

испытаний в условиях, где в соответствии с ДНАОП 0.00-1.17-92 «Единые правила безопасности при взрывных работах» допускается применение взрывчатых веществ первого и второго классов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский, Г.И. Направленное действие взрыва [Текст] - М.: Воениздат. -1942. - С.33-37.
2. Покровский, Г.И. Боевое применение направленного взрыва [Текст] - М.: Воениздат. - 1944. - С. 35 – 41.
3. Асонов, В.А. Взрывные работы на металлических рудниках [Текст]: В.А Асонов, С.А. Давыдов, В.С. Романов /.- М.: Metallurgizdat, - 1950. - С.50-80.
4. Clark, G.W. Application the shaped charge in Mining [Текст] / G.W Clark, R..S. Lewis / Bulletin University of Utah, -1953, - №1.
5. Андреев, Е.Т. Прессованные кумулятивные шашки для дробления негабарита на карьерах [Текст] сб. науч. тр. Свердловский горный институт, - Свердловск - 1956. - С. 51– 55.
6. А.с. №73672 СССР. Кумулятивный заряд [Текст]. Автор Каменка Б.И. Бюл. №12, 1948.
7. Пат. №21696 А Украина. Кумулятивный цилиндрический заряд [Текст] / Косенко В.И.; заяв. 10.07.95 ; опуб. 10.12.98, Бюл. №2.
8. Косенко В.И. Эффективность взрывного разрушения горных пород зарядами с торцевыми линейными двугранными кумулятивными выемками [Текст] / сб. науч. тр.. Геотехническая механика. Вып. 22.-2000. - С.121-125.

**УДК 622.235:621.869**

Канд. техн. наук А.И. Чайковский  
(ИГТМ НАН Украины)

### **ВЫБОР ТРАНСПОРТНО – СМЕСИТЕЛЬНО – ЗАРЯДНЫХ МАШИН ДЛЯ ДОСТАВКИ, ЗАРЯЖАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ**

Запропоновані методики розрахунку технологічних параметрів та вибіру транспортно-змішувально-зарядних вантажівок для транспортування і заряджання свердловин вибуховими речовинами в залежності від деяких технологічних факторів процесу підготовки масового вибуху.

### **CHOICE TRANSPORT - AMALGAMATOR - CHARGE OF MACHINES FOR DELIVERY, TO CHARGE OF EXPLOSIVE SUBSTANCES BY PREPARATION of MASS EXPLOSIONS**

The techniques of account of technological parameters transport - amalgamator - charge of machines for transportation and to charge of chinks by explosive substances are offered depending on some technology factors of process of preparation of mass explosion.

Взрывное рыхление массива является начальным процессом при разработке полускальных и скальных пород, который оказывает влияние на эффективность всех горных работ на карьерах.

Совершенствование техники и технологии рыхления массива базируется на оптимальной увязке во времени и пространстве обрабатываемого

месторождения процессов бурения взрывных скважин, взрывания, экскавации и транспортирования взорванной горной массы. На карьерах уровень механизации таких работ, как бурение, погрузка и транспортирование горной массы достаточно высок. Механизации взрывных работ не уделяется должного внимания, что отрицательно влияет на сроки проведения массовых взрывов. Сложность решения вопросов механизации взрывных работ возрастает в связи с созданием и применением новых типов взрывчатых веществ (ВВ) – многокомпонентных смесей.

Выполнение взрывных работ на горнодобывающих предприятиях связано с необходимостью проведения ряда технологических процессов, включающих загрузку транспортно - смесительно - зарядных машин (ТСЗМ) промышленными ВВ или смесевыми ВВ (игданиты, водосодержащие, эмульсионные и др.), доставку ВВ на место производства взрывных работ, непосредственно зарядание взрывных скважин, монтаж взрывной сети, забойку скважин. ТСЗМ после зарядания скважин и полной разгрузки транспортных емкостей возвращаются на склад взрывчатых материалов, что характеризует окончание одного транспортного рейса.

Выбор ТСЗМ обусловлен одновременным действием многих факторов. К ним относятся: тип ВВ, объем и дальность перевозок, число одновременно обслуживаемых взрывааемых блоков, размеры блоков, сетка скважин, их глубина, дорожные условия, как на дорогах общего пользования, так и карьерных дорогах, грузоподъемность ТЗСМ, наличие на базисных или расходных складах средств механизации начальных грузовых операций и др. Решение такой многофакторной задачи возможно путем обеспечения минимальных удельных приведенных затрат на транспортировку ВВ.

Способы решения этой задачи базируются на векторной оптимизации и комбинаторике с использованием многофакторных моделей. В такой постановке задача сводится к минимизации функционала:

$$Z_{np} = f(G_i, n_i, q_i, m_n, l_u) \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $Z_{np}$  – приведенные затраты на функционирование ТСЗМ для механизированной подготовки и зарядания взрывааемых блоков;  $G_i$  – сменный объем перевозок ВВ, т;  $n_i$  – число заряжаемых блоков;  $g_i$  – грузоподъемность ТЗСМ, т;  $m_n$  – масса нетто груза (ВВ или ингредиентов смеси ВВ, для его получения), т;  $l_u$  – расстояние транспортирования по кольцевому маршруту, км.

Математический эксперимент по оптимизированному плану и обработка результатов позволили найти эмпирическую зависимость типа (1) при четырех и пяти факторах. Статистическая обработка результатов эксперимента проводилась общепринятыми методами статистического анализа [1, 2]. Их значения изменяются в эксперименте в пределах, установленных при анализе статистических данных на ПЭВМ при транспортировании и зарядании ВВ в горнодобывающей промышленности Украины на предприятиях, имеющих ТСЗМ ( $G_i = 25 - 250$  т/ взрывной день;  $n_i = 1 - 3$ ;  $g_i = 8 - 25$  т;  $m_n = 5 - 12,5$  т;  $l_u =$

15 – 55 км). Приравняв к нулю первую производную  $Z_{np}$  по  $g_i$ , получим формулу для определения оптимального значения искомого фактора.

Вид полученной формулы, а значит и результат решения задачи, зависит от выбранной степени адекватности условий эксперимента реальным условиям эксплуатации ТСЗМ. Так, при предположении о полной загрузке ТСЗМ во всех рейсах (соответствие необходимого для взрыва количества ВВ общей грузоподъемности ТСЗМ) их оптимальную грузоподъемность можно выбрать по формуле:

$$g_i^{opt} = \frac{Q_{ВВ}}{N_{ТСЗМ}} = 12,908 + 0,615n_i - 0,054m_H + 0,0065l_u, \text{ т}, \quad (2)$$

где  $Q_{ВВ}$  - общее количество ВВ, необходимого для механизированного заряжания, т;  $N_{ТСЗМ}$  – количество ТСЗМ.

При рассмотрении реальных изменяющихся условий загрузки на базисных или расходных механизированных складах взрывчатых материалов эта зависимость приобретает вид:

$$g_i^{opt} = 27,683 + 7,391G_i + 6,582n_i - 24,86m_H - 0,382l_u, \text{ т}. \quad (3)$$

Путем подстановки в формулу (2) различных факторов было установлено, что оптимальное значение  $g_i^{opt}$  практически не изменяется в любых условиях - расчетные результаты лежат в интервале 7,7 – 8,7 т, т.е.  $g_i^{opt} \approx \text{const}$  и равно 8,0 т. Это является следствием упрощенного подхода к решению. Использование формулы (3) позволяет определить в конкретных условиях эксплуатации оптимальное значение  $g_i$ , изменяющееся в области факторного пространства эксперимента  $g_{i \min} \leq g_i^{opt} \leq g_{i \max}$ . При  $g_i^{opt} < g_{i \min}$  принимается граничное значение  $g_{i \min}$ .

Расчеты показали, что с экономической и технической целесообразности наибольшее применение на небольших гранитных карьерах, например ( $G_i = 25$  т/взрывной день;  $n_i = 1-2$ ;  $m_H = 7,1-7,5$  т;  $l_u = 15-35$  км), должны найти ТСЗМ грузоподъемностью  $g_i^{opt} = 7-8$  т. На более крупных карьерах с годовым расходом до 50 тыс.т ВВ рационально использовать ТСЗМ грузоподъемностью 10-12 т, на карьерах с годовым расходом свыше 50 тыс.т ВВ – ТСЗМ грузоподъемностью 25 т.

При отсутствии статистических данных, определяющих для конкретного горнодобывающего предприятия значение факторов ( $G_i, n_i, g_i, m_H, l_u$ ) выбор ТСЗМ и ее грузоподъемности возможно осуществить следующим образом.

Сменная производительность ТСЗМ определяется количеством ВВ, перевозимым в среднем за один рейс и количеством рейсов:

$$Q_{ТСЗМ} = N_p \cdot q_i^{opt} \cdot k_2, \text{ т/см}, \quad (4)$$

где  $Q_{ТСЗМ}$  – сменная производительность ТСЗМ, т/см;  $N_p$  – количество рейсов, выполненных ТСЗМ за смену;  $g_i^{opt}$  – оптимальная грузоподъемность ТСЗМ, т;  $k_2$  – коэффициент использования грузоподъемности.

Грузоподъемность ТСЗМ должна быть прямо пропорциональна объемам ВВ, перевозимым и подлежащим заряданию при подготовке массовых взрывов, дальности транспортирования ВВ от базисного или расходного склада к месту расположения, подготовленных под массовый взрыв, блоков и обратно пропорциональна скорости транспортирования ВВ и может быть представлена функциональной зависимостью:

$$q_i^{opt} = f(Q_{ТСЗМ}^1, L, V), \text{ т.} \quad (5)$$

В виде формулы:

$$q_i^{opt} = \frac{Q_{ТСЗМ}^1 L}{V}, \text{ т,} \quad (6)$$

где  $Q_{ТСЗМ}^1$  – производительность одной ТСЗМ, т/ч;  $L$  – расстояние транспортирования, км;  $V$  – скорость транспортирования ВВ, км/ч.

Анализ величин, входящих в функциональную зависимость показывает, что объем перевозимого ВВ одной ТСЗМ –  $Q_{ТСЗМ}^1$  и расстояние транспортирования –  $L$  для конкретных горнотехнических условий при подготовке массового взрыва постоянны, а объемы ВВ, перевозимых общим количеством ТСЗМ, изменяются в соответствии с планами горных работ.

Значения эксплуатационной скорости транспортирования ВВ от склада до карьера зависят от типа применяемых шасси автомобилей, но ограничены правилами перевозки ВВ и требованиями техники безопасности. При движении ТСЗМ в обратном направлении от карьера до склада скорость движения соответствует требованиям, распространяемым на автотранспорт общего назначения.

При создании типажа ТСЗМ основанием для определения грузоподъемности можно принять ряды предпочтительных стандартизованных чисел [3], согласно которым грузоподъемность ТСЗМ может составлять ... 8, 11, 16, ..., 25 т. Ограничением начала ряда является тип шасси, используемый для размещения навесного оборудования и полезного груза, с учетом маневренности и радиуса поворота на заряжаемом блоке. Этому ограничению соответствует шасси автомобиля МАЗ – 5549 с радиусом поворота 7,5 м. Ограничением конца ряда предпочтительных чисел является масса ВВ, перевозимого в емкости ТСЗМ по городским дорогам, устанавливаемая правилами безопасности, а также тип шасси.

Таким образом, выбор грузоподъемности ТСЗМ при отсутствии экономических данных о текущих, капитальных и приведенных затратах с учетом выше приведенных ограничений сводится к определению серийно выпускаемых шасси в диапазоне предпочтительных стандартизованных чисел,

которым соответствуют отдельные модификации автомобилей МАЗ- 5549, КрАЗ – 256Б1, 6510, БелАЗ – 548А.

Следовательно, в выражении (5) грузоподъемность ТСЗМ не изменяется при применении конкретного типа шасси, а сменную производительность можно рассматривать как величину, прямо пропорциональную количеству рейсов, выполненных за смену. Искомое количество рейсов определим из выражения:

$$N_p = \frac{T_{см}}{T_p}, \quad (7)$$

где  $N_p$  – количество рейсов ТЗСМ;  $T_{см}$  – продолжительность смены, ч;  $T_p$  – продолжительность рейса, ч.

Тогда формула (4) примет вид:

$$Q_{ТСЗМ}^1 = \frac{T_{см}}{T_p} \cdot q_i^{omm} \cdot k_2, \text{ т/см.} \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что при неизменных  $T_{см}$ ,  $g_i^{omm}$  и  $k_2$  сменная производительность ТСЗМ обратно пропорциональна продолжительности рейса.

Сокращение продолжительности рейса, когда расстояние от базисного или расходного склада является величиной постоянной, может быть достигнуто за счет увеличения скорости движения, ускорения погрузочно-разгрузочных операций, сокращения продолжительности простоя ТСЗМ при погрузочно-загрузочных и зарядных работах.

Продолжительность одного рейса ТСЗМ может быть выражена зависимостью:

$$T_p = t_{загр} + t_{гр} + t_{заряж} + t_{нор}, \text{ ч,} \quad (9)$$

где  $t_{загр}$  – время, затрачиваемое на загрузку и маневры в зоне загрузки ТСЗМ, ч;  $t_{гр}$  – время движения ТСЗМ, загруженной ВВ, ч;  $t_{заряж}$  – время, затрачиваемое на зарядание скважин, ч;  $t_{нор}$  – время движения с карьера на склад ТСЗМ без ВВ, ч.

Формулу (9) можно упростить, представив в виде суммы не четырех, а двух слагаемых:

$$T_p = t_{ов} + t_{нр}, \text{ ч,} \quad (10)$$

где  $t_{ов} = t_{гр} + t_{нор}$  – общее время движения ТСЗМ с ВВ и без ВВ, ч;  $t_{нр} = t_{загр} + t_{заряж}$  – общее время на выполнение погрузочно-разгрузочных

операций на складе и карьере, ч.

Увеличение скорости движения ТСЗМ, как было сказано выше, возможно до определенных значений, ограничиваемых требованиями безопасности. Поэтому основным резервом повышения производительности ТСЗМ является уменьшение времени простоя при загрузке ВВ в грузовые емкости ТСЗМ ( $t_{загр}$ ) и времени заряжания взрывааемых блоков ( $t_{зар}$ ). Сокращение продолжительности простоя ТСЗМ при выполнении погрузочно-разгрузочных операций с ВВ достигается за счет применения высокопроизводительных погрузочно-растаривающих и смесительно-загрузочных установок на складе ВВ.

Время простоя ТСЗМ под загрузкой определим по формуле:

$$t_{загр.} = \frac{q_i^{omm} k_2}{W_3^{py}}, \text{ ч}, \quad (11)$$

где  $W_3^{py}$  – эксплуатационная производительность погрузочно-растаривающих и смесительно-загрузочных установок, т/ч.

Величина эксплуатационной производительности погрузочно-растаривающих и смесительных установок на складах взрывчатых материалов представляет собой величину технической производительности за вычетом потерь рабочего времени, выраженных коэффициентом использования рабочего времени:

$$W_3^y = k_u W_{mex}^{py}, \text{ т/ч}, \quad (12)$$

где  $k_u$  - коэффициентом использования рабочего времени;  $W_{mex}^{py}$  - техническая производительность погрузочно-растаривающей установки, т/ч.

Тогда

$$t_{загр.} = \frac{q_1^{omm} k_2}{k_u W_{mex}^{py}}, \text{ ч}. \quad (13)$$

Время, затрачиваемое на заряжание скважин ТСЗМ, находим из выражения:

$$t_{зар.} = \frac{q_1^{omm.}}{\Pi} + 2t_g + t_{нор.}, \text{ ч}, \quad (14)$$

где  $t_n$  – время подготовки ТСЗМ в начале и конце заряжания, ч;  $t_{неp}$  – время переезда ТСЗМ от скважине к скважине, ч.

$$t = \frac{n t_{неp}'}{60}, \text{ ч}, \quad (15)$$

где  $t_{неp}'$  – время одного переезда, мин.

Число переездов ( $n$ ) от одной к другой заряжаемой скважине определим из выражения:

$$n = \frac{q_1^{omn}}{Q_{BB}} - 1, \quad (16)$$

где  $Q_{BB}$  – средняя величина заряда в скважине, т;  $g_i^{omn}$  - грузоподъемность ТСЗМ, т.

Время движения ТСЗМ на карьер  $t_{zp}$  и обратно  $t_{nop}$  зависит от расстояния транспортирования и средней скорости движения и определяется из выражений:

$$t_{zp.} = \frac{L}{V}, \text{ ч}; \quad (17)$$

$$t_{nop.} = \frac{L}{V_1}, \text{ ч}, \quad (18)$$

где  $L$  – среднее расстояние транспортирования ВВ ТСЗМ от склада до карьера, км;  $V$  – скорость движения ТСЗМ с ВВ, км/ч;  $V_1$  – скорость движения ТСЗМ в порожнем направлении, км /ч.

Среднее расстояние до карьеров находим из выражения:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \text{ км}, \quad (19)$$

где  $L_i$  – расстояние транспортирования ВВ до  $i$ -го карьера, км;  $A_i$  – объем ВВ, перевозимый ТСЗМ на  $i$ - карьер, т.

Подставив полученные выражения в формулу (5) получим зависимость:

$$T_p = \frac{q_i^{omn} \cdot k_z}{k_u W_{mex.}^{py}} + \frac{\sum_{i=1}^n L_i A_i}{V \sum_{i=1}^n A_i} + \frac{\sum_{i=1}^n L_i A_i}{V_1 \sum_{i=1}^n A_i} + \frac{q_i^{omn.}}{\Pi} + 2t_n + t_{nep.}, \text{ ч}. \quad (20)$$

Из формулы (8) получим выражение для определения средней эксплуатационной производительности ТСЗМ:

$$Q_{ТСЗМ} = \frac{T_{см} \cdot q_i^{onm} \cdot k_2}{\frac{q_i^{onm} \cdot k_2}{k_u W_{mex}^{py}} + \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V_1} \right) + \frac{q_i^{onm}}{\Pi} + 2t_n + t_n}, \text{ Т/ч} \quad (21)$$

Полагая  $t_{зар} = \frac{q_i^{onm}}{\Pi} + 2t_n + t_{nep}$  независимой переменной, а  $Q_{ТСЗМ}$  зависимой переменной при прочих параметрах постоянных, формулу (21) можно преобразовать в уравнение:

$$\frac{q_i^{onm} \cdot k_2}{k_u W_{mex}^{py}} \cdot Q_{ТСЗМ} + \frac{\sum_{i=1}^n L_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V_1} \right) Q_{ТСЗМ} + \left( \frac{q_i^{onm}}{\Pi} + 2t + t \right) Q_{ТСЗМ} - T_{см} q_i^{onm} \cdot k_2 = 0 \quad (22)$$

Выполнив преобразования в формуле (22) получим представление о виде кривой, графически характеризующей исследуемую функциональную зависи-

мость. Обозначим  $\frac{q_i^{onm} k_2}{k_u W_{mex}^{py}} = a$ ;  $\frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V_1} \right) = b$ ;  $T_{см} q_i^{onm} k_2 = c$ ;

$\frac{q_i^{onm}}{\Pi} + 2t_n + t_{nep} = x$ ;  $Q_{ТСЗМ} = y$ . Тогда уравнение примет вид:

$$xy + (a+b)y - c = 0. \quad (23)$$

В прямоугольных координатах  $(x, y)$  (рис. 1) перенесем начало координат в точку  $O_1$ , расположенную от точки  $O$  по оси абсцисс на расстоянии  $x_0 = -(a + b)$ . В новой системе прямоугольных координат  $(x_n, y_n)$  координаты любой точки на кривой по уравнению (23) будут  $x = x_n - (a + b)$ ;  $y = y_n$ , а уравнение (23) примет следующий вид -  $x_n \cdot y_n - c = 0$ , которое представляет собой равнобочную гиперболу приближающуюся к асимптотам.

Для ТСЗМ, отличающихся грузоподъемностью и производительностью, асимптота имеет разное значение, но ее характер аналогичен представленной на рисунке 1. Координатные оси параллельны асимптотам, причем центр асимптот гиперболы  $O_1$  расположен на оси абсцисс на расстоянии  $(a + b)$  от начала координат  $O$  в системе  $(x, y)$ .



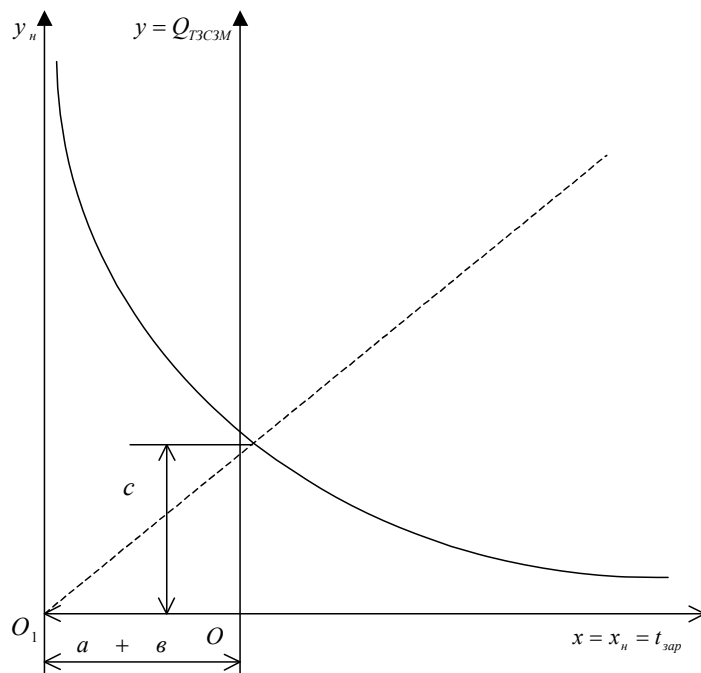


Рис.1 – Характер изменения производительности ТЗСМ при увеличении времени заряжания

$$(a + b) = - \left[ \frac{q_i^{omn.} k_2}{k_u W_{mex.}^{py}} + \frac{\sum_{i=1}^n L_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V_1} \right) \right]. \quad (24)$$

Проведенные исследования позволяют на основе предложенных методик произвести не только обоснованный выбор одного из основных элементов комплексной механизации взрывных работ – ТЗСМ, но и уточнять, дополнять приведенные расчеты, учитывая другие факторы (ассортимент ВВ, удельный расход ВВ, сетку скважин, их обводненность, вид забойки и ее количество и т. д.). Уравнения (2), (3) и (6) можно использовать при выборе главного функционального параметра ТЗСМ – оптимальной грузоподъемности. Принципиальное отличие предлагаемых методик состоит в том, что оценке и учету подвергаются не отдельные технологические факторы, а комплекс этих факторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митропольский А.К. Техника статистических исследований / А.К. Митропольский. – М.: Наука, 1971, – 576 с.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.
3. ГОСТ 8032 – 84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. // Стандарты. –1990. – С. 26-27.