Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIII, вып. 1, 1966 г.

УДК 621.316.176:621.3.019.3

ПОВРЕЖДЕНИЯ КАРЬЕРНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

В. И. Бочаров

При взрывах на уступах карьера возможны поражения элементов карьерной распределительной сети (КРС) кусками взорванной массы. Это вызывает как прямой ущерб, вызванный повреждением элементов КРС, так и косвенный — вызванный простоем горных машин во время ремонта поврежденных элементов. В периодической печати все еще продолжаются дискуссии о расстояниях, безопасных при возможных разлетах кусков взорванной массы [Гордон, 1962; Садовский, Белопухов, 1963]. Специалисты буровзрывных работ предложили несколько расчетных формул [Лаврентьев, Кузнецова, Шер, 1961; Гордон, 1962, Садовский, Белопухов, 1963] определения возможного максимального разлета кусков взорванной массы. Но до сих пор неясен вопрос об электросетевом оборудовании, оказавшемся в опасной зоне. На практике вопрос демонтажа КРС из опасной зоны решается интуитивно в зависимости от опыта эксплуатационного персонала.

Как показал Б. Е. Гордон [1962], максимальная дальность разлета кусков горной массы в Криворожском бассейне составила 600—800 *м*. Эти расстояния значительно превосходят регламентированную правилами безопасности безопасную зону. По собранным автором материалам аварийной статистики повреждаемости КРС при массовых взрывах на уступах скважинными зарядами, из 747 случаев в 244 зафиксированы повреждения элементов карьерной сети.

Материалы аварийной статистики обрабатывали следующим образом. Условились, что повреждаемость отдельных пролетов карьерной сети изменяется с удалением от взрываемого блока по показательному закону

$$P_i^* = \exp^{-\alpha (l_к - l_i)}, \qquad (1)$$

где P_i^* — частота поражения пролета при взрыве на расстоянии l_i от взрываемого блока; α — расчетный коэффициент; $l_к$ — критическое расстояние, на котором линия повреждается с вероятностью, равной 1; l_i — действительное расстояние от линии до взрываемого блока.

Для определения коэффициента α необходимо установить функциональную зависимость $P_i^* = f(\Delta l)$. Для этого целесообразно сгладить экспериментальные зависимости по методу наименьших квадратов, приняв за аппроксимирующую функцию уравнение (1). Чтобы функция $f(\Delta l)$ была наивероятнейшей, т. е. чтобы сумма квадратов отклонений

наблюденных значений P_i^* от $f(l_i)$ была минимальной, для нашего случая должно быть

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_i^* - \exp^{-\alpha l_i}\right) = \min. \qquad (2)$$

Тогда

$$P_i^* = f(\alpha, l_i).$$

В этом уравнении необходимо подобрать параметр α (методом наименьших квадратов) для наилучшего сглаживания экспериментальной кривой. Зададимся рядом значений параметра α и для каждого из них найдем сумму квадратов отклонений

$$f\left[\sum(\alpha)\right] = \sum_{i=1}^{n}\left[P_i^* - f(\alpha, l_i)\right]^2 \qquad (3)$$

Построив графики зависимости

$$f\left[\sum(\alpha)\right],$$

найдем значение, для которого $f\,[\Sigma\,(\alpha)] = \min$, и подставим в уравнение (1). В результате получим в направлении развала забоя $\alpha_{\text{разв}} = 0{,}012$; в сторону уступа $\alpha_{\text{уст}} = 0{,}0161$; в сторону фланга взрываемого блока $\alpha_{\text{фл}} = 0{,}036$.

Чтобы оценить вероятность поражения карьерной распределительной сети по ее частоте, найдем доверительные интервалы.

Если задаться, например, доверительной вероятностью $\beta = 0{,}9$, ($\varepsilon_\beta = \pm 0{,}0289$) в сторону развала взрываемого блока,

$$0{,}385 < P_{\text{разв}} < 0{,}469$$

и вероятностью $\beta = 0{,}8$ ($\varepsilon_\beta = \pm 0{,}0374$), то

$$0{,}384 < P_{\text{разв}} < 0{,}459.$$

Аналогичным образом, если задаться доверительной вероятностью поражения в сторону уступа $\beta = 0{,}9$, то

$$0{,}268 < P_{\text{уст}} < 0{,}352.$$

На основании обработки материалов аварийной статистики (см. таблицу), выражение (1) было подтверждено. При этом в качестве $l_к$

Характеристика поражаемости линий

Направление взрыва	Частота повреждаемости пролета * при удаленности от места взрыва (м)						
	40—60	60—80	80—100	100—120	120—140	140—160	200—250
В сторону развала	0,95 / 0,8	0,717 / 0,67	0,494 / 0,548	0,352 / 0,449	0,228 / 0,367	0,214 / 0,3	0,135 / 0,23
В сторону уступа (борта карьера)	0,9 / 0,726	0,53 / 0,527	0,35 / 0,382	0,197 / 0,278	0,232 / 0,2	0,23 / 0,146	0,136 / 0,11
В сторону фланга взрываемого блока.	0,6 / 0,486	0,234 / 0,236	0,184 / 0,122	0,129 / 0,06	0,09 / 0,026		
Число случаев наблюдения **	90 / 80	158 / 86	201 / 76	142 / 34	140 / 30	44 / 10	59 / 8

* В числителе экспериментальные, в знаменателе теоретические данные.
** В числителе число наблюдений, в знаменателе — число повреждений.

принято расстояние, на котором карьерная сеть повреждается с вероятностью более 0,9, и $\alpha = 0{,}01 \div 0{,}036$.

При других горногеологических условиях и иных методах взрыва коэффициент α может меняться. Когда поражаемость карьерной сети с удалением от взрываемого блока изменяется по закону редких событий (закону Пуассона, формуле 4), вероятностную сетку поражения КРС можно рассчитать и построить лекало (рис. 1), с помощью которого определяется вероятность поражения отдельных элементов КРС, оказавшихся в зоне возможного разлета кусков взорванной массы.

Для построения лекала предварительно необходимо вычертить в виде прямоугольника контуры взрываемого блока в масштабе плана карьера. Затем зону вероятностного поражения КРС разделить на четыре участка линиями под углом 45° к основной оси блока: в сторону развала, в противоположную сторону (в сторону борта карьера) и в обе стороны флангов уступа (рис. 1). После этого, используя данные аварийной статистики, надо нанести циркулем зоны возможного поражения с заданной вероятностью. Вычертив лекало на кальку, наложить его на план взрываемого блока и подсчитать ожидаемое число поврежденных элементов КРС

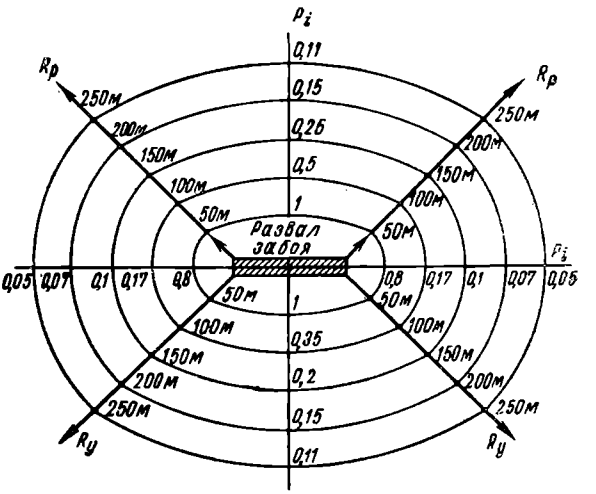


Рис. 1. Вероятностная сетка (лекало) поражения кусками взорванной массы КРС в зависимости от ее местоположения в момент взрыва. $R_р$ и $R_у$ — границы зон повреждения.

$$m_{КРС} = \sum_{i=1}^{n} P_{КРС\,i}, \qquad (4)$$

где $P_{КРС\,i}$ — вероятность пороженния i-го элемента (пролета) карьерной сети, попавшей в данную зону поражения.

Стоимость поврежденного пролета, попавшего в зону разлета кусков взорванной массы, определим по формуле

$$a_i = (0{,}0127 + 0{,}334\,P_{пораж})\,P_{попад} K_{КРС},$$

где $P_{пораж}$ — вероятность поражения; $P_{попад}$ — вероятность попадания; $K_{КРС}$ — стоимость пролета карьерной сети.

Стоимость пораженного элемента любого другого оборудования может быть подсчитана по формуле

$$a_i = K_i P_{пораж} P_{попад} \gamma, \qquad (5)$$

где K_i — стоимость элемента КРС; γ — доля поражения элементов сети.

Зная число поврежденных элементов КРС (формула 5), вероятное время аварийного простоя $T_{ав.к}$ электроприемника, подключенного

к участку сети, оказавшемуся в зоне поражения, можно определить по формуле.

$$T_{\text{ав. к}} = t_{\text{п}} + m_{\text{к}} t_{\text{к}}, \tag{6}$$

где $t_{\text{п}}$ — время, необходимое для отыскания поврежденного элемента сети при взрыве; $m_{\text{к}}$ — число поврежденных элементов схемы; $t_{\text{к}}$ — продолжительность ремонта элемента схемы, для железорудного карьера $t_{\text{п}} = 35 \div 45$ *мин*.

Время ремонта поврежденных элементов КРС

$$t_{\text{рем}} = 0{,}952 + (m - 1)\,0{,}387, \tag{7}$$

где m — число поврежденных элементов сети КРС.

Зная вероятность ожидаемого поражения отдельных элементов КРС, подсчитаем ущерб от взрыва, когда элементы КРС остаются в опасной зоне с вероятностью $P_{\text{дем}}$

$$У_1 = N_{\text{взр}} K_{\text{КРС}} P_{\text{дем}} \{[0{,}367\, m_{\text{КРС}} + (0{,}082 + C_{\text{э}} N_{\text{э}})] + У_{\text{ру}} \gamma\}, \tag{8}$$

где $N_{\text{взр}}$ — число предполагаемых взрывов за данный период эксплуатации; $P_{\text{дем}}$ — вероятность оставления элемента КРС в опасной зоне,

$$P_{\text{дем}} = \left(1 - \frac{n}{N_{\text{взр}}}\right);$$

n — число демонтажей элемента схемы из опасной зоны; $У_{\text{ру}}$ — ущерб от повреждения карьерных приключательных пунктов, подвижных карьерных трансформаторных подстанций и других элементов схемы КРС; $C_{\text{э}}$ — стоимость простоя подключенного к сети и оказавшегося в опасной зоне электроприемника; $N_{\text{э}}$ — число электроприемников.

Если перед началом взрыва все электроприемники полностью выведены из опасной зоны и КРС демонтирована, а затем после взрыва опять подключены к вновь смонтированной КРС, тогда ожидаемый ущерб от простоя

$$У_2 = n K_{\text{КРС}} (C_{\text{э}} N_{\text{э}} + 0{,}062)\, T_{\text{ав. к}}, \tag{9}$$

где продолжительность простоя электроприемников,

$$T_{\text{ав. к}} = 0{,}537\, n_{\text{пр}},$$

$n_{\text{пр}}$ — число демонтированных пролетов.

Для определения оптимальных условий монтажа и демонтажа ЛЭП, т. е. определения n демонтажа, и целесообразности оставления участков КРС в зоне разлета взорванной массы, необходимо решить совместно уравнения (8) и (9) методом минимизации затрат относительно n (рис. 2).

Методика расчета оптимальных мероприятий в период взрывов на уступах. Построив лекало в масштабе плана горных выработок карьера, в том же масштабе нанесем на него площадь взрываемого блока и подсчитаем число участков КРС, попавших в зону возможного разлета кусков взорванной массы. Затем определим ожидаемое число поврежденных элементов карьерной сети по формуле (4). Зная число электроприемников, подключенных к элементам КРС, оказавшейся в опасной зоне, определим возможный ущерб от простоя электроприемников и поражения КРС по формуле (8) на $N_{\text{взр}}$ предполагаемых взрывов в течение месяца или года.

Совместным решением уравнений (8) и (9) определим оптимальное число n демонтажей КРС из опасной зоны.

Для удобства расчетов на рис. 2 дано графическое решение этих формул. Подсчитав число электроприемников, которые получают питание по КРС, оказавшейся в опасной зоне, найдем седловую точку (точку пересечения A) кривых, а по ней — оптимальное число n.

Чтобы определить ущерб от поражения карьерных электросетевых устройств, необходимо задаться площадью поражения этих устройств

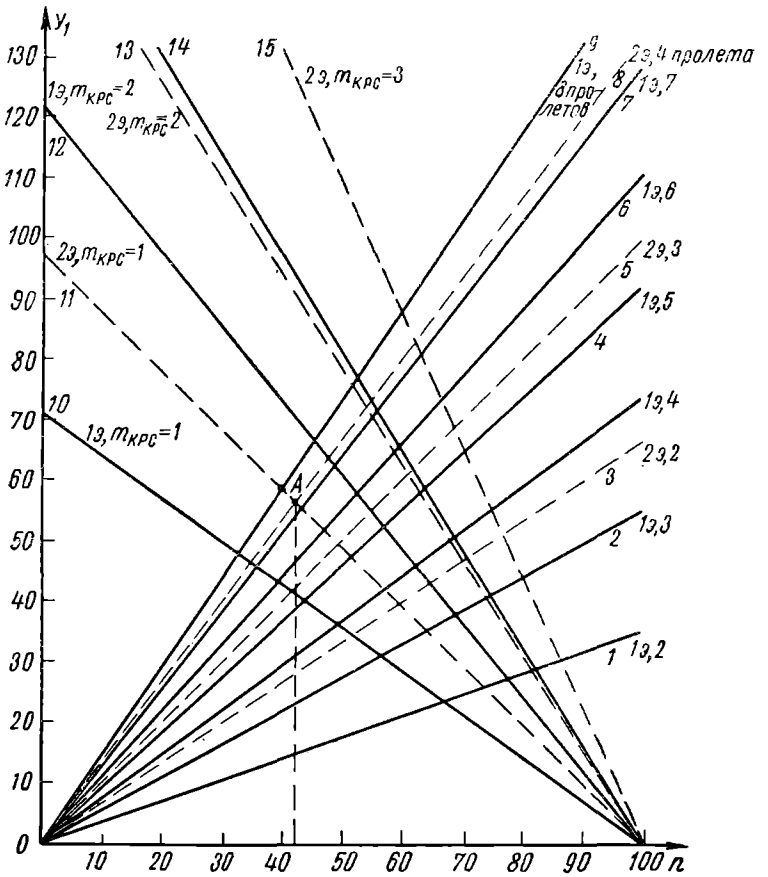


Рис. 2. Расчетные зависимости определения оптимального числа демонтажных работ n в зависимости от ожидаемого числа поврежденных элементов $m_{КРС}$ карьерной сети и числа электроприемников $Э$.

Кривые *1—9* — графическое решение формулы (8), кривые *10—15* — формулы (9).

$S_к$ (например, площадью вводных изоляторов и т. п.). Затем, зная кучность разброса поражающих кусков взорванной массы, определим вероятность поражения данного узла устройства

$$P_s = 1 - e^{-S_к},$$

а следовательно, долю поражения γ и, наконец, ожидаемый ущерб от поражения (рис. 3).

Пример. Определить оптимальные условия демонтажных работ двух вариантов карьерной сети — фронтально-продольной и поперечно-фронтальной, оказавшихся в зоне возможного разлета кусков взорванной

массы — при параметрах взрыва по таблице, длине взрываемого блока $l_{бл} = 200$ *м*, массовых $N_{взр}$ 100.

Построив лекало (см. рис. 1), подсчитаем вероятность поражения пролетов карьерной сети и по формуле (4) найдем ожидаемое число повреждений.

1. Предположим, число фронтально-продольных линий $n_{КРС} = 4$. Тогда ожидаемое число повреждений $m_{КРС}$ для четырех линий в сторону развала в первой зоне 6,44, во второй — 3,24, в третьей — 2,6, в четвертой — 1,05 и всего — 13,33.

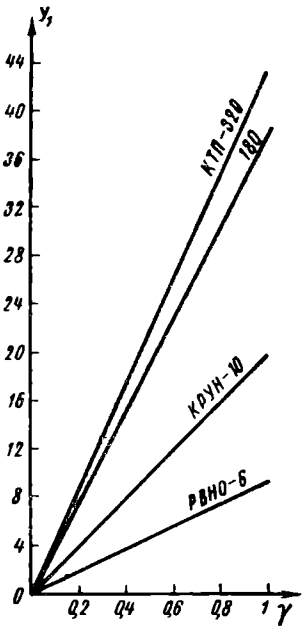


Рис. 3. Зависимость ожидаемого ущерба $У_1$ от доли поражения элементов КРС.

Если предположить, что поперечно-фронтальная линия проходит по зоне взрываемого блока, то ожидаемое число повреждений в четырех зонах будет соответствовать 0,75; 0,37; 0,2 и 0,13. Всего $m'_{КРС} = 1,45$.

Относительная повреждаемость двух сравниваемых вариантов

$$\frac{m_{КРС}}{m'_{КРС}} = \frac{13,33}{1,45} = 9,2$$

Таким образом, можно ожидать, что число повреждений для фронтально-продольной сети будет в 4—9 раз больше, чем для поперечно-фронтальной сети.

Предположим, фронтально-продольная линия проходит в 100 *м* от взрываемого блока. Тогда ожидаемое число повреждений в зоне $R_р - R_р$ (см. рис. 1) $m_{КРС} = 4,9$, а в участке $R_р - R_у$ соответственно $m_{КРС} = 0,75$.

По формулам (9), (10) или номограмме найдем оптимальное число демонтажа при 100 взрывах: для участка $R_р - R_р$, $n_{опт} = 90$; для участка $R_р - R_у$ $n_{опт} = 10—12$.

Следовательно, в зоне $R_р - R_р$ на 100 взрывов целесообразно демонтировать карьерную линию в 90 случаях, а в зоне $R_р - R_у$ — в 10—12 случаях. Если этого не предусмотреть, ожидаемый ущерб составит 10—15 тыс. руб. на 100 взрывов, когда к линии подключен один экскаватор.

Выводы

1. Когда повреждаемость карьерной сети, оказавшейся в зоне возможного разлета кусков взорванной горной массы, согласовывается с законом редких событий (законом Пуассона), целесообразно воспользоваться предлагаемым методом расчета вероятности повреждения элементов КРС и выбора местоположения КРС при массовых взрывах с учетом минимума ущерба.

2. Ожидаемое число повреждений во время массовых взрывов поперечно-фронтальных сетей в 4—9 раз меньше, чем фронтально-продольных. Это следует учитывать при сооружении КРС.

3. Так как предлагаемая методика является первой попыткой расчета оптимальных условий повышения надежности карьерной распределительной сети в период массовых взрывов на уступах, для ее проверки следует учитывать повреждаемости КРС при взрывах в различных горно-геологических условиях и для различных методов взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

Гордон Б. Е. О взрывобезопасном расстоянии для карьеров. Горный журнал, № 9, 1962.

Лаврентьев М. А., Кузнецов В. М., Шер Е. Н. О направленном метании грунта при помощи взрыва. В сб. Народно-хозяйственное использование взрыва, вып. 17. Изд. Сиб. АН СССР, 1961.

Садовский М. А., Белопухов Л. К. О безопасных расстояниях по разлету грунта при подземных взрывах. Безопасность труда в промышленности, № 6, 1963.