

## Обоснование эффективности взрывных работ с использованием электронных систем в сравнении с неэлектрическими средствами инициирования

В.В. Жуликов✉, К.А. Князев, С.С. Назаров  
ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация  
✉ v.julikov@azotech.ru

**Резюме:** При производстве массовых взрывов на открытых горных работах с использованием неэлектрических систем инициирования существует ряд недостатков, одним из которых является погрешность внутрискважинных и поверхностных замедлений. Вследствие этого нарушаются проектная схема инициирования зарядов, темп отбойки, ухудшается качество дробления горной массы. Электронные системы инициирования за счет преимущества точности срабатывания дают полный контроль над производством массового взрыва, снижают негативное влияние взрыва на жилые массивы вблизи открытых горных выработок, повышают качество взорванной горной массы. Электронные системы инициирования дают возможность развигать новые направления в проведении взрывных работ, например, в выборе темпа отбойки, что, в свою очередь, повышает качество подготовленной горной массы и снижает разубоживание полезного ископаемого. В статье приведены сравнительные показатели отклонения номинального времени замедления различных неэлектрических систем инициирования и электронных систем, рассмотрены элементы и конструкции детонаторов электронных систем и приведен ряд преимуществ электронных систем при подготовке взорванной горной массы. Сделан вывод, что взрывание с использованием электронных детонаторов и использование их преимуществ позволит снизить значение удельного расхода взрывчатых веществ и объем буровых работ за счет увеличения сетки скважин.

**Ключевые слова:** электронные системы инициирования, неэлектрические системы инициирования, интервалы замедлений, сейсмическое действие взрыва, взорванная горная масса, негативное влияние взрывных работ, темп отбойки

**Для цитирования:** Жуликов В.В., Князев К.А., Назаров С.С. Обоснование эффективности взрывных работ с использованием электронных систем в сравнении с неэлектрическими средствами инициирования. *Горная промышленность*. 2022;(5):64–68. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-64-68>

## Justification of blasting efficiency using electronic systems in comparison with non-electric primers

V.V. Zhulikov✉, K.A. Knyazev, S.S. Nazarov  
AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation  
✉ v.julikov@azotech.ru

**Abstract:** Carrying out large-scale blasting using non-electric primers in surface mining is concerned with a number of deficiencies, one of which being the error in borehole and surface delay times. As a consequence, the design blasting system is compromised, the face blasting rates are affected, and the rock mass fragmentation quality goes down. Due to their advantage in the triggering accuracy, the electronic blasting systems ensure absolute control over the execution of large-scale blasting, reduce the negative impact of blasting operations on residential areas near the surface mine and improve the quality of rock mass fragmentation. Electronic blasting systems enable the development of new ways to execute blasting, for example, though selecting the face blasting rates, which in turn increases the rock mass fragmentation quality and reduces dilution. The paper presents comparative indicators of bias in the nominal delay times of various non-electric primers and electronic blasting systems, discusses the components and designs of electronic detonators, and provides a number of advantages of the electronic systems in conditioning of the the preparation of blasted rock. A conclusion is made that blasting with electronic detonators and the use of their advantages will help to reduce the specific consumption of explosives and the scope of drilling operations due to larger blasthole patterns.

**Keywords:** electronic blasting systems, non-electric primers, delay times, seismic action of the blast, blasted rock, negative impact of blasting, face blasting rate

**For citation:** Zhulikov V.V., Knyazev K.A., Nazarov S.S. Justification of blasting efficiency using electronic systems in comparison with non-electric primers. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):64–68. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-64-68>

## Введение

Дробление горных пород взрывом многие годы является основополагающей задачей при добыче полезных ископаемых. Горные предприятия за последние годы подступили вплотную к границам населенных пунктов, особенно такие крупные, как железорудные карьеры в Курской магнитной аномалии, угольные разрезы в Кемеровской области, Ковдорский ГОК и др.<sup>1</sup> Только в одной Кемеровской области производится более 30 000 промышленных взрывов ежегодно. Учитывая такое расположение, следствием взрывных работ может явиться негативное сейсмическое и шумовое воздействие на близлежащие жилые массивы.

Для снижения негативных последствий от массовых взрывов на таких объектах применяют короткозамедленное взрывание. Основными средствами обеспечения короткозамедленного взрывания при добыче полезных ископаемых открытым способом в настоящее время выступают неэлектрические системы инициирования (НСИ) с пиротехническими замедлителями.

Целью данной статьи является проведение сравнительного анализа неэлектрических и электронных систем инициирования на базе проведенных испытаний.

## Время замедления неэлектрических систем инициирования

Неэлектрические системы инициирования имеют ограниченный набор замедлений и ряд общеизвестных недостатков. Одним из них является отклонение номинального времени замедления от заявленного производителем в результате применения пиротехнического замедлителя, в котором замедление определяется скоростью горения пиротехнического состава [1; 2]. Погрешности замедлений касаются как скважинных, так и поверхностных изделий. Однако при проектировании и ведении буровзрывных работ интервалы замедления выбираются без учета фактических отклонений. На основе проведенных с помощью высокоточного переносного цифрового электронного хронометражного прибора «TRIO Chronos» специалистами ООО «АЗОТТЕХ» испытаний были выявлены погрешности срабатывания детонаторов неэлектрических систем до 20% от номинального замедления. (рис. 1). Данная погрешность срабатывания не позволяет точно контролировать время замедления, а соответственно, и взрыва каждой скважины на взрываемом блоке, что приводит к увеличению негативного влияния массового взрыва вследствие синхронного взрыва больше запланированного количества скважин в одной серии. Вторым негативным эффектом при отклонении номинального времени срабатывания является ухудшение качества подготовки взорванной горной массы по причине неконтролируемого темпа отбойки взрывных скважин.

В условиях ежегодного роста добычи полезных ископаемых<sup>2</sup>, применения высокопроизводительного горнотранспортного оборудования и увеличения объемов подготовленной взорванной горной массы остро встает вопрос о снижении негативного сейсмического влияния взрывных работ и повышения качества подготовки взорванной горной массы. Наиболее эффективным направлением в данных условиях является применение систем электронного взрывания.

Система электронного взрывания Hitronic (рис. 2) за

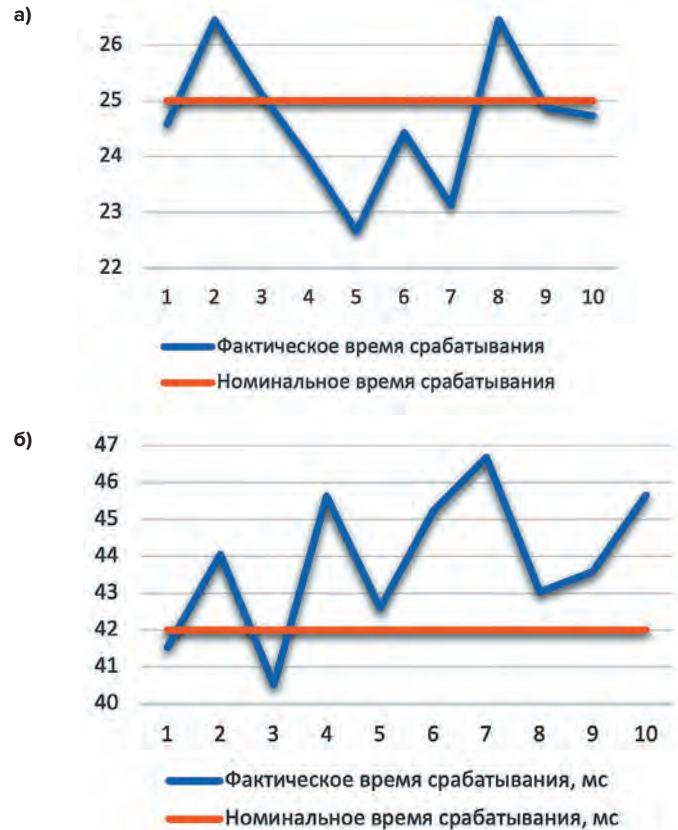


Рис. 1  
Примеры отклонения номинального времени замедления от заявленного производителем 10 поверхностных изделий (а) 25 мс и (б) 42 мс

Fig. 1  
Examples of deviations in the nominal delay times from the ones specified by the manufacturer for 10 surface products (a) 25 ms and (b) 42 ms

счет возможности программирования любого времени замедления с шагом 1 мс и точностью срабатывания заданного замедления 0,02% дает возможность максимального снижения при проведении массового взрыва уровня сейсмического воздействия, ударно-воздушной волны, значительного сокращения выброса вредных продуктов взрывов, а также позволяет контролировать гранулометрический состав взорванной горной массы.



Рис. 2  
Система электронного взрывания Hitronic

Fig. 2  
Hitronic Electronic Blasting System

1 ИА Красная Весна. Режим доступа: <https://rossaprimavera.ru/news/813d25bc>  
2 Открытый журнал. Режим доступа: <https://journal.open-broker.ru/research/promyshlennoe-proizvodstvo-v-rossii-vyroslo/>

**Преимущества электронных детонаторов**

Основные преимущества системы электронного взрывания Nitronic заключаются в создании закодированного двустороннего соединения между электронными детонаторами и взрывным программным оборудованием<sup>3</sup>. Такой способ связи между детонаторами Nitronic и оборудованием:

- позволяет программировать время замедления для каждого детонатора с шагом в 1 мс;
- дает возможность распределения времени срабатывания электронных детонаторов в диапазоне 0–50 000 мс с точностью срабатывания ±0,02%;
- гарантирует контроль при монтаже взрывной сети;
- дает возможность проверки работоспособности каждого детонатора;
- контролирует запас энергии каждого детонатора вплоть до момента взрыва;
- сигнализирует о любых отклонениях;
- не допускает инициирования сети до подачи сигнала с устройства взрывания.

Замер точности срабатывания электронных детонаторов, проведенный специалистами ООО «АЗОТТЕХ», показал отклонение при максимальном времени замедления в 50 000 мс меньше заявленного производителем, которое составило 0,016% (рис. 3).

Специалистами ООО «АЗОТТЕХ» также был проведен сравнительный анализ разницы срабатывания между изделиями неэлектрической и электронной систем инициирования. Для анализа было смоделировано время взрывов скважинного заряда неэлектрической системы инициирования (срабатывание скважинного изделия после передачи импульса от взрыва капсуль-детонатора поверхностного изделия). Для анализа применялись поверхностные изделия с номинальными замедлениями 17, 25, 42, 67 мс и скважинные изделия с номинальными замедлениями 450, 475, 500, 1000 мс. Электронные детонаторы были запрограммированы на суммарное время поверхностного и скважинного замедления неэлектрической системы инициирования (табл. 1). Разница между номинальным и фактическим временем срабатывания



**Рис. 3**  
Замер точности срабатывания электронных детонаторов



**Fig. 3**  
Measuring the accuracy of electronic detonators

**Таблица 1**  
Разница срабатывания детонаторов электронной и неэлектрической систем инициирования

**Table 1**  
Difference in the triggering of electronic blasting systems and non-electric primers

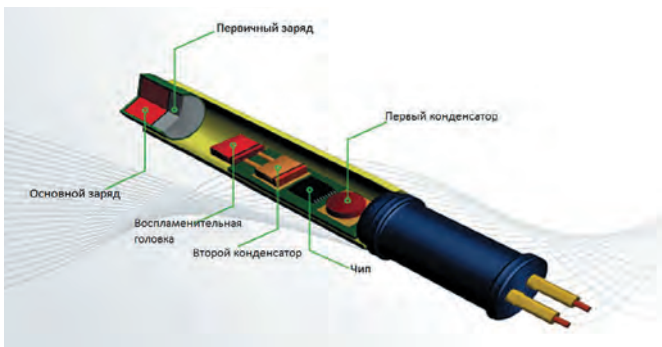
Номинальное поверхностное замедление НСИ	Номинальное скважинное замедление НСИ	Фактическое время срабатывания поверхностного изделия НСИ	Фактическое время срабатывания скважинного изделия НСИ	Фактическое время срабатывания ЭСИ	Разница между номинальным и фактическим временем срабатывания НСИ, %	Разница между номинальным и фактическим временем срабатывания ЭСИ, %
17	450	12,271	478,011	490,282	4,864	0,011
	1000	12,418	1099	1111,418	8,872	0,002
25	450	22,777	477,793	500,57	5,242	0,016
	500	23,116	491,766	514,882	1,946	0,000
42	1000	16,797	925	941,797	8,461	0,010
	450	40,057	457,612	497,669	1,146	0,002
67	500	45,654	480,759	526,413	2,918	0,013
	1000	39,597	1138	1177,597	12,218	0,020
67	450	64,953	534,925	599,878	14,841	0,004
	475	49,095	423,422	472,517	13,698	0,006
	500	53,179	514,627	567,806	0,142	0,019
	1000	60,099	869	929,099	13,817	0,008

<sup>3</sup> User manual\_HEBS Hitronic



электронных детонаторов не превышала заявленного производителем и варьировалась в диапазоне от 0,002 до 0,02%, в то время как разница этого же времени неэлектрических систем инициирования находилась в диапазоне от 0,142 до 15%.

Наличие двух конденсаторов в детонаторе Hitronic дает возможность безопасного осуществления проверки взрывной сети на наличие всех детонаторов в цепи и отсутствие обрыва линии непосредственно в границах блока. Применение первого конденсатора для указанных операций исключает возможность неконтролируемого инициирования воспламенительной головки, находящейся в детонаторе, но дает возможность прохождения всех необходимых проверок, в том числе проверку готовности воспламенительной головки к накаливанию. Использование второго конденсатора происходит уже за границами опасной зоны и приводит систему в боевую готовность (рис. 4).



**Рис. 4**  
**Устройство детонатора Hitronic**

**Fig. 4**  
**Design of the Hitronic detonator**

Немаловажными составляющими в работе данной системы являются простота при эксплуатации, понятный и удобный интерфейс программного обеспечения. Для снижения времени производства взрывных работ и определения оптимального места инициирования блока взрывперсоналом определяющим фактором является возможность производства дистанционного радиовзрыва в радиусе 5 км, а также применение группового взрывания двух или более блоков с возможностью всестороннего определения последовательности взрыва.

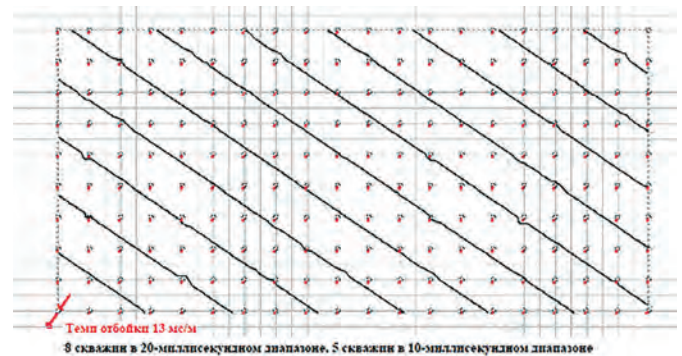
Электронная система инициирования дает возможность взрывания блоков нестандартной конфигурации, обусловленной сложными горно-геологическими условиями, а также каскадных взрывов нескольких блоков одновременно или последовательно за счет того, что срабатывание детонатора произойдет в четко запрограммированное время после подачи команды для производства взрыва. Такая возможность электронной системы снижает до нуля наличие отказов, которые могут появиться при обрыве или другом повреждении ударно-волновой трубки неэлектрической системы, связанных с разлетом горной породы.

При современных технических решениях [3; 4] и инновационных методах подбора интервалов замедлений между взрывами скважин возникает возможность определения оптимальных параметров для снижения негативного воздействия и повышения качества подготовки взорванной горной массы.

При производстве массового взрыва на земной поверх-

ности одним из ограничивающих факторов, влияющих как на сейсмически безопасные расстояния, так и на качество подготовки ВГМ, является контроль взрывов скважинных зарядов в 20-миллисекундном окне, установленном «Правилами безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения», для расчета безопасных расстояний по сейсмическому воздействию как отдельный заряд с общей массой для группы. Такое определение единовременного взрыва связано с существующей погрешностью номинального времени замедления неэлектрических средств инициирования, установленных производителем. Новейшие электронные системы взрывания дают точность срабатывания каждого детонатора, что, в свою очередь, является фактором для рассмотрения возможности снижения 20-миллисекундного диапазона до 10 или 5 мс. Определение точного значения, до которого допустимо уменьшить указанный диапазон, возможно только после проведения большого количества взрывов и замера сейсмического воздействия. Снижение 20-миллисекундного диапазона позволит скорректировать проекты массовых взрывов в части выбора времени замедления и установления темпа отбойки.

При составлении технического расчета массового взрыва в большинстве случаев пренебрегают количественным показателем темпа отбойки в пользу расчета безопасного расстояния. Связано это с близлежащим расположением жилых зданий с горными работами. Так, если для необходимого качества взорванной горной массы на основании физико-механических свойств горной породы на месторождении определен темп отбойки 13 мс/м (рис. 5), то в 20-миллисекундном окне будет взрываться 8 скважин, что является неприемлемым в связи с ограничением взрывааемых групп и единовременно взрывааемого тоннажа взрывчатого вещества для группы. Снижение 20-миллисекундного диапазона до 10 мс дает уже 5 скважин, взрывааемых в группе, и увеличение взрывааемых групп на том же самом блоке.



**Рис. 5**  
**Темп отбойки горной массы 13 мс/м**

**Fig. 5**  
**Face blasting rate of 13 ms/m**

### Заключение

Как показывает практика, достижение качественной степени дробления горных пород, нормальной проработки подошвы уступа, снижение нарушенности законтурного массива взрывааемого блока, оптимизация затрат взрывных работ и снижение негативного влияния взрыва напрямую зависят от схемы инициирования скважинных зарядов

и выбранного темпа отбойки горной массы, соответствующих конкретным горно-геологическим условиям месторождения. Анализ гранулометрического состава показывает, что благодаря точности срабатывания электронных детонаторов Nitronic и при правильном выборе темпа отбойки взрывающегося блока качество взрыва существенно повышается в сравнении со взрывами, проведенными с использованием неэлектрических систем инициирования. Применение электронных систем инициирования может позволить увеличить объем взорванной горной

массы за один массовый взрыв вблизи охраняемых объектов за счет точности срабатывания и вследствие снижения сейсмического воздействия. Кроме того, взрывание с использованием электронных детонаторов и использование их преимуществ могут позволить снизить значение удельного расхода взрывчатых веществ и снизить объем буровых работ за счет увеличения сетки скважин.

### Список литературы

1. Флягин А.С., Меньшиков П.В., Шеменев В.Г. Анализ величин фактических интервалов замедлений неэлектрических систем инициирования. *Проблемы недропользования*. 2018;(2):70–74. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.02.070>
2. Андреев В.В., Гуськов А.В. Милевский К.Е., Слесарева Е.Ю. *Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы*. М.: Юрайт; 2017. 323 с.
3. Артемьев Э.П., Трясцин А.В. Обоснование оптимальных интервалов времени замедления при производстве массовых взрывов на карьерах. *Известия вузов. Горный журнал*. 2013;(2):84–87.
4. Митюшкин Ю.А., Лысак Ю.А., Плотников А.Ю., Ружицкий А.В., Шевкун Е.Б., Лещинский А.В. Оптимизация параметров взрывных работ увеличением интервалов замедления. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(4):341–348.

### References

1. Flyagin A.S., Menshikov P.V., Shemenev V.G. Analysis of the values of the actual deceleration intervals of non-electric initiation systems. *Problems of Subsoil Use*. 2018;(2):70–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.02.070>
2. Andreev V.V., Gus'kov A.V. Milevskii K.E., Slesareva E.Yu. *Theory of combustion and explosion: high-energy materials*. Moscow: Yurait; 2017. 323 p. (In Russ.)
3. Artemiev E.P., Tryastin A.V. Rationale of optimal temporary intervals of slowdown at mass explosions in quarries. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2013;(2):84–87. (In Russ.)
4. Mityushkin Yu.A., Lysak Yu.A., Carpenters A.Yu., Ruzhitsky A.V., Shevkun E.B., Leschinsky A.V. Optimization of parameters of explosive works increase in intervals of delay. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(4):341–348. (In Russ.)

#### Информация об авторах

**Жуликов Виктор Валерьевич** – руководитель проектного офиса, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: v.julikov@azottech.ru

**Князев Кирилл Александрович** – ведущий инженер-технолог проектного офиса, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: k.knyazev@azottech.ru

**Назаров Сергей Сергеевич** – менеджер по развитию бизнеса, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ss.nazarov@azottech.ru

#### Information about the authors

**Viktor V. Zhulikov** – Head of the Design Office, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: v.julikov@azottech.ru

**Kirill A. Knyazev** – Lead Engineer at the Design Office, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: k.knyazev@azottech.ru

**Sergey S. Nazarov** – Business Development Manager, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: ss.nazarov@azottech.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 01.10.2022

Поступила после рецензирования: 17.10.2022

Принята к публикации: 17.10.2022

#### Article info

Received: 01.10.2022

Revised: 17.10.2022

Accepted: 17.10.2022