающего по выработке, с требуемым штрихом шкалы S , среднего круга указывающим площадь поперечного сечения горной выработки, а стрелка, находящаяся на верхнем круге, укажет скорость движения воздуха по горной выработке на шкале V (скорость движения воздуха по горной выработке) среднего подвижного круга.

Являясь простой, круговая номограмма обеспечивает точность подсчета до второго и даже третьего знака.

Сохраняя достаточную точность подсчета депрессии горных выработок, круговая номограмма даст возможность сократить затрату времени на подсчет депрессии горных выработок в пять раз и больше.

Пользование круговой номограммой значительно снижает также и умственное напряжение при подсчетах, вследствие чего в большей степени исключается вероятность ошибки.

Предлагаемая круговая номограмма применима для всех существующих форм горных выработок, площадей поперечного сечения их от 1,5 до 45 м², любых длин выработок, коэффициентов трения от 0,0002 до 0,005 и скоростей движения воздуха в горных выработках от 0,25 до 15 м/сек.

Использование номограммы для подсчета переменных величин по 2 формулам превращает круговую номограмму в своего рода счетную машинку.