

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-6-72-78

УДК 622. 232. 235.5

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАВОДСКИХ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ «ИСКРА»
ДЛЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ**

**ANALYSIS OF FACTORY TEST RESULTS OF NON-ELECTRIC DETONATORS
"ISKRA" FOR INITIATION OF DOWNHOLE CHARGES**

Кондратьев Сергей Александрович¹,
исполнительный директор, e-mail: priem@nmz-iskra.ru
Sergei A. Kondratyev¹, Chief Executive Officer
Сысоев Андрей Александрович²,
профессор, д-р техн. наук, e-mail: ia_sys@mail.ru
Andrei A. Sysoev² Professor, Doctor of Technical Sciences
Катанов Игорь Борисович²,
профессор кафедры ОГР, д-р техн. наук, e-mail: noa-0025@yandex.ru
Igor B. Katanov², Doctor of Technical Sciences

¹АО «НМЗ «Искра», 630900 Россия, Новосибирск

¹JSC "NMZ "Iskra" Novosibirsk, Russia

²Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000,
Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000,
Russian Federation

Аннотация:

Величина замедления скважинных зарядов оказывает существенное влияние на технологические результаты массового взрыва и последствия его сейсмического воздействия на охраняемые объекты. Однако относительно дешевые и популярные неэлектрические системы инициирования имеют один существенный недостаток, связанный с тем, что фактическое время замедления при срабатывании пиротехнических детонаторов иногда значительно отличается от номинальной величины. АО «НМЗ «Искра» разработал современные, так называемые «гибридные» устройства с электронным замедлением, которые в соответствии с техническими условиями должны повысить точность срабатывания. Проведение сравнительной оценки характеристик пиротехнических и электронных замедлителей является актуальной задачей.

Ключевые слова: неэлектрическая система инициирования, «Искра-С», «Искра-Т», время замедления, скважинный заряд, отклонение

Abstract:

The delay time length of downhole charges has a significant impact on the technological results of a mass explosion and the consequences of its seismic effect on protected objects. However, the relatively cheap and popular non-electric detonators have one significant drawback associated with the fact that the real delay time at firing pyrotechnic delay detonators sometimes differs significantly from the nominal value. JSC "NMZ "Iskra" has developed modern, so-called "hybrid" detonators with electronic delay, which, in accordance with the technical requirements, should increase the accuracy of firing. A comparative assessment of the characteristics of pyrotechnic and electronic detonators is very topical.

Key words: non-electric detonator, Iskra-S, Iskra-T, delay time, downhole charge, deviation

Цель работы. Установить аналитическую зависимость отклонения времени срабатывания замедляющих устройств «Искра».

Метод исследования – статистический анализ результатов заводских испытаний времени

срабатывания замедляющих устройств.

Неэлектрические системы инициирования (НСИ) зарубежных торговых марок «NoneI», «Primadet», «Echel» и др. широко применяются с конца 60-х годов прошлого столетия в США, Швеции, Китае и ряде других стран. В России по аналогии с названными были разработаны и широко применяются в настоящее время такие НСИ, как «СИНВ», «Искра», «Эдилин», «Коршун», «Rionel» и др. Эти НСИ имеют некоторые конструктивные отличия отдельных элементов, но принцип действия их одинаков.

Неэлектрические системы инициирования зарядов взрывчатых веществ (ВВ) представляют собой относительно дешевые и простые в использовании системы, предназначенные для ведения взрывных работ на земной поверхности, в подземных рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли. Они позволяют создавать практически любые комбинации схем инициирования и могут применяться со всеми типами взрывчатых веществ.

В работах [1–4] показано, что величина замедления скважинных зарядов оказывает существенное влияние на технологические результаты массового взрыва и последствия его сейсмического воздействия на охраняемые объекты.

НСИ имеют один существенный недостаток, связанный с тем, что фактическое время замедления при срабатывании пиротехнических детонаторов может существенно отличаться от номинальной величины. В научных публикациях приводятся различные оценки характеристик устройств с пиротехническими замедлителями. Например, в [3] представлены, обширные результаты измерений замедлителей системы СИНВ, по которым установлено, что поверхностные замедлители неэлектрических систем имеют примерно одинаковый интервал разброса, который не выходит за пределы технических условий, т. е. не превышает 8–9 % от номинала. Имеются оценки, в соответствии с которыми при использовании систем неэлектрического инициирования фактические значения срабатывания детонаторов-замедлителей отличаются от их номинальных значений в поверхностной взрывной сети от 10 до 20 %, а скважинных детонаторах от 5 до 10 % [2]. В статье [6] дан анализ интервалов замедления неэлектрических систем инициирования «Коршун» и «Primadet», определенных опытным путем в сравнении с заводскими характеристиками. Установлено, что номинальные интервалы замедления НСИ могут значительно отличаться от реальных значений. По данным [5] для поверхностных детонаторов НСИ с пиротехническими замедлителями «Искра-П» с номиналами 17–109 мс разница между максимальным и минимальным значением времени срабатывания составляет соответственно

8,5 и 13,3 мс.

Реальное время замедления при срабатывании скважинных детонаторов взрывной сети иногда колеблется относительно номинального значения в интервале ± 50 мс, что вносит значительный разброс в проектируемый порядок взрывов скважинных зарядов и что, свою очередь, приводит к отклонению от запланированных результатов качества дробления породы и увеличению сейсмического воздействия.

Устройства неэлектрической системы инициирования «Искра» должны соответствовать требованиям ТУ [7] и комплекту конструкторской документации, предусматривающей совокупность контролируемых параметров: маркировка и упаковка, устойчивость к тряске, водостойкость, термостойкость стойкость к растягивающей нагрузке, время замедления и восприимчивость к инициирующему импульсу. Проверке подвергается каждая партия объемом до 1000 шт. без учета изделий, предназначенных для испытаний. Объем специально регламентированной выборки составляет от 10 до 30 шт.

Для получения количественных оценок факторов, характеризующих процесс инициирования скважинных зарядов и которые непосредственно влияют на сейсмическую безопасность, был проведен анализ результатов заводских испытаний устройств «Искра-С» с пиротехническим замедлением и устройств с электронным замедлением «Искра-Т» с целью установления функциональной зависимости времени отклонения от номиналов.

Для разработки рекомендаций по выбору рациональных значений номиналов замедлителей при короткозамедленном взрывании, обеспечивающим сейсмическую безопасность массовых взрывов на открытых горных работах, необходимо было провести сравнительный анализ пиротехнических и электронных устройств, предназначенных для инициирования скважинных зарядов.

Время замедления устройств «Искра» оценивается значениями среднеквадратического отклонения фактического значения среднего времени замедления от номинального и определяется коэффициентами z_1 и z_2 . В соответствии с ТУ [8] среднеквадратическое отклонение должно быть меньше или равно, а коэффициенты z_1 и z_2 больше или равны значениям, указанным в табл. 1, для каждой серии замедления.

Коэффициенты (z_1, z_2 , доли ед.), характеризующие качество устройств по времени замедления

$$z_1 = \frac{T_6 - \bar{t}}{\sigma}; \quad z_2 = \frac{\bar{t} - T_H}{\sigma}, \quad (1)$$

где T_6, T_H – установленные ТУ верхний и

Таблица 1. Техническими условия срабатывания замедлителей «Искра-С» [8]
Table 1. Technical requirements for firing of Iskra-S detonators [8]

Наименование устройства	Номинальное время замедления τ , мс	Среднеквадратическое отклонение времени замедления σ , мс	Значения коэффициентов z_1 и z_2 , доли ед.
Искра-С-0	0	-	-
Искра-С-25	25	2,0	1,1
Искра-С-50	50	2,5	1,1
Искра-С-(75–100)	75–100	3,5	1,1
Искра-С-125	125	4,0	1,1
Искра-С-150	150	5,0	1,1
Искра-С-175	175	5,5	1,1
Искра-С-(200–225)	200–225	6,0	1,1
Искра-С-(250–475)	250–475	6,3	1,1
Искра-С-500	500	10,5	1,1
Искра-С-(550–950)	550–950	12,4	1,1
Искра-С-1000	1000	18,5	1,1
Искра-С-1250	1250	40,0	1,1
Искра-С-(1500–2000)	1500–2000	50,0	1,1

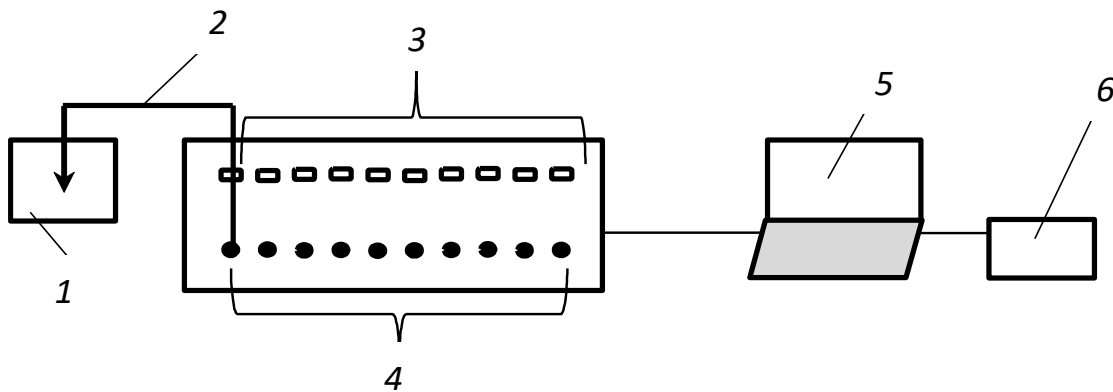


Рис. 1. Схема стенда для испытания устройств «Искра-П», «Искра-С» и «Искра-Т» на время срабатывания (пояснения позиций в тексте)

Fig. 1. Scheme of test bench for devices Iskra-P, Iskra-S and Iskra-T for the firing time (explanation of positions in the text)

нижний пределы значений времени замедления относительно его номинальной величины, мс; \bar{t} – среднее значение времени замедления, мс; σ – среднеквадратическое отклонение времени замедления, мс.

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(t_i - \bar{t})^2}{N-1}}, \quad (2)$$

где t_i – значение времени замедления каждого капсюля-детонатора, мс; N – число испытанных капсюлей-детонаторов, шт.;

Среднее значение времени замедления:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}. \quad (3)$$

Значения T_b , T_n – используются только для расчета коэффициентов z_1 , z_2 .

Технические условия регламентируют также максимальное значение относительной величины среднеквадратического отклонения, выраженной в

процентах и которая для устройств «Искра-С» составляет от 2 до 5 %.

АО «НМЗ «Искра» разработал современные, так называемые «гибридные» устройства, – это скважинные капсюли-детонаторы с электронным замедлением «Искра-Т» [1], которые обеспечивают срабатывание капсюлей-детонаторов короткозамедленного действия с точностью до 1 мс.

В соответствии с ТУ [8] устройства «Искра-Т» с электронным замедлением при номинальном времени замедления (τ) в интервале от 20 до 300 мс должны иметь стандартное отклонение не более 0,3 мс. Для устройств с номинальным временем замедления в интервале от 300 до 2000 мс отклонение должно составлять не более 0,001 τ .

Испытания всех типов устройств «Искра» проводятся с целью контроля качества данного

Таблица 2. Результаты испытаний нескольких партий продукции «Искра-С-1000»
 Table 2. Test results of several batches of detonators Iskra-S-1000

Номер партии	Среднеквадратическое отклонение σ , мс	Среднее время срабатывания \bar{t} , мс	Время срабатывания, мс		Количество испытуемых устройств, шт.
			T_{\min}	T_{\max}	
1	21,6	1015,5	982,2	1041,9	10
2	11,9	1018,8	990	1030	10
3	18,4	987,9	963	1023	10
4	15,4	984,2	962,1	1005,3	10
5	18,9	1024,6	999	1050	10
6	12,9	1007	981,5	1028,7	10
7	16,1	978	947	997	10
8	13,3	974	954,4	995,1	10
9	20,1	995	967	1027	10
10	20,7	1001,5	974,6	1041,4	10
11	23,7	984,5	954,5	1041,5	10
12	19,6	993,1	975,3	1035,4	10
13	23,1	1011,9	986,4	1055,2	10
Всего	18,1	998,2	972,1	1028,6	130

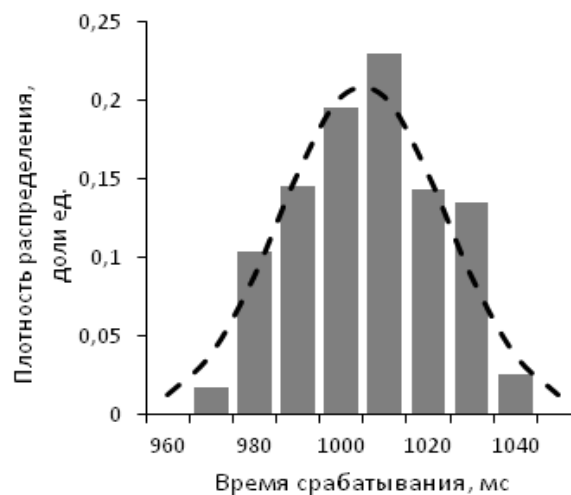


Рис. 2. Гистограмма и теоретическая плотность распределения времени срабатывания устройства «Искра-С-1000»

Fig. 2. Histogram and theoretical density of the response time distribution of detonator "Iskra-S-1000"

вида продукции на время срабатывания. Испытания проводятся на стенде, который обеспечен программным управлением, установленном на персональном компьютере и позволяет зафиксировать время от момента инициирования УВТ до момента срабатывания устройства [9]. Задержка формирователей выходных импульсов для управления измерителем временных интервалов не более 1мкс.

Принципиальная схема стенда изображена на рис. 1.

После проверки стенда на готовность к проведению испытаний в муфель 1 помещают капсуль-детонатор (из партии с определенным номиналом замедления) с волноводом длиной 0,30 м. Одновременно можно испытывать 10 устройств. Волноводы 2 устройств «Искра», подготовленных для испытаний, пропускаются через фотодатчик 3

Таблица 3. Фрагмент результатов заводских испытаний устройств «Искра-Т»
Table 3. Fragment of factory test results of detonators Iskra-T

Номинальное время срабатывания τ , мс	Фактические параметры, мс			
	Средне-квадратическое отклонение, σ	Среднее время срабатывания, \bar{t}	T_{\min}	T_{\max}
2 000	0,823	2 003,300	2 002,00	2 004,00
2 000	2,300	2 002,800	1 999,00	2 005,00
2 000	0,877	1 999,845	1 998,59	2 001,25
2 000	0,974	1 999,543	1 997,82	2 000,51
1 000	1,033	1 002,200	1 001,00	1 004,00
1 000	0,358	1 000,040	999,27	1 000,45
1 000	0,487	1 000,097	999,43	1 001,35
1 000	0,354	1 000,203	999,60	1 000,75
500	0,303	501,247	501,00	501,98
500	0,253	501,460	501,00	501,91
500	0,119	501,440	501,20	501,57
450	0,316	450,900	450,00	451,00
450	0,316	450,900	450,00	451,00
450	0,224	450,950	450,00	451,00
450	0,422	450,800	450,00	451,00

и закрепляются на центральных электродах разрядников 4. Фотодатчики 3 подсоединены к измерителю времени 6. Управление подрывом детонаторов осуществляется при помощи персонального компьютера 5. По мере срабатывания устройств, на монитор компьютера 5 выдается время замедления каждого из них, среднеквадратическое отклонение и коэффициенты, характеризующие качество продукции.

Вероятность безотказного срабатывания устройств «Искра-С» должна быть не менее 0,9998 при доверительной вероятности 0,9. При получении хотя бы одного отказа или при получении отклонения σ или z_1 , z_2 более, чем на 10 % от их нормируемых значений дополнительно испытывают утроенное количество устройств. При этом отклонения от нормы не допускаются.

Результаты испытаний нескольких партий продукции «Искра-С-1000» представлены в **Ошибка! Источник ссылки не найден.** 2, которые наглядно показывают, что фактические значения среднего времени срабатывания изделий и среднеквадратическое отклонение от номинальных значений полностью удовлетворяют требованиям ТУ (табл. 1).

По результатам обработки 130 наблюдений (13 партий) получена гистограмма и теоретическая плотность распределения времени срабатывания

замедлителей «Искра-С-1000» (рис. 2).

Видно, что теоретическая плотность распределения времени срабатывания характеризуется ярко выраженным видом нормального распределения. В данной серии испытаний $\bar{t} = 999,4$ мс, $\sigma = 18,9$ мс.

Для сравнения точности срабатывания устройств для иницирования скважинной сети проведен анализ результатов заводских испытаний устройств «Искра-Т» с электронным замедлением, фрагмент представлен в табл. 3. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Оценка времени срабатывания устройств с электронным замедлением иницирования проводится по среднему времени срабатывания \bar{t} (мс) и среднеквадратическому отклонению времени срабатывания σ , (мс) по формулам (2, 3).

При проведении испытаний по определению времени замедления при срабатывании устройств «Искра-Т» учитывается длина ударно-волновой трубки. Максимальное отклонение времени замедления не должно превышать величины:

$$\Delta t = \frac{t_H}{500} + \frac{L}{20} + 0,5, \quad (4)$$

где L – длина ударно-волновой трубки, м.

Сравнение результатов испытаний устройств с замедляющим составом «Искра-П» и «Искра-С», а также устройств с электронным замедлением «Искра-Т» с утвержденными ТУ показало:

– фактические отклонения времени

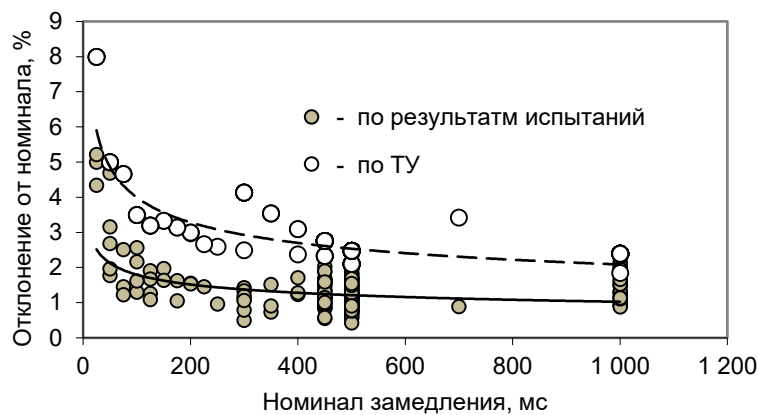


Рис. 3. Изменение относительного отклонения времени замедления в зависимости от величины номинала устройств «Искра-П» и «Искра-С»

Fig. 3. Change of relative deviation of the delay time, depending on the nominal value of detonators “Iskra-P” and “Iskra-S”

Таблица 4. Функциональная зависимость допустимого среднеквадратического отклонения времени срабатывания поверхностных и скважинных устройств

Table 4. Functional dependence of the permissible standard deviation of surface and downhole detonators firing time

Тип устройства	Номиналы τ , мс	Среднее отклонение, мс
«Искра-П, С»	25÷1000	$\sigma = 0,01\tau(3,97\exp(-0,008\tau) + 2)$
«Искра-Т»	Более 500	$\sigma = 1$

замедления от номиналов устройств «Искра-П» и «Искра-С» находятся в диапазоне допустимых значений, предусмотренных ТУ (рис. 3);

– отклонения электронных замедлителей «Искра-Т» в диапазоне 50–2000 мс не превышают 1 мс и по отношению к пиротехническим замедлителям обеспечивают повышение точности срабатывания устройств в 20–50 раз;

На этом основании для целей последующих исследований принимаются среднеквадратические

отклонения, представленные в табл. 4.

Результат. Установлена функциональная зависимость допустимого среднеквадратического отклонения времени срабатывания поверхностных и скважинных замедлителей системы «Искра» от их номиналов, необходимая для более детального исследования случайного характера инициирования системы скважинных зарядов при ведении взрывных работ на карьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев, С. А. Современные средства инициирования АО «НМЗ «ИСКРА». С. А. Кондратьев, С. А. Поздняков, А. С. Иванов, К. А. Вандакуров // Взрывное дело. Выпуск № 123/80. – М.: ИПКОН РАН, –2019. – С. 136–144.
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. Рубцов, С. К., Сравнительный анализ применения неэлектрических систем инициирования на горнодобывающих предприятиях / С. К. Рубцов [и др.] // Горный вестник Узбекистана. – 2005. – № 2. – С. 61–65.
4. Сысоев, А. А. Анализ систем инициирования скважинных зарядов на карьерах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. –2016. – № 4. – С. 60–67.
5. Сысоев, А. А. Технологические свойства неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов на карьерах / Вестник КузГТУ. – 2016. – № 1. – С. 34–38.
6. Шеменев, В.Г. Определение интервалов замедления неэлектрического инициирования «Коршун» и «Primadet» [Электронный ресурс] / В. Г. Шеменев, В. А. Сеницын, П. В. Меньшиков // Горный журнал Казахстана. – 2014. – №1. – С. 32–34. – Режим доступа: <https://tucont.ru/efd/456508>.
7. Устройства инициирующие с замедлением скважинные ИСКРА-С. ТУ 7275-031-07513903-2008 Технические условия.

8. Устройства ИСКРА-Т с электронным замедлением инициирования. Технические условия ТУ 7287-043-07513903-2006.

9. Стенд для испытания СИНВ, Искра на время срабатывания. Руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ФГУП НМЗ «Искра». – 2003. – 22 с.

REFERENCES

1. Kondratyev, S. A., Modern means of initiation of JSC "NMZ "Iskra". S. A. Kondratyev, S. A. Pozdnyakov, A. S. Ivanov, K. A. Vandakurov // Blasting. Issue No. 123/80. - Moscow: IPKORN RAN, -2019. – Pp. 136-144.

2. Kuzmenko, A. A. On the number of actually firing charges in one group / A. A. Kuzmenko, O. N. Chalaya, D. V. Khlevnyuk // NTUU Bulletin “KPI”- Series "Girnitstvo". Issue 26. - 2014 p.

3. Rubtsov, S. K., Comparative analysis of non-electric detonators use at mining enterprises / S. K. Rubtsov [et al.] // Mining Bulletin Uzbekistan. - 2005. - No. 2. – Pp. 61-65.

4. Sysoev, A. A. Analysis of downhole detonators application in quarries// News of higher educational institutions. Mining journal. -2016. - No. 4. – Pp. 60-67.

5. Sysoev, A. A. Technological properties of non-electric detonators for downhole charges at quarries / KuzSTU Bulletin. - 2016. - No. 1. – Pp. 34–38.

6. Shemenev, V. G. Determination of delay time intervals of non-electric detonators "Korshun" and "Primadet" [Electronic resource] / V. G. Shemenev, V. A. Sinitsyn, P. V. Menshikov // Mining journal of Kazakhstan. - 2014. - No. 1. . Pp. 32-34. – Mode of access: <https://rucont.ru/efd/456508>.

7. Delay downhole initiation devices ISKRA-S TU 7275-031-07513903-2008 Technical requirements.

8. Initiation devices ISKRA-T with electronic delay. Technical requirements TU 7287-043-07513903-2006.

9. Stand for testing SINV, ISKRA for firing time. User manual. - Novosibirsk: FGUP “NMZ "Iskra". - 2003. - 22 p.

Поступило в редакцию 11.12.2019

Received 11 December 2019