

**УДК 622.235.6**

**Управление параметрами сейсмической безопасности  
взрывных работ на карьерах**

**Сысоев Андрей Александрович**<sup>1</sup>,  
профессор, д-р техн. наук, e-mail: ia\_sys@mail.ru  
**Sysoev Andrei A.**<sup>1</sup> Professor, Doctor of Technical Sciences

**Катанов Игорь Борисович**<sup>1</sup>,  
профессор кафедры ОГР, д-р техн. наук, e-mail: noa-0025@yandex.ru  
**Katanov Igor B.**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences

**Кондратьев Сергей Александрович**<sup>2</sup>,  
исполнительный директор, e-mail: priem@nmz-iskra.ru  
**Kondratyev Sergei A.**<sup>2</sup>, Chief Executive Officer

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>1</sup> T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup> АО «НМЗ «Искра», 630900 Россия, Новосибирск

<sup>2</sup> JSC «NMZ «Iskra» Novosibirsk, Russia

**Аннотация**

Изложены основные положения метода, и описание соответствующего программного обеспечения для прогнозирования распределения моментов инициирования скважинных зарядов на полном промежутке времени действия взрыва при использовании неэлектрических и электронных систем инициирования. Отличительная особенность предложенного метода заключается в том, что при определении моментов времени инициирования устройств замедления неэлектрических систем он учитывает случайный характер срабатывания пиротехнических составов. Дано описание программного обеспечения, позволяющего оперативно получать визуальную картину распределения моментов инициирования во времени, определять максимальное количество зарядов, которые могут взорваться в интервале 20 мс с учетом ожидаемого количества «наложений» срабатывания средств инициирования. Предложены рекомендации по выбору параметров короткозамедленного взрывания, которые будут способствовать снижению сейсмического воздействия как непосредственно при проведении массового взрыва, так и увеличению продолжительности периодов проявления наведенной сейсмичности, которая характерна для горнодобывающих территорий.

**Актуальность.** Расширение границ открытых горных работ обуславливают возрастание негативного сейсмического воздействия промышленных взрывов на промышленные и социальные объекты. В Кузбассе, например, в ряде случаев угольные разрезы располагаются в непосредственной близости от населенных пунктов и поэтому возникает необходимость ведения взрывных работ на расстояниях 300 м и менее до охраняемых объектов, что предъявляет повышенные требования к обоснованности сейсмической безопасности массовых взрывов [1].

При большом разнообразии горнотехнических условий достаточно точное прогнозирование показателей интенсивности сейсмического воздействия практически невозможно. Наличие или отсутствие выработанного пространства, ориентация взрывного блока, физико-механические и структурные свойства пород, обводненность массива и другие факторы

привносят существенный «шум» в результаты возможных теоретических расчетов. Поэтому проектирование массовых взрывов, обеспечивающих сейсмическую безопасность, осуществляется, как правило, в два этапа.

На первом этапе по результатам мониторинга показателей сейсмического воздействия ранее выполненных взрывов проводится обоснование максимально допустимой массы ВВ в пределах взрываемого блока, которая устанавливается в зависимости от расстояния до охраняемого объекта из соображений гарантированной сейсмической безопасности. В этом случае подразумевается наличие самых неблагоприятных горнотехнических и технологических факторов, что с большой вероятностью гарантирует не превышение максимально допустимых показателей сейсмического воздействия промышленного взрыва.

На втором этапе в рамках проекта массового взрыва предусматривается выбор конкретных параметров буровзрывных работ, которые бы обеспечивали, в частности, минимизацию сейсмического воздействия в существующих горнотехнических условиях. При этом основным средством управления развитием взрыва являются параметры короткозамедленного взрывания – система инициирования, последовательность инициирования скважинных зарядов и время замедления между зарядами.

Обоснованный выбор параметров короткозамедленного взрывания не только окажет положительный эффект непосредственно при проведении массового взрыва, но будет способствовать также увеличению продолжительности периодов проявления наведенной сейсмичности, которая характерна для горнодобывающих территорий.

**Состояние вопроса.** В настоящее время наиболее распространенными типами систем инициирования при открытой разработке месторождений являются неэлектрические системы инициирования (НЭСИ), такие как Rionel, Exel, Эделин, Искра, Коршун-М и др., включающие волноводы, пиротехнические устройства замедления на поверхности взрываемого блока и скважинные капсулы-детонаторы с пиротехническим замедлением.

С точки зрения управления сейсмическим воздействием данная система инициирования имеет существенный недостаток, который заключается в низкой точности проектных моментов инициирования в результате отклонений пиротехнических замедлений от номиналов. Например, для пиротехнических устройств замедлений системы «Искра» от 25 до 1000 мс максимальное отклонение от номиналов составляет соответственно от 8 до 40 мс [2]. Аналогичный разброс в ошибке срабатывания имеет место и для других НЭСИ [2]. Очевидно, что наибольшее влияние на отклонение моментов инициирования от номинала при использовании этих систем оказывают скважинные устройства замедления. НЭСИ, несмотря на отмеченные выше недостатки, получили наибольшее применение на разрезах Кузбасса, ввиду того, что по сравнению с другими средствами инициирования скважинных зарядов они характеризуются относительной простотой монтажа взрывной сети и некоторой возможностью управления развитием взрыва.

Совершенствование системы управления процессом развития массового взрыва возможно на основе использования неэлектрических систем инициирования (НЭСИ+), отличающихся от традиционного типа НЭСИ тем, что внутрискважинные устройства имеют электронные модули замедления, которые программируются непосредственно на заводе-изготовителе. Примером (НЭСИ+) является устройство «Искра-Т», выпускаемое Новосибирским заводом «Искра». Электронные модули замедления обеспечивают при любых промышленно используемых номиналах отклонение в пределах 1 мс. Использование их исключают основной негативный фактор, влияющий на разброс моментов инициирования скважинных

зарядов и, соответственно, снижает интенсивность сейсмического воздействия при сохранении технологичности монтажа взрывной сети. В связи с этим объемы взрывных работ с использованием устройств «Искра-Т» на разрезах Кузбасса имеют тенденцию к увеличению.

Электронными модулями замедления оснащены системы точного электронного взрывания (СЭВ), такие как ЭДЭЗ, DaveyTronic, I-KON и др., которые имеют программируемые электронные детонаторы, блоки программирования и тестирования сети. Использование систем электронного взрывания позволяет обеспечить в пределах аппаратных ограничений (максимально допустимая задержка инициирования и максимально допустимое количество зарядов) равномерное распределение моментов инициирования отдельных скважинных зарядов, что существенно снижает сейсмическое воздействие.

Объективным показателем интенсивности сейсмического воздействия промышленных взрывов является скорость смещения массива в основании охраняемых объектов. Удовлетворительная количественная оценка скорости смещения в зависимости от параметров буровзрывных работ, в частности от параметров короткозамедленного взрывания, не представляется возможной в связи с большим числом влияющих горнотехнических факторов. Поэтому выбор времени замедления между зарядами базируется на положении правил безопасности при взрывных работах [3], в соответствии с которым группу скважинных зарядов следует рассматривать как одновременно взрываемый заряд, если время замедления между ними не превышает 20 мс. В зависимости от максимальной массы ВВ в группе одновременности рекомендуется определять сейсмически безопасное расстояние до охраняемого объекта.

Как показал анализ проектов массовых взрывов, расчет количества зарядов в группе и, соответственно, массы ВВ в одновременно взрываемой группе зарядов устанавливается детерминированным методом без учета отклонений моментов инициирования от проектных значений. Если для электронных систем инициирования этот метод вполне оправдан, то при использовании неэлектрических систем инициирования с пиротехническими замедлителями он не соответствует фактической картине развития процесса инициирования системы скважинных зарядов.

Теоретически высокоточные электронные системы инициирования являются наиболее предпочтительными при короткозамедленном взрывании. Несмотря на это, на разрезах Кузбасса они не получили пока достаточно широкого применения по нескольким причинам. Во-первых, включение СЭВ в производственный процесс требует дополнительных разовых затрат на оборудование, программное обеспечение и обучение персонала, а также значительно более высоких, по сравнению с неэлектрическими системами инициирования, затрат на расходные материалы. Во-вторых, используемые в настоящее время на разрезах конфигурации аппаратной части систем электронного взрывания имеют ограничения по максимальной задержке инициирования капсюлей-детонаторов и количеству взрываемых зарядов. Кроме того, нельзя не учитывать тот факт, что существуют горнотехнические условия, при которых модернизированная система НЭСИ+ со скважинными устройствами «Искра-Т» по результатам инструментального сейсмологического мониторинга [4] не уступает СЭВ.

Таким образом, задача заключается в разработке инструмента, позволяющего прогнозировать распределение моментов инициирования зарядов на полном промежутке времени действия взрыва при использовании различных систем инициирования и различных доступных для предприятия систем инициирования.

**Метод решения задачи** заключается в расчете массива чисел, каждое из которых соответствует случайному времени инициирования зарядов в результате отклонения времени срабатывания устройств замедления от их номиналов и определении показателей распреде-

ления моментов инициирования на полном промежутке времени действия взрыва при различных параметрах короткозамедленного взрывания с последующим выбором целесообразного варианта.

**Доказательная база** возможности применения метода по выбору параметров короткозамедленного взрывания, способствующего снижению сейсмического воздействия промышленных взрывов, представлена в виде следующих результатов теоретических и экспериментальных исследований:

– анализ технологических свойств неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов на карьерах, по результатам которого выполнено обоснование общих принципов вероятностной модели инициирования скважинных зарядов при использовании неэлектрических систем инициирования [5, 6];

– анализ заводских испытаний устройств «Искра» для инициирования скважинных зарядов [1], по результатам которого установлены параметры нормального распределения отклонения времени срабатывания от номиналов.

– опытно-промышленная проверка вероятностной модели короткозамедленного инициирования системы скважинных зарядов при различных системах инициирования, времени замедления и конфигурации взрывных блоков [7, 8] показала, что расчетное распределение общей масса ВВ на интервале времени действия взрыва качественно отражает фактическую динамику изменения локальных пиков скоростей смещений на соответствующих сейсмограммах массовых взрывов.

Оценка максимальной плотности моментов инициирования на отдельных интервалах полного времени действия взрыва и показателей равномерности их распределения могут служить основанием для выбора системы инициирования и комбинации скважинных и поверхностных замедлений для снижения сейсмического воздействия массового взрыва.

**Инструмент реализация метода** по выбору параметров короткозамедленного взрывания представлен в виде компьютерной программы для ЭВМ [9]. Программа разработана на основе формализации результатов теоретических и экспериментальных исследований. Фрагмент пользовательского интерфейса программы показан на рис. 1.

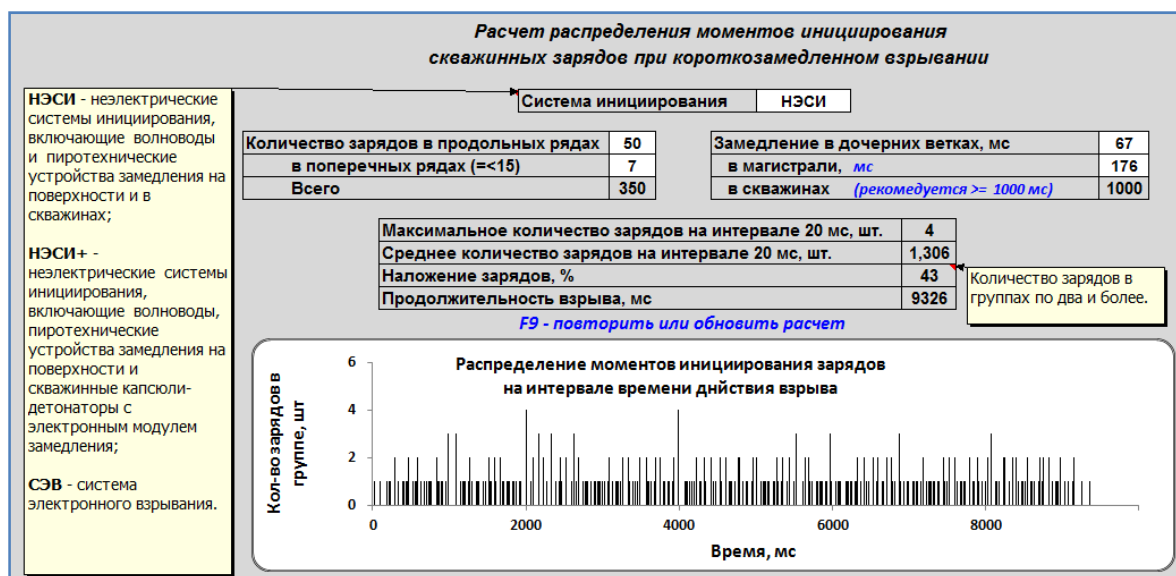


Рис. 1. Фрагмент интерфейса программы расчета распределения моментов инициирования скважинных зарядов

Программа позволяет выполнять расчет распределения моментов инициирования скважинных зарядов на полном интервале времени действия взрыва при различных системах инициирования, оценивать полученный результат по максимальному количеству зарядов, взрывающихся в интервале времени 20 мс и общему количеству зарядов в группах не менее двух, производить выбор системы инициирования и интервалов межскважинного замедления для конкретных горнотехнических условий с целью снижения сейсмического воздействия.

Исходная информация включает в себя:

- тип системы инициирования;
- геометрические размеры взрывного блока;
- любые практически применяемые номиналы замедлений.

Расчетные данные:

- визуальное представление распределения моментов инициирования по интервалам 20 мс на полном промежутке времени действия взрыва;
- максимальное количество моментов инициирования на интервале 20 мс;
- среднее количество моментов инициирования на интервалах 20 мс;
- показатель наложения взрыва зарядов;
- общая продолжительность взрыва.

Для систем инициирования НЭСИ и НЭСИ+ в результатах расчета будет присутствовать элемент случайности, который имеет место и в реальных условиях. Поэтому рекомендуется при неизменных исходных данных несколько раз обновить расчет (клавиша F9), чтобы оценить степень влияния фактора случайности.

Критерием выбора параметров короткозамедленного взрывания является в первую очередь максимальное количество зарядов на интервале [10]. Остальные показатели, определяемые при расчете варианта, имеют вспомогательную роль и характеризуют равномерность распределения моментов инициирования во времени.

#### ***Некоторые результаты обобщенной оценки систем инициирования.***

1. При использовании неэлектрических систем инициирования вероятность наложения взрывов отдельных скважинных зарядов увеличивается по мере увеличения количества продольных рядов независимо от соотношения замедлений в поверхностной сети. В связи с этим буровзрывные работы рекомендуется вести по возможности узкими заходками, что будет способствовать снижению сейсмического воздействия взрывов.

Кроме того, переход на более узкие заходки повлечет за собой уменьшение ширины рабочей площадки и, как следствие, снижение текущего коэффициента вскрыши и снижение затрат на вскрышные работы.

2. Сравнительная оценка неэлектрических систем инициирования НЭСИ и НЭСИ+ при использовании устройств замедления, выпускаемых Новосибирским заводом «Искра» показала, что применение капсулей-детонаторов с электронным модулем замедления «Искра-Т» практически при любых комбинациях поверхностных замедлений снижает вероятность одновременного взрыва скважинных зарядов по сравнению пиротехническими капсулями-детонаторами [8, 11–13].

3. Системы электронного инициирования наиболее приспособлены для управления параметрами короткозамедленного взрывания, поскольку позволяют запрограммировать постоянный промежуток времени между отдельными зарядами. Как правило он принимается не многим более 20 мс, обеспечивая минимально возможную массу ВВ в серии. Как отмеча-

лось выше, более высокие затраты на средства инициирования при использовании этих систем являются одним из факторов относительно небольших масштабов их применения.

Альтернативным по отношению к СЭВ методом инициирования без взаимного наложения взрывов отдельных зарядов является увеличение общей продолжительности взрыва за счет поверхностных замедлений «Искра-П» с одновременным использованием капсюлей-детонаторов с электронным модулем замедления «Искра-Т». На разрезах Кузбасса имеется опыт проектирования и взрывания при замедлении в поверхностной сети до 350 мс без подбоя скважинных зарядов [14].

Выполненные расчеты по разработанной программе подтверждают возможность использование системы НЭСИ+ для минимизации одновременно взрывающейся массы ВВ и полное исключение наложения взрывов зарядов. На рис. 2 показано расчетное распределение моментов инициирования при следующих параметрах: количество продольных рядов в блоке – 7; поверхностные замедления 42 и 350 мс; капсюли-детонаторы «Искра-Т-2000». При увеличении количества продольных рядов возможно наложение взрыва зарядов.

Таким образом, использование системы НЭСИ+ в сходных условиях позволит не только обеспечить наилучшее распределение моментов инициирования на полном промежутке времени действия взрыва, но и снизить затраты на средства инициирования по сравнению с СЭВ.

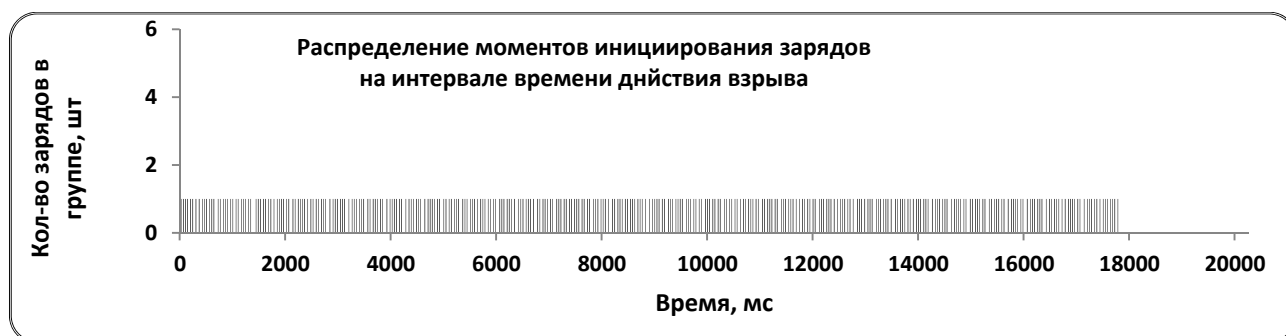


Рис. 2. Расчетное распределение моментов инициирования при использовании НЭСИ+

#### Используемая литература

1. Зыков В. С. Состояние вопроса по проблеме влияния промышленных взрывов при открытой разработке угольных месторождений на охраняемые объекты и окружающую среду / Вестник Вост НИИ. Кемерово. 2018. № 3. С. 51–55.
2. Кондратьев С. А. Анализ результатов заводских испытаний устройств «Искра» для инициирования скважинных зарядов / Кондратьев С. А., Сысоев А. А., Катанов И. Б. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2019. № 6. С. 72-78.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Сер. 13. Вып. 14 – Москва : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 332 с. (изменениями от 30 ноября 2017 г. № 518).
4. Еманов А. Ф. Методические основы совместного инструментального сейсмологического мониторинга геосреды и особо ответственных зданий и сооружений. / А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, А. В. Фатеев и др. // Вестник НЦ ВостНИИ. Кемерово. 2019. № 3. С. 14-44.

5. Сысоев, А. А. Анализ систем инициирования скважинных зарядов на карьерах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2016. № 4. С. 60-67.
6. Сысоев, А. А. Технологические свойства неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов на карьерах / Вестник КузГТУ. – 2016. № 1. – С. 34–38.
7. Сысоев, А. А. Опытнo-промышленная проверка вероятностной модели короткозамедленного инициирования системы скважинных зарядов А. А. Сысоев, И. Б. Катанов, С. А. Кондратьев. // Взрывное дело. –2019. № 125/8. – С. 5–16.
8. Сысоев, А. А. Сравнительная оценка пиротехнических и электронных капсулей-детонаторов на основе вероятностной модели инициирования системы скважинных зарядов / А. А. Сысоев, С. А. Кондратьев, И. Б. Катанов // Взрывное дело. –2020. № 126/83. – С. 85–99.
9. Программа расчета параметров распределения моментов инициирования скважинных зарядов, оценки и оптимизации интервалов замедления при массовых взрывах на карьерах. Сысоев А. А., Катанов И. Б., Сысоев И. А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021616191, 19.04.2021. Заявка № 2021615360 от 12.04.2021.
10. Патент на изобретение RU № 2734651C1. Способ многорядного короткозамедленного взрывания / И. Б. Катанов, А. А. Сысоев, С. А. Кондратьев // опубликовано 22.10.2020. Бюл. № 30.
11. Вандакуров, К. А. Система инициирования с электронным замедлением Искра-Т. Перспективы применения К. А. Вандакуров, Л. Н. Гуськов, А. С. Иванов, С. А. Кондратьев, И. Д. Поникарев // Вестник Балтийского ГТУ. 2017. № 52.
12. Кондратьев С. А. Развитие короткозамедленного взрывания скважинных зарядов с неэлектрическими системами инициирования / Сб. материалов XII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием // (21-24 апреля 2020 г.). Кемерово. 2020. 10602.1
13. Кондратьев, С. А. Современные средства инициирования АО «НМЗ «ИСКРА» / С. А. Кондратьев, С. А. Поздняков, А. С. Иванов, К. А. Вандакуров // Взрывное дело. –2019. № 123/80. – С. 136-144.
14. Кокин, С. В. Опыт ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» по снижению воздействия массовых взрывов в Кузбассе на охраняемые объекты и окружающую среду. / С. В. Кокин, Д. М. Пархоменко, А. В. Бервин. // Горная Промышленность. – № 5 (147). – 2019. – С. 72.