

УДК 622.235

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИНИЦИРОВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ НА КАРЬЕРАХ

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF UNELECTRIC SYSTEMS INITIATIONS DOWNHOLE CHARGES ON QUARRY

Сысоев Андрей Александрович

докт. техн. наук, профессор. E-mail: ia_sys@mail.ru

Sysoev Andrey A., D.Sc. (Engineering), professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация. По результатам вероятностного моделирования времени инициирования скважинных зарядов выполнен анализ неэлектрической системы инициирования. При использовании этой системы, характеризующейся разбросом времени срабатывания замедлителей относительно своих номиналов, распределение скважинных зарядов по группам одновременности носит случайный характер. Максимальное количество скважинных зарядов, попадающих в одну группу при типовых схемах монтажа взрывной сети, является статистически устойчивым и зависит от применяемых номиналов замедления и количества продольных рядов скважин. С первых ступеней замедления система в значительной степени перестает выполнять функцию регулятора короткозамедленного взрываия, обеспечивающего качество дробления горной массы, и выполняет только функцию увеличения общей продолжительности взрыва. Количество зарядов, взрывающихся раньше установленной очереди, достигает 20 %.

Abstract. On the basis of probabilistic model of time of initiation of borehole charges analyzed not electric system of initiation. It is shown that when using not electric system of initiation which is characterized by dispersion of time of operation of delay mechanisms concerning the face values, distribution of borehole charges on groups of simultaneity has casual character. The maximum quantity of the borehole charges getting to one group at standard schemes of installation of an explosive network is statistically steady and depends mainly on the applied face values of delay and quantity of longitudinal ranks of wells. From the first steps of delay of NESI substantially ceases to carry out function of the regulator of the short-delay detonation providing quality of crushing of mountain weight and carries out only function of increase in the general duration of explosion. Thus the number of the charges which are blowing up before the established turn reaches 20%.

Ключевые слова: карьер, скважинный заряд, неэлектрическая система инициирования

Keywords: quarry, borehole charge, not electric system of initiation

Короткозамедленное взрывание (КЗВ) является средством управления сейсмическим воздействием массовых взрывов и качеством взрывной подготовки горной массы. При реализации КЗВ в настоящее время наибольшее распространение получили неэлектрические системы инициирования скважинных зарядов (НЭСИ), отечественные аналоги которых представлены системами «Искра», «Эдилин» и др.

В состав этих систем входят поверхностные и внутристекущие устройства задержки инициирующего импульса. Поверхностные устройства с номиналами до 175 мс предназначены для межскважинного замедления, внутристекущие устройства с номиналами от 200 до 500 мс призваны обеспечить отставание взрываия скважинных зарядов от инициирующей взрывной сети и тем самым исключить подбой поверхности сети кусками породы.

Практически все средства инициирования с за-

медляющим составом имеют отклонения от установленных номиналов. Факт отклонений от применяемых номиналов неоднократно отмечался в научной литературе по результатам инструментальных измерений максимальной скорости смещения в зоне сейсмического действия массовых взрывов. Поэтому основной технологический недостаток неэлектрических систем инициирования заключается в низкой точности момента инициирования взрывов, что далеко не всегда позволяет достигать проектных показателей массового взрыва, как с точки зрения сейсмической безопасности, так и с точки зрения технологической эффективности дробления горной массы.

Одним из путей поиска практических методов управления результатами массовых взрывов является теоретический анализ процесса инициирования системы скважинных зарядов с учетом фактора случайности фактического времени замедления. В настоящей статье на основе вероятностной модели

незелектрической системы инициирования выполнены некоторые количественные оценки тех факторов процесса инициирования, которые непосредственно влияют на сейсмическую безопасность и технологическую эффективность массовых взрывов на карьерах.

Можно считать, что фактическое время срабатывания замедляющего устройства t распределено по нормальному закону $f(t)$ относительно его математического ожидания μ с некоторым среднеквадратичным отклонением σ . В качестве математического ожидания для систем НЭСИ естественно принять номинал замедлителя.

Предлагаемый подход рассматривается на примере типовой схемы взрыва вскрышных уступов, представленной на рис. 1. Система скважинных зарядов состоит из M продольных рядов параллельных откосу уступа и N поперечных рядов, параллельных его торцу. Межскважинное замедление в коротких поперечных рядах τ_1 (мс), замедление между скважинами магистрального продольного ряда τ_2 (мс).

Всей системе зарядов можно сопоставить прямоугольную матрицу

$$T = (t_{ij})_{i=1, j=1}^{M, N}, \quad (1)$$

где t_{ij} – нормально распределенная случайная величина соответствующая фактическому времени инициирования заряда, находящегося в i -ом продольном ряду и j -ом поперечном ряду, мс.

Особенность незелектрических систем заключается в том, что проектное время срабатывания заряда с координатами i, j включает в себя сумму замедлений последовательно соединенных поверхностных устройств с номиналами τ_1 и τ_2 , а также внутрискважинное замедление τ_3 . Последние предназначены для внутрискважинного инициирования с замедлением до 500 мс, что предотвращает подбой поверхности сети.

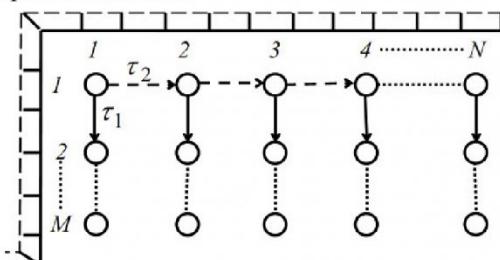


Рис. 1. Типовая схема взрыва вскрышных уступов

Таким образом, математическое ожидание времени взрыва τ_{ij} (мс) скважинного заряда, находящегося в i -ом продольном ряду и j -ом поперечном ряду с учетом линейности нормального распределения составит

$$\tau_{ij} = (i-1)\tau_1 + (j-1)\tau_2 + \tau_3, \quad (2)$$

а соответствующее среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(i-1)\sigma_1^2 + (j-1)\sigma_2^2 + \sigma_3^2}, \quad (3)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – среднеквадратические отклонения для поверхностных и скважинного замедлителей, мс.

Для незелектрических систем инициирования встречаются различные оценки величины отклонения фактического времени срабатывания устройств замедления от их номиналов. Наиболее обширные данные, на наш взгляд, представлены в [1], где по результатам измерений установлено, что поверхностные замедлители незелектрических систем имеют примерно одинаковый интервал разброса и не выходят за пределы технических условий, не превышающих 8-9 % от номинала. Имеются оценки, в соответствии с которыми при использовании систем незелектрического инициирования фактические значения срабатывания детонаторов-замедлителей отличаются от их номинальных значений в поверхности взрывной сети от 10 до 20%, а для внутрискважинных детонаторов от 5 до 10% [2].

В дальнейшем принято, что среднеквадратичное отклонение замедлителей в относительных единицах составляет 5 % от номинала. Одно из свойств нормального распределения заключается в том, что с вероятностью 0,95 случайная величина t находится в интервале $\mu - 2\sigma < t < \mu + 2\sigma$. Поэтому с указанной вероятностью максимальное относительное отклонение времени инициирования не превысит 10 %.

Для количественного анализа были приняты исходные данные, характерные для разрезов Кузбасса при транспортной системе разработки (табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные для расчета

M	N	τ_1	τ_2
5 шт.	30 шт.	42 мс	109 мс
τ_3	σ_1	σ_2	σ_3
500 мс	2,1 мс	5,45 мс	25 мс

Численные значения элементов матрицы (1) могут быть получены с использованием датчика нормально распределенных случайных чисел. Встроенные функции, генерирующие случайные числа, входят в состав большинства математических пакетов программ для ПК, включая MS Excel. Фрагмент матрицы, ограниченный пятью продольными и пятью поперечными рядами скважин представлен в табл. 2.

Таблица 2. Фрагмент матрицы случайных значений времени взрыва скважинных зарядов (мс)

	1	2	3	4	5
1	501	594	700	832	900
2	523	659	722	867	1010
3	604	703	823	910	1006
4	647	686	793	929	1098
5	626	747	913	941	1056

Одна из задач, решаемая путем применения короткозамедленного взрывания, в обеспечении сейсмической безопасности массового взрыва. Интенсивность сейсмического воздействия на охраняемые объекты определяется максимальной скоростью смещения массива, которая зависит, в частности, от количества скважинных зарядов, взрывающихся за относительно короткий промежуток времени. Правила безопасности при ведении взрывных работ [3] устанавливают порядок расчета безопасного расстояния по сейсмическому воздействию массового взрыва на охраняемые объекты, в соответствии с которым при взрывании групп зарядов с замедлениями между взрывами в отдельной группе менее 20 мс каждую такую группу следует рассматривать как отдельный заряд с общей массой для группы.

Возможность определения элементов матрицы (1) позволяет моделировать формирование отдельных групп зарядов, замедление между которыми не превышает 20 мс – определять случайное количество зарядов в группе, а также определять количество таких групп с замедлением более 20 мс (т. н. неодновременно взрывающиеся группы зарядов). На рис. 2 показан пример такого случайного объединения зарядов в группы в зависимости от времени протекания процесса инициирования. В данном примере две максимальные группы из восьми скважинных зарядов сформировались на промежутках времени 45 и 63 мс.

Единичные испытания по формированию неодновременно взрывающихся групп зарядов носят, естественно, случайный характер. Однако на основе многократного численного моделирования с использованием ПК можно исследовать статистические закономерности этого процесса. В частности, установлены приближенные формулы для расчета максимального количества скважинных зарядов (n_{\max} , шт.), объединяющихся в одну группу, и количества неодновременно взрывающихся групп зарядов (G , шт.):

$$n_{\max} = \frac{6}{(\tau_1 \cdot \tau_2)^{0.75}} \cdot (M + 3)(N + 60),$$

$$G = \frac{(M - 1)\tau_1 + (N - 1)\tau_2}{60} = \frac{T_{\text{взр}}}{60},$$

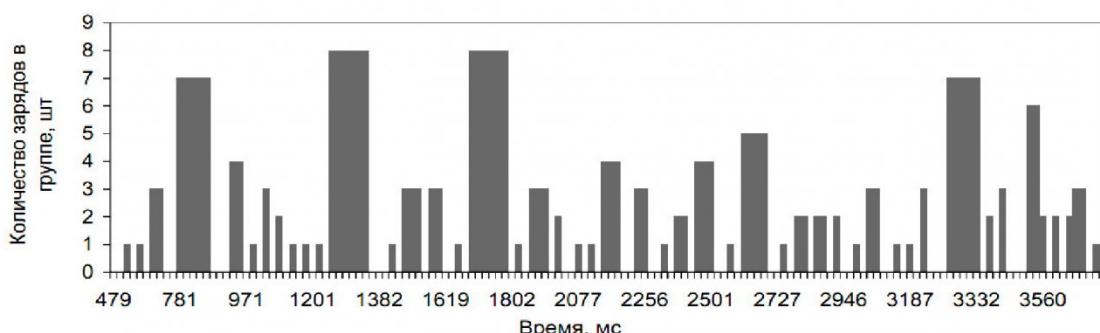


Рис. 2. Пример формирования неодновременно взрывающихся групп зарядов

где $T_{\text{взр}}$ – продолжительность инициирования всех скважинных зарядов, мс.

Записанные формулы устанавливались для комбинаций поверхностных замедлителей 42, 67, 109 мс, скважинного замедлителя 500 мс и при количестве скважинных зарядов в блоке $M = 3 \div 10$, $N = 5 \div 30$.

В научных публикациях и в производственных условиях при расчете безопасных по сейсмическому воздействию расстояний при использовании неэлектрических систем инициирования есть примеры [4] определения максимального количества зарядов, попадающих в скользящий интервал 20 мс, на основе его наложения на совокупность дискретных интервалов замедления. Такой подход не учитывает случайный характер времени инициирования зарядов и предопределяет заниженные значения максимального количества в группе, завышенное количество групп и, соответственно, заниженные значения расчетных расстояний опасных по сейсмическому воздействию взрыва.

Проектные схемы с межскважинным замедлением предусматривают определенную очередьность взрывания скважинных зарядов таким образом, чтобы каждый заряд работал при наличии двух обнаженных поверхностей, образованных предыдущими зарядами. Другие варианты условий взрыва зарядов менее предпочтительны с точки зрения качества дробления породы. Существование таких вариантов означает, что эти заряды взорвались с опережением предусмотренной для них очереди и не в полной мере реализовали энергию взрывчатого вещества.

Из формулы (3) для расчета среднеквадратичного отклонения следует, что его величина накапливается по мере увеличения количества последовательно соединенных замедлителей, через которые подходит инициирующий импульс к данному заряду. Это означает, что чем больше в схеме взрыва задействовано последовательно соединенных замедлителей, тем в меньшей степени они выполняют роль регуляторов короткозамедленного взрыва, обеспечивающих качественное дробление горной массы.

На рис. 3 показан характер разброса времени замедления взрыва одного из продольных рядов

зарядов по отношению к зарядам предыдущего ряда при проектном интервале замедления 42 мс. Уже после первых ступеней замедления среднее значение накопленного отклонения становится сравнимым с величиной номинала. После этого поверхностные замедлители начинают играть роль только как средство увеличения общего времени инициирования всей системы зарядов. Основной вклад в разброс времени инициирования вносят скважинные замедлители.

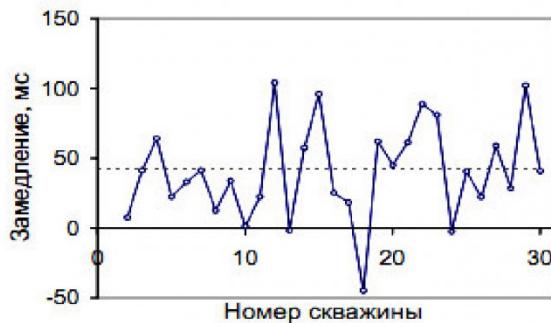


Рис. 3. Разброс времени замедления взрыва скважинных зарядов продольного ряда по отношению к зарядам предыдущего ряда

Разброс фактического времени замедления поверхностных и скважинных устройств предопределяет нарушение проектной очередности взрыва зарядов. Матрица (1) позволяет определить количество таких зарядов. В табл. 2, где показан отдельный фрагмент этой матрицы, жирным шрифтом выделено время инициирования пяти зарядов, которые взрываются с опережением своей очереди. Пример положения зарядов, взрывающихся с опережением очереди в целом по блоку, показан в табл. 3.

Положение таких зарядов по площади блока является случайным, тогда как процентное содержание относительно общего количества зарядов при принятых исходных данных составляет 15 – 20 %.

Основные выводы по выполненному анализу неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов включаются в следующем.

1. При использовании НЭСИ, характеризующейся разбросом времени срабатывания замедлителей относительно своих номиналов, распределение скважинных зарядов по группам одновременности носит случайный характер. Максимальное количество скважинных зарядов, попадающих в одну группу при типовых схемах монтажа взрывной сети, является статистически устойчивым и зависит главным образом от применяемых номиналов замедления и количества продольных рядов скважин.

2. Определение количества одновременно взрывающихся зарядов в группах, а также количества неодновременно взрывающихся групп путем наложения скользящего интервала на совокупность дискретных интервалов замедлений без учета их вероятностного характера предопределяет заниженные значения расчетных расстояний опасных по сейсмическому воздействию массового взрыва.

3. С первых ступеней замедления неэлектрические системы инициирования в значительной степени перестают выполнять функцию регулятора короткозамедленного взрывания, обеспечивающего качество дробления горной массы, и выполняет только функцию увеличения общей продолжительности взрыва. При этом количество зарядов, взрывающихся раньше установленной очереди, достигает 20 %.

Таблица 3. Пример случайного положения скважинных зарядов, которые взрываются раньше своей очереди (помечены знаком «+»)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1																														
2																														
3																														
4																														
5																														

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубцов С.К., Сравнительный анализ применения неэлектрических систем инициирования на горнодобывающих предприятиях / С. К. Рубцов, В. П. [и др.] // Горный вестник Узбекистана. – 2005. – №2. – С. 61-65.
2. Кузьменко, А. А. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе / А. А. Кузьменко, О. Н. Чалая, Д. В. Хлевнюк // Вісник НТУУ «КПІ» – Серія «Гірництво». – Випуск 26. – 2014 р.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасности при взрывных работах: сборник документов. Серия 13. Выпуск 14.– М.: ЗАО «Научно-технический центр

исследований проблем промышленной безопасности. 2014. – 332 с.

4. Машуков, И. В. Расчет безопасных расстояний по сейсмическому воздействию массовых взрывов для зданий и сооружений с учетом схемы взрываания скважинных зарядов / И.В. Машуков, В.П. Доманов, А.Г. Серг, Д.А. Егоров // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – № 1.2 – 2013. – С. 6-23.

REFERENCES

1. Rubtsov S.K., Ershov V.P., Sidorov E.YU. The Benchmark analysis of the using not electric systems of blast on mountain enterprise // Mountain herald Uzbekistan. 2005. 2 (21). pp. 61-65.
2. A. Kuzmenko, O. Chala, S. Bogutskiy, D. Hlevnjuk. Definition of a real number of wells blown in one group. Vestnik NTUU "KPI", "Mining". 2014. no. 26. pp. 38-45.
3. Federal norms and rules of industrial safety. Rules of safety during the explosive works: collection of documents. Series 13. Release 14. – M.: Joint stock company "Scientific and technological center of researches of problems of industrial safety. 2014. – 332 p.
4. I.V. Mashukov, V.P. Domanov, A.G.Serg, D.A. Yegorov. Calculation of safe distances for seismic impact off mass explosions for the buildings and constructions with consideration of borehole charge explosion system. Vestnik NC Vostnii. 2013. no. 1.2. pp. 6-23.

Поступило в редакцию 4.02.2016

Received 4 February 2016