

## ИЗСЛЕДВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ВЗРИВНИ МАШИНИ ЗА ТЕХНОЛОГИЯ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКО ВЗРИВЯВАНЕ

Гергана Камбурова<sup>1</sup>, Славчо Лазаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Минно геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

<sup>2</sup> Миненерго ООД, София

**РЕЗЮМЕ.** При извършване на взривни работи в подземни и открити рудници и кариери, както и в различни строителни обекти се работи с различни типове и видове взривни машини. Най-широко приложение намират кондензаторните модели индукторни и батерийни взривни машини. Във връзка с новата класификация на електродетонаторите в страните на ЕС са утвърдени конструктивни и функционални изисквания и методи за изпитване на допуснатите до употреба взривни машини. Тези нови изисквания са задължителни и са приети и като БДС EN13763-26.

Едно от най-съществените нови изисквания към взривните машини допуснати до употреба е осигуряването на необходимия импулс и кривата на разтоварване за различните класове електродетонатори.

В работата са дадени извършените изследвания на допуснатите до употреба в България взривни машини, тип L(Лазаров) в съответствие с новите изисквания на ЕС. От тези изследвания се установи, че трите разновидности взривни машини, тип L-200, L-300 и L-500 отговарят на основните изисквания на новите нормативни документи в т.ч. и за работа във взривоопасни газопрахови среди.

### STUDY OF THE PARAMETERS OF BLASTING MACHINES THAT USE ELECTRIC BLASTING TECHNOLOGY

Gergana Kamburova<sup>1</sup>, Slavcho Lazarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700, (e-mail minenergo yahoo.com)

<sup>2</sup> Minenergo Ltd, Sofia

**ABSTRACT.** When blasting is done in underground mines and quarries, as well as in building sites, different types of blasting machines are used. The most used types of blasting machines are the capacitor models powered by inducer or batteries. With the introduction of new classification of the electro-detonators by the EU, a new set of constructive and functional requirements and methods for the testing of blasting machines is required. In order for the blasting machines to be used the above mentioned requirements and methods are compulsory and were also adopted by the BDCEN 13763-26.

One of the main new requirements is to ensure that proper output energy and discharge curve is present in the different models blasting machines.

In this work is presented the data obtained in the study of type L (Lazarov) blasting machines. In this study was conclusively determined that all 3 types blasting machines – L – 200, L- 300, and L-500 are in compliance with the new requirements set by the EU and the BDCEN, including for work in conditions in danger of blowouts due to gas and dusts.

### Въведение

Технологията на електрическото взривяване се осъществява с използването на различни типове и видове електродетонатори. По досега действащите нормативни документи у нас, като Правилника по безопасността на труда при взривните работи и БДС, електродетонаторите у нас са класифицирани в три класа, а именно:

- нискоимпулсни (Н) с безопасен ток 0,18 А и невъзпламенителен импулс 0,8 mJ/Ω;
- повишеноимпулсни (П) с безопасен ток 0,45 А и невъзпламенителен импулс 8 mJ/Ω;
- високоимпулсни (В) с безопасен ток 4 А и невъзпламенителен импулс 1100 mJ/Ω.

С влизането на България в Европейския съюз досегашните БДС престанаха да са актуални, като нашата страна се задължава да изпълнява изискванията на ЕС. В България понастоящем са допуснати до употреба редица вносни електродетонатори, преди всичко от Чехия, производство на фирмата Остин детонатор, както и от Украйна и др. страни.

От фирма Остин детонатор се внасят милисекундни и секундни електродетонатори с невъзпламеняващ безопасен ток от 0,45 А и възпламеняващ импулс от 18 mJ/Ω.

Милисекундните електродетонатори са с до 30бр. степени на закъснение със закъснителен интервал на закъснение от 25–30 ms. Гилзата е алуминиева, а проводниците медни или стоманени.

Секундните електродетонатори са до 12 бр. степени на закъснение със закъснителен интервал от 250 или 500 ms. Гилзите и проводниците са както при милисекундните ЕД.

Предохранителни милисекундни електродетонатори с до 16 бр. степени на закъснение със закъснителен интервал от 30 ms. Гилзата им е изработена от мед, а проводниците от стомана или мед в зависимост от дължината им.

При технология на електрическо взривяване в подземни и открити рудници и кариери, както и в различни

строителни и други обекти в България се работи с най-различни типове и видове взривни машини.

Най-широко приложение намират кондензаторните модели и типове взривни машини. Те се делят основно на акумулаторни, батерийни и индукторни. В по-голямата си част, използваните стари модели и типове взривни машини у нас са предназначени за работа с нискоимпулсни електродетонатори от досегашния клас Н или с невъзпламеняващ ток 0,18 А. Такива са уредите КВП – 1/100 Русия, М-514 стар внос от ГДР, българския уред ИПМ, някои стари типове от ликвидирания фирма Шафлер и др. Всички тези уреди имат определени недостатъци и не отговарят на съвременните изисквания към тези машини.

## 1. Европейски изисквания към детонатори, релета и взривни машини

Считано от началото на 2007 г. у нас действат приетите от Европейския комитет по стандартизация стандарти от серия EN 13763 Детонатори и релета. Първият стандарт от тази серия БДС EN 13763-1 третира въпросите по изискванията към детонатори, релета и взривни машини.

### 1.1 Нова класификация на електрическите детонатори

На таблица 1 е дадена новата класификация на електрическите детонатори на ЕС.

Таблица 1

Нова класификация на електрически детонатори на ЕС

Клас детонатор	Клас I	Клас II	Клас III	Клас IV
Невъзпламенителен ток, $I_{nf}$ , А	$0,18 \leq I_{nf} < 0,45$	$0,45 \leq I_{nf} < 1,20$	$1,20 \leq I_{nf} < 4,0$	$4,0 \leq I_{nf}$
Минимален невъзпламенителен импулс, $W_{nf}$ mJ/Ω	0,5	8	80	500
Импулс на електричеството – тично разреждане ESD (mJ/Ω) „проводник към проводник“	0,3	6	60	300
Импулс на електричеството – тично разреждане ESD (mJ/Ω) „проводник към гилза“	0,6	12	120	600

Съгласно тази нова класификация, означенията на българските електродетонатори по електрическа чувствителност съгласно действащия Правилник по безопасността на труда и други нормативни документи се изменят, както следва:

а) електродетонатори от клас Н с нормална електрическа чувствителност и невъзпламеняващ ток от 0,18А, стават от **клас I** с минимален невъзпламеняващ импулс  $W_{nf}$  от 0,5 mJ/Ω.

б) електродетонатори от клас П с повишена електрическа устойчивост и невъзпламеняващ ток от 0,45А, стават от **клас II** с минимален невъзпламеняващ импулс  $W_{nf}$  от 8 mJ/Ω.

в) образува се нов **клас III** електродетонатори, които в България до сега не са били нормативно регламентирани с невъзпламеняващ ток от 1,20 А и минимален невъзпламеняващ импулс  $W_{nf}$  от 80 mJ/Ω.

г) електродетонаторите от клас В с висока електрическа устойчивост и невъзпламеняващ ток от 4,0 А, стават от **клас IV** с минимален невъзпламеняващ импулс  $W_{nf}$  от 500 mJ/Ω.

### 1.2 Изисквания към взривните машини

Във връзка с новата класификация на електродетонаторите по електрически параметри са и новоразработените конструктивни и функционални изисквания и методи за изпитване на приспособленията и допълнителните принадлежности, необходими за надеждното и безопасно инициране на детонатори при нормални работни условия дадени в БДС EN 13763-26. Тези устройства са следните:

- взривни машини за инициране на електрическите детонатори;
- контролери за взривни машини ;
- полски уреди за измерване на електрическата верига;
- кабели за взривяване за работа с електрически взривни машини;
- свързващи проводници и детонатори.

Съоръженията предназначени за работа само на открито не се изпитват на климатични и механични въздействия.

Взривните машини за инициране на електронните детонатори и електронните взривни системи не се третират в БДС EN 13763–26.

За изясняване на изискванията за инициране на електродетонаторите са дадени допълнения към термините и определенията, както следва:

#### 1. Взривна машина

Съоръжение, предназначено да подава електрическа енергия към веригата от електрически детонатори, за да ги иницира.

#### 2. Взривна машина, включваща средствата за контрол на серийно възпламеняване

Взривна машина, включваща средства за контрол на серийно (последователно) възпламеняване на електрическите детонатори, свързани с нея.

#### 3. Контролер за взривна машина

Съоръжение, специално предназначено за свързване с изходните клеми на взривната машина за потвърждаване, че изходната характеристика на машината попада в границите, определени от производителя и че тя е способна да иницира посочения максимален брой детонатори.

Контролерите, обикновено се осигуряват от производителя на взривни машини и са проектирани за употреба с определен тип машина. Те са проектирани да позволяват на потребителя на взривната машина, да проверява периодично за потвърждение, че машината функционира правилно, преди тя да бъде използвана на място. Индикацията, осигурявана от контролера, може да се различава от един тип на друг. Например, някои имат

обикновена „Изправен/Неизправен“ индикаторната лампа и други имат аналогови или цифрови монитори, способни да показват действителната изходна енергия на взривната машина. В някои държави членки на ЕС, правилната употреба на тези контролери, се изисква от националното законодателство, като част от потребителската „експлоатационна схема на взривната машина“.

#### 4. Иницираща верига

Електрическа верига, предназначена да бъде свързана с взривната машина, съставена от кабел за взривяване, електрически детонатори, проводници на детонаторите и удължаващи проводници към тях.

#### 5. Полеви уреди за изпитване на електрическа верига

Уреди предназначени за измерване, проверка или изпитване на инициращата верига на открито място, преди да бъде направен опит за инициране на детонаторите с взривна машина.

#### 6. Уред за изпитване на непрекъснатост и съпротивление

Вид на полеви уред за изпитване на електрическа верига, предназначен за измерване, проверка или изпитване на непрекъснатостта и съпротивлението на инициращата верига.

#### 7. Уред за изпитване на непрекъснатостта и импеданса(пълно съпротивление)

Вид на полеви уред за изпитване на електрическа верига, предназначен за измерване, проверка или изпитване на непрекъснатостта на импеданса на променливия ток на инициращата верига, при честотата указана от производителя.

#### 8. Уред за изпитване на изолацията на веригата

Вид на полеви уред за изпитване на вериги, предназначени за измерване, проверка или изпитване на изолация между главния електрически проводник в инициращата верига и общото заземяване.

#### 9. Свързващи проводници

Изолирани електрически проводници, които могат да бъдат свързани между взривния кабел и водещите проводници на детонатора. Свързващите проводници нормално се използват еднократно, защото са разположени твърде близо до взривните средства и обикновено се повреждат от въздушната вълна при взрив.

#### 10. Максимално съпротивление на иницираща верига

Максималното електрическо съпротивление на конкретна конфигурация на иницираща верига от електрически детонатори.

## 2. Определяне на максималното съпротивление на иницираща верига

Общите изисквания към взривните машини за инициране на електрическите детонатори са следните:

а) всяка взривна машина трябва да има изходни клеми или изводни съединяващи средства за сигурно прикачване на вида кабел за взривяване, който е предназначен да бъде използван с нея. Площта на електрическия контакт на

всяка клема, трябва да бъде пресичана най-малко два пъти от локалната площ на кабела за взривяване, който е предназначен да бъде използван с нея.

Изходните клеми на взривните машини, трябва да имат бариера от изолационен материал между тях, която да изпъква най-малко 4mm по-високо от проводящата част.

б) всяка взривна машина трябва да притежава средства за оператора за непосредствено контролиране на възпламеняването или да контролира започването на възпламенителната серия.

в) всяка взривна машина, която не е проектирана да бъде носена от оператора в ръце през цялото време, трябва да включва приспособление, напр. ключ, управляващ ключ – прекъсвач или подвижна управляваща ръкохватка, която да предпазва машината от задействие, когато е отстранена от нея.

г) кондензаторните взривни машини с избираемо изходно напрежение, инициращо електрическите вериги, трябва да включват подходящ индикатор, показващ, че необходимото напрежение е достигнато (например измервател или LED индикатор).

д) взривните машини, не трябва да произвеждат изходната си енергия чрез директно ръчно действие на скорост, зависещо от зареждащият механизъм.

е) взривни машини, предназначени за работа във въглищни мини, трябва да включват двуполусен прекъсвач (който може да бъде електрически, механичен или електронен) предназначен за възпламеняващият механизъм, за свързване на вътрешния енергиен източник (например генератор, кондензатор, батерия) към изходните клеми.

ж) взривните машини, предназначени за употреба в потенциално експлозивна атмосфера (напр. във въглищни мини или тунели разположени във въглищно/нефтени пластове), не трябва да имат части от тяхната повърхност, направени от сплав, съдържаща повече от 15% от общата маса алуминий, магнезий или титан и не повече от 6% от масовата част от магнезий или титан. Това изискване е за предпазване от запалителна искра чрез термична реакция, когато такива леки метали се удрят в ръждясало желязо/ стомана.

з) изолационното съпротивление между откритите електрически проводими части (включително изходните краища) и външната обвивка или външен корпус или контейнерна взривна машина, трябва да бъде най-малко 2MΩ когато е изпитано при 500V постоянен (DC)ток.

и) изолираните части на взривните машини, трябва да могат да издържат двойно максимално изходно напрежение на машината или 1000 V променлив ток (AC) RMS, който е по-големият, за период от 60s без пробиване или повреда на изолацията.

Максималното съпротивление на иницираща верига  $R_e$  се определя по уравнението :

$$R_e = R_t + \frac{NR_s}{n^2} \quad (1)$$

където:

$R_t$  електрическо съпротивление на взривния кабел в Ω;

$N$  е общият брой на електрическите детонатори;

$R_s$  е съпротивлението на електрическите детонатори вΩ;

$n$  е броя на паралелните електрически вериги.

Изходният ток и изходната енергия на взривните машини трябва да бъдат:

- а) да имат възможност за надеждно осигуряване на достатъчна възпламенителна енергия ( $KR_e$ ) за инициране на максимален брой електрически детонатори, с позволеното съпротивление на кабела за взривяване, във всички позволени конфигурации на инициращите вериги, определени от производителя на взривната машина;
- б) да включват фактор по безопасност ( $S$ ), осигуряващ изискванията по т. (а);
- в) подаване на изискваното количество енергия, определено в (а), да бъде определено преди първия детонатор или някоя серийна/паралелна конфигурация да е изложена на електрическа верига, по такъв начин, че да предпазва понататъшно протичане на електрически ток и подаване на иницираща енергия.

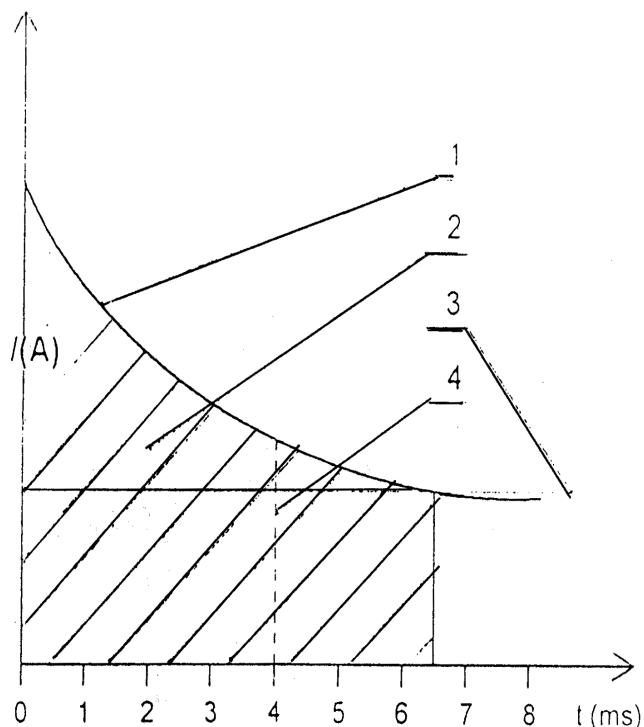
Продължителността за подаваната енергия (в) е нормално времето, за което изходния ток ( $I$ ) намалява от неговата начална стойност при започването на иницирането, до стойност равна или по-голяма от серийния възпламенителен ток на електрически детонатор ( $I_{series}$ ) и фактора безопасност ( $I \geq nSI_{series}$ ). В случаи, че взривната машина е предназначена за работа в потенциално експлозивна атмосфера (например въглищни мини), продължителността е определена на 4 ms максимално изходно време на взривната машина.

Например кондензаторния тип взривни машини с максимално съпротивление на електрическата верига ( $R_e$ ) със свързани на пряко изходни клеми, е необходимо да осигурява иницираща енергия не по-малко от  $KR_e$  за изисквана продължителност. Също така, изходният ток е по-голям от възпламенителния ток на всички серии от отделните детонатори, предназначени да се използват с взривната машина, където  $K$  е равно или по-голямо от „ $n^2S^2W_{af}$ ” за изискваната продължителност. Това е показано на фиг. 1 за изходния ток ( $I$ ) на взривната машина, към времето от започване на възпламеняването до времето, когато изходният ток на машината, намалее до стойност равна на серийния възпламенителен ток на детонаторите.

Енергията, доставяна от взривната машина през този период се получава в застрихована част под графиката. Енергията се изчислява от интеграла на тока на квадрат върху този период, умножен по максималното съпротивление на инициращата верига и където:

- $W_{af}$  е възпламенителният импулс на всички детонатори, изисквани от производителя, в  $J/\Omega$  или  $W_s/\Omega$ ;
- $I$  е изходният ток на взривната машина в А;
- $I_{series}$  е серийния възпламенителен ток на детонатора в А
- $n$  е броя на паралелно свързаните вериги;
- $S$  е факторът на безопасност според броя на паралелните вериги(табл.2);
- $R_e$  максималното съпротивление на инициращата верига;
- $K$  е възпламенителният импулс на взривната машина в  $J/\Omega$  или  $W_s/\Omega$

Измерването на импулса и неговите параметри се извършва с осцилограф съгласно изискванията на БДС EN 13763 – 26.



Фиг. 1 Импулс на взривна машина и крива на разтоварване  
1-крива на разтоварване; 2-площ за изчисляване на енергията на импулса на взривната машина; 3- възпламенителен ток на електрическите детонатори и фактора на безопасност ( $nSI_{series}$ )  
4-времето за прекъсване на импулса на взривни машини предназначени за работа в потенциално експлозивни атмосфери по газ

Таблица 2  
Факторът на безопасност според броя на паралелните вериги

Брой на паралелните вериги	1	2	3	4
S	1,15	1,25	1,35	1,40

### 3. Изследване характеристиките на българските взривни машини, тип L (Лазаров)

В нашата страна са допуснати до употреба съвременни индукторни взривни машини, с които понастоящем се извършват взривни работи в подземни и открити обекти в т.ч. и в рудници опасни от експлозии на газ и прах. Това са взривни машини тип L (Лазаров), с марки L – 200, L – 300 и L – 500.

На фигура 2 е даден общият вид на взривните машини тип L (Лазаров), с ключ за рудници опасни по газ и прах и с бутон за останалите обекти, а на таблица 3 основните им параметри. Българските уреди L-200, L-300 и L-500 отговарят на разгледаните основни изисквания на стандарта БДС EN 13763–26.



Фиг. 2 Общ вид на взривни машини тип Лазаров с ключ и бутон

Машините са индукторни с IP-54 защита и взривозащита  $E_{xs}$ . Масата им е 1,65 kg и са със сравнително малки размери. Предназначени са, както за работа с ЕД от клас I (Н), така и за ЕД от клас II (П).

**Взривната машина L-200** преодолява съпротивление на последователна електрическа верига от 650Ω, при работа с ЕД клас I (Н) с невъзпламенителен ток 0,18 А или 250Ω при работа с ЕД от клас II (П) с невъзпламенителен

Таблица 3

Параметри на взривни машини тип L(Лазаров) L-200, L-300 и L-500

Тип детонатори	ЕД от клас I -невъзпламенителен ток -0,18 А			ЕД от клас II -невъзпламенителен ток -0,45 А		
	L-200	L-300	L-500	L-200	L-300	L-500
1. Маса, kg	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
2. Размери, mm	122/90/152	122/90/152	122/90/152	122/90/152	122/90/152	122/90/152
3. Напрежение на кондензатора, V	1000±50	1000±50	1000±50	1000±50	1000±50	1000±50
4. Капацитет на кондензатора, mF	12	16	22	12	16	22
5. Енергия, J	6	11,52	24,75	6	11,52	24,75
6. Максимално съпротивление, Ω						
-последователна верига, Ω	650	840	1000	250	370	500
-2 паралелни, Ω	500	700	900	170	280	450
-3 паралелни, Ω	400	600	800	-	-	400
-4 паралелни, Ω	-	500	700	-	-	-
7. Максимален брой ЕД на посл. мрежа						
-2 m Fe	180	240	285	100	148	200
-3 m Cu	240	335	400	208	308	400
8. Сигурен импулс, A <sup>2</sup> ms	4	4	4	18	18	18
9. Минимален взривяващ ток, А	1	1	1	2	2	2

1. Съгласно стандарта БДС EN 13736-1 Изисквания е въведена нова единна класификация на електро детонаторите за работа в страните на ЕС в т.ч. и в България. Съгласно тази класификация електро детонаторите се разделят на 4 класа (I, II, III, IV). С определени изисквания за невъзпламеняващ ток в А и невъзпламеняващ импулс в mJ/Ω. Досегашната българска класификация по електрическа чувствителност се изменя, като ЕД от клас **Н** стават от клас **I**, ЕД от клас **Р** съответно от клас **II** и ЕД от клас **В** съответно от клас **IV**. Въведеният клас **III** с невъзпламеняващ ток от 1,2 А и

ток 0,45 А. Могат да се използват за взривяване при всякакви условия в т.ч. и рудници опасни от експлозии на газ и прах.

**Взривната машина L-300** преодолява съпротивление на последователна верига от 840 Ω, при работа с ЕД от клас I (Н) или 370 Ω при работа с клас II(П). Може да взривява и две паралелни вериги по 280 Ω съпротивление всяка при работа с детонатори от клас II(П). Напрежението на кондензатора е 1200 V. Машините L – 300 са с ключ или бутон.

**Взривната машина L-500** преодолява съпротивление на последователна верига от 1000 Ω при работа с ЕД от клас I (Н) или 500 Ω при работа с клас II(П). Напрежението на кондензатора е 1500 V. Може да работи с две и три последователни вериги при ЕД от клас II (П) съответно със съпротивление 400 и 450 Ω Машините L – 500 са бутонен тип.

#### 4. Основни изводи и заключение

От извършените изследвания на параметрите на взривната технология на електрическото взривяване могат да се направят следните основни изводи:

невъзпламеняващ импулс от 80 mJ/Ω, досега не се използва в България.

2. В изпълнение на новата класификация на електро-детонаторите са разработени и въведени конструктивни и функционални изисквания и методи за изпитване на допусканията до употреба взривни машини за безопасно извършване на технологията на електрическо взривяване. Тези изисквания са дадени в стандарта БДС EN 13763-26, като за еднаквост е въведена нова терминология и определения.

3. Съгласно новият стандарт на ЕС е дадена задължителна методика и формулен апарат за определяне на максималното съпротивление на инициращата верига  $R_e$ , като се въвежда и фактор за безопасност  $S$  с цел да има възможност на надеждно осигуряване на достатъчна възпламенителна енергия, надвишаваща с 1,15 до 1,40 пъти необходимата енергия и краен ток на определена конфигурация на иницираща верига.

4. При работа във взривоопасни среди се ограничава времето за подаване на импулса и кривата на разтоварване до 4 ms, като измерването на импулса и неговите параметри се извършва с осцилограф, съгласно изискванията на БДС EN 13763-26

Препоръчана за публикуване от  
Катедра "Открито разработване на полезни изкопаеми и взривни работи", МТФ

5. От извършените изследвания и изпитвания се установи, че допуснатите до употреба взривни машини, тип L (Лазаров) отговарят изцяло на изискванията на БДС EN 13763-26 в т.ч. и за работа в условия опасни от експлозии на газ и прах.

### **Литература**

БДС EN 13763-1 Експлозивни за граждански цели.  
Детонатори и релета - Изисквания.  
БДС EN 13763-26 Експлозивни за граждански цели.  
Определения, Методи и изисквания за приспособления и принадлежности за надеждна и безопасна работа на детонатори и релета.  
Правилник по безопасността на труда при взривните работи. 1997. С., *Техника*.