



ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ ЗА ИНИЦИИРАНЕ НА ВЗРИВНИ ЗАРЯДИ

инж. Иван Табов- Табов Инженеринг - ООД e-mail: tabov@tabov.bg
инж. Николай Сираков - СМА Минерал Бургас вар e-mail: nsirakov@smamineralbg.com

РЕЗЮМЕ

Целта на доклада е да представи новите електронни жични и безжични системи за инициране на взривни заряди. В тази връзка се прави кратка ретроспекция на различните системи за инициране на заряди от взривни вещества и тяхното развитие във времето. Показани са ползите от подобни инициращи системи, предимствата и недостатъците.

ABSTRACT

The purpose of the report is to present the new electronic wired and wireless systems for initiating explosive charges. In this regard, a brief retrospective of the various systems for initiating explosive charges and their development over time is made. The benefits of such initiating systems, their advantages and disadvantages are shown.

Средствата за взривяване са тези взривни материали, които имат за цел да предизвикат първоначалния взривен импулс в основното взривно вещество.

Импулсът трябва да е достатъчно мощен и сигурен, за да предизвика взрив в основното взривно вещество.

Изискванията, на които трябва да отговарят средствата за взривяване, са значително големи, поради особеното им предназначение. От една страна те трябва да действат безотказно, да осигуряват достатъчно мощен импулс за надеждно и безотказно инициране на зарядите. От друга страна те трябва да бъдат безопасни при употребата и устойчиви при удар, тръскане, огън и други външни нежелани въздействия.

Във своето развитие, средствата за взривяване са претърпели множество преобразувания, трансформации и модификации с цел по-качествено взривяване на вторичния заряд, осигуряване на закъснение при взривяване, защита от блуждаещи токове, мълнии и индуктивни полета.

Главната цел на разработчиците на средства за взривяване винаги е била безопасността на хората при работа с тях.

Също така, основна цел при разработката на тези средства е и безопасността спрямо околната среда.

В настоящия доклад ще се спрем на последните нововъведения в областта на иницирането на заряди от взривни вещества, като преди това ще направим кратка ретроспекция при развитието на същите.

Средствата на взривяване са съставени от взривни вещества, които реагират на следните външни въздействия: удар, огън, искра, топлина, налягане, триене, статично електричество, детонация и др. Някои от които са нежелани, като напр. статичното електричество и блуждаещи токове.

За средствата за взривяване поради техния характер и разнообразие не е разработана единна класификация, както например е при бризантните ВВ за граждански цели, барутите и пиротехническите изделия.

Независимо от това те могат да се класифицират по определени признаци, най-главният от които е начинът на въздействие върху инициращото ВВ в тези изделия или казано накратко, най-общо те могат да бъдат: огневи, електрически, неелектрически/NonEI/ и електронни жични и електронни безжични.

Най-старите средства за взривяване са огневите капсул детонатори.

Първият детонатор е представен през 1745 г от Сър Уилям Уотсън, който чрез фрикционна машинка /електростатичен генератор/ подава чрез две жички искра на черен барут, поставен в малка метална капачка.

През 1750 г Бенджамин Франклин патентова детонатор, състоящ се от хартиена шпула, пълна с черен барут, с два проводника в него и запечатана от двата края. При подаване на напрежение, тези проводници генерират искра, която детонира барута.

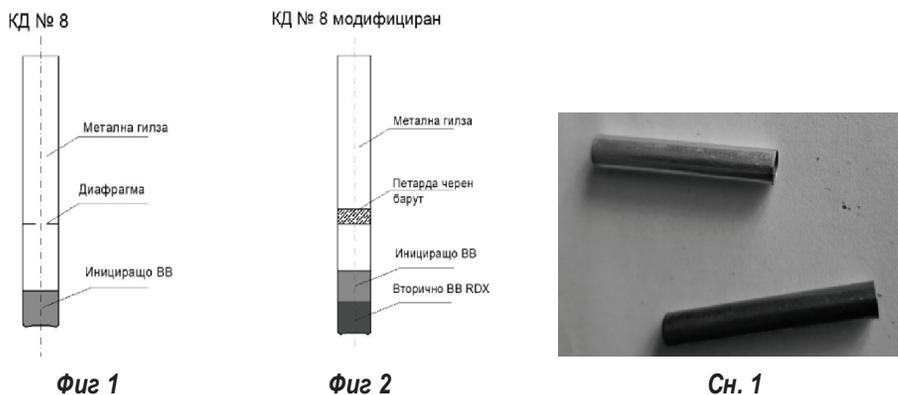


През 1832 г. американският химик Робърт Хеър произвежда детонатор с нажежаема жичка, потопена в черен барут.

Независимо, че този вид средства предизвикват детонация, тя не е достатъчно мощна, за да предизвика взрив в бризантни взривни вещества. По-скоро могат да бъдат наречени запалки, отколкото детонатори.

Тъй като тези барутни подпали не могат да предизвикат взрив в нитроглицерина, през 1860 г. за да взриви произведените от нитроглицерина взривни вещества /динамити/, Алфред Нобел поставя в метална гилза Живачен флуминат /гърмящ живак/. Така, от 1867 г. използва малки медни капсули с живачен фулминат, задействани от фитил/Бикфордов шнур/, за да детонира нитроглицерин.

Така се появяват първите капсул-детонатори.



Капсул-детонатор КД № 8 /сн. 1/ се употребява до ден днешен. Първоначално се е снабдявал с Живачен флуминат/Гърмящ живак/. В последствие след 1907 г започват да се използват и други инициращи ВВ, като Оловен азид, ТНРС /Тринитрорецорцинат,/ Тетрацен и др.

От изброените ВВ, гърмящият живак от една страна е най-чувствителен на външни въздействия/удар и топлина/ от друга страна реагира с някои метали, като прави вредни за изделието метални съединения.

Гърмящият живак е три пъти по-чувствителен на удар и два пъти по-чувствителен на топлина от оловния азид.

Живачният флуминат единствено с медта не прави окиси, поради което се асемблира в медни гилзи. Оловният азид пък най- добре си взаимодейства с алуминиевата гилза.

КД № 8 в годините е претърпял известни модификации, свързани главно с осигуряване на устойчива детонация и безопасност при работа.

Първоначално представлява метална тръбичка с един отвор с диаметър $\varnothing 7,05$ mm и дължина $\approx 45-48$ mm.

В глухият край на гилзата се поставя инициращо взривно вещество, над него на около 10 mm се внедрява метална диафрагма, която позволява да премине огъня от огнепроводния шнур, но не позволява на огнепроводния шнур да достигне до инициращото взривно вещество и чрез триене да предизвика нежелан взрив.

Така произведените детонатори в никакъв случай не са защитени от удар при падане/изпускане/. При евентуално изпускане, детонаторите падат от към запълнената с ВВ страна. Така опасността от евентуален взрив е сериозна, особено ако КД е снабден с Живачен флуминат.

От друга гледна точка, инициращите/първичните/ ВВ са изключително чувствителни на външни въздействия, но не са така мощни като бризантните взривни вещества. Вторите пък не са чувствителни към изброените по-горе въздействия. Те са чувствителни единствено към детонация.

Затова, за да удовлетворят изискването на по-голяма безопасност и по-сигурен импулс, конструкторите на средства за взривяване внедряват в дъното на гилзата Хексоген /RDX/ като вторичен заряд на капсула и върху него поставят оловен азид или друго първично ВВ, което да предизвика детонацията.

По този начин от една страна се получава по-мощна и сигурна детонация, а от друга капсула се защитава от евентуален удар върху челната част при изпускане.



За осигуряване на по-сигурно приемане на въздействието огън, горната част при диафрагмата се поставя малка петарда /подпал/ с черен барут, който приема огъня от фитила, усилва го и го предава към първичното взривно вещество.

Както споменахме, КД № 8 се иницира посредством Бикфордов шнур.

През 1868 г. Хенри Джулиъс Смит от Бостън заменя Бикфордовия шнур, като въвежда капсул, комбинирайки ел. запалка, покрита с червен фосфор с искрова междина и живачен фулминат. Така се появява първият електрически детонатор, който е способен да взривява динамит.

През 1875 г. Смит, а след това през 1887 г. Пери Гарднър от Норт Адамс, Масачузетс, разработват електрически детонатори, които комбинират детонатор с живачен фулминиран експлозив. Това са първите като цяло модерен тип електродетонатори. Съвременните електродетонатори използват различни експлозиви и отделни първични и вторични експлозивни заряди, но като цяло са много подобни на детонаторите на Гарднър и Смит.

Смит изобретява и първият източник за ел.захранване със задоволителни размери, преносим който да може да подаде високоволтов променливотоков импулс към мрежа от ел. детонатори. Уредът е индукторен тип и представлява зъбна рейка, която при натиск завърта зъбно колело, около което е навита пружина/магнет/. Създава се напрежение, което иницира взривната мрежа.

В последствие, към съвременните детонатори прибавят между запалителното мостче и първичното ВВ закъснителен елемент, състоящ се от пиротехническа смес и осигурява точно закъснение на капсула. Електрическите детонатори обикновено са проектирани съответно със смес за запалване, пиротехнически предпазител (за забавящия елемент) и базов заряд/фиг. 3, сн. 3 и сн.4/.



Сн. 3



Сн. 4

Ел. детонатор



Фиг 3

Електрическият детонатор се състои от два проводника /фиг.3/, вградени в метална обвивка, която съдържа високоексплозивен базов заряд, предназначен да иницира други експлозиви.

Така при инициране на взривната мрежа всички капсули се иницират едновременно, но закъснителните елементи подават огневия импулс към инициращото ВВ с различно време и по този начин се постига закъснението.

Съобразени със закъснението, ел.детонаторите биват три вида: с мигновено действие, с милисекундно закъснение и със секундно закъснение.

Ел. детонаторите се доказали своята ефективност при взривяване в рудници, мини, подземно и надземно инфраструктурно строителство и събаряне на сгради и съоръжения.

Съществен недостатък, който има при ел. взривяването са блуждаещите токове, районите с гръмотевична активност, взривни обекти в близост до Ж.П. линии с контактна мрежа, далекопроводи за високо и



свърхвисоко напрежение.

Тъй като електрическите детонатори са проектирани да се задействат, когато към тях се подава електрическа енергия, всеки външен източник на електрически ток представлява потенциален източник за инициране.

Например, когато рудник Кремиковци работеше, там категорично беше забранено използването на ел. детонатори. Освен, че находището се експлоатираше с ел. багери, ел. сонди, Ж.П извоз с електровози, то и съдържанието на метал в рудата варираше между 35 и 50 %, което допълнително утежняваше нещата.

Независимо, че през годините се появиха ел.детонатори с повишена чувствителност към блуждаещи токове и други нежелани електрически въздействия, мерките за безопасност продължиха да изключват ползването на ел. система за взривяване в подобни територии.

Затова, продължаваше да се използва огнева система- инициране с капсул-детонатор №8, мрежа от ДШВ, разделена със закъснителни релета/КЗДШ и Schaeffler еднопосочни и двупосочни/.

До момента, в който се появи неелектрическата система NonEI /Non-electric/.

Системата NonEI разрешава всички въпроси, свързани с безопасността от нежелани електрически въздействия върху взривните полета.

НонЕл е името на първата неелектрическа система, въз основата на вълновод, произведена от фирмата Нитро Нобел през 70-те години на миналия век.

С изобретението на НОНЕЛ, взривниците се сдобиват с дълготърсена алтернатива на електрическите детонатори, детониращите шнурове, закъснителните релета, индуктори, и огневи детонатори за инициране на мрежите. Системата предлага предимства, като покрива много голяма част от недостатъците на огневите и електрическите системи.

Тя по никакъв начин не се влияе от атмосферните условия, гръмотевична активност и наличие на източници, генериращи блуждаещи токове. Работи устойчиво и под вода.

Самите детонатори /фиг. 4/ на практика не се различават от електрическите. За разлика от тях обаче, въздействието не е огнево /искра от нажежаема жичка с пироелемент/, а детонация, предадена по детонационна тръба /вълновод/ от източник на първоначално въздействие до пиротехническият закъснител в капсула.

Най-важното качество на системата е нейната изключителна безопасност спрямо хората и околната среда.

За разлика от детониращия шнур, който също пренася детонацията със скорост ≈ 6000 m/s и предизвиква щети, то при вълновода детонацията се пренася вътре в тръбата със скорост ≈ 2100 m/s, без да разрушава целостта на тръбата. Състои се от екструдирани трислойна пластмасова тръба с диаметър $\varnothing 3$ mm, покрита от вътрешната стена с реактивно експлозивно съединение, което при запалване разпространява детонация с много ниска енергия, подобна на експлозия на прах. Взривният импулс се движи вътре по дължината на тръбата с минимално смущение извън тръбата/леки вибрации/. На края на тръбата чрез гумен шлаух е кернирана капсулната гилза, която приема детонацията от вълновода и я предава на пиротехническият елемент.



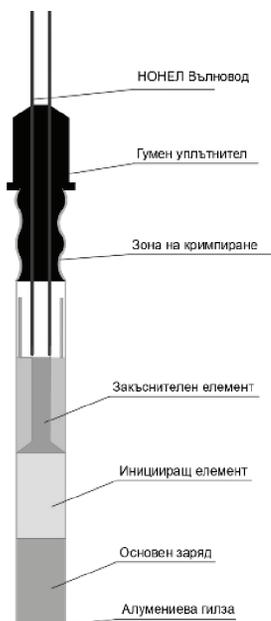
Сн.5



Сн.6



NonEI детонатор



Фиг. 4

Както при електрическите детонатори, така и при неелектрическите детонатори, пиротехническият елемент /фиг.4/ за забавяне е проектиран да гори с фиксирана приблизителна скорост/макар и доста точна/. Дължината и съставът на пиротехническият елемент контролират приблизителната скорост на изгаряне и по този начин времето на задействане на взривния елемент на детонатора. Тъй като приблизителната скорост на горене подлежи на промяна, се влияе точността на времето на подаване на импулс /взривен или електрически/ към детонатора. При взривни мрежи, изпълнени с неелектрическите детонатори с много малки закъснения /напр. 17 μs /, заради допустимата грешка в закъснението е възможно презастъпване на закъсненията, което в някои случаи може да се окаже фатално.

Един от основните недостатъци на NONEL системата е невъзможността да бъде контролирана изправността /проверена чрез замерване със специализиран уред/ и целостта на схемата на свързване, както и компонентите на NONEL системата.

При взривяване на скални масиви в опасни по сеизмика райони, /в близост до урбанизирани територии, защитени обекти, хидротехнически съоръжения и др./ важна роля играе точността на използваните закъснения за постигане на минимално взривно-

сеизмично въздействие върху охраняваните обекти и максимална ефективност при раздробяването на масива до желаната са закъсненията, с които се разрушават отделните конструктивни елементи на сградата. По някога, при проектиране на специални взривни работи в сложни условия /населени места, заводи, пристанища и др./ дори закъснение от 1 μs може да се окаже фатално за изхода на взрива.

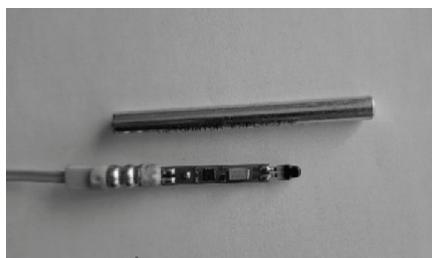
Същото се отнася и за рудници, извличащи скъпоценни метали. Преместването на скалната маса може да доведе до обедняване на материала и до големи загуби при извличането.

За да се избегнат подобни грешки, преди около две десетилетия се появяват електронните детонатори. Тук следва да отбележим, че максималното отклонение на електронните детонатори, в сравнение с другите системи на инициране (при NONEL системата минималното отклонение е „ $\pm 9 \mu\text{s}$ “), е 1 милисекунда, което ги прави най-подходящи за извършване на взривявания в близост до охраняеми обекти.

Електронен детонатор



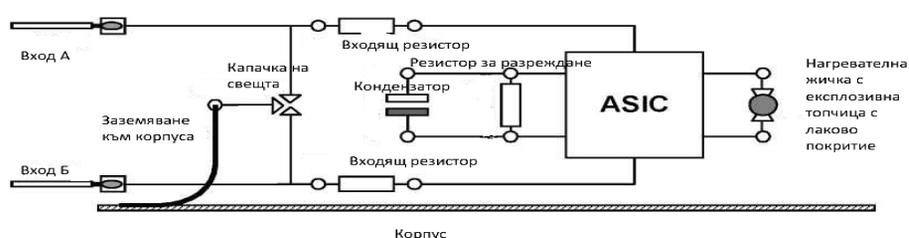
Фиг. 5



Сн. 7



Сн. 8



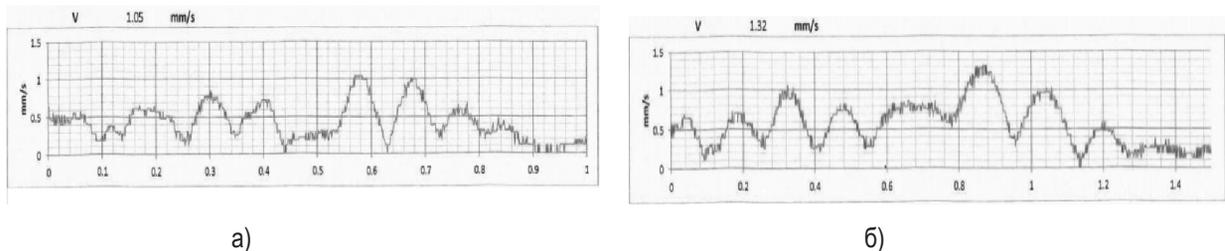
Фиг. 6



Електронните детонатори са проектирани да осигурят прецизен контрол, необходим за получаване на точни и последователни резултати от взривяването в различни приложения за взривяване в минната, кариерната и строителната индустрия. При тях пиротехническият закъснителен елемент се замества с програмируем електронен чип. Електронните детонатори могат да бъдат програмирани на стъпки от милисекунди или под милисекунди с помощта на специално устройство за програмиране, наречено Data logger. Програмирането може да се задава предварително или непосредствено преди самото взривяване.

Проучванията и провежданите по експериментален път оценки показват, че при компонентите в които се използва на програмируем електронен чип, стойностите на взривно-сеизмичното въздействие са с около 25% по ниски от тези с пиротехническият закъснител.

На фиг. 7 са представени диаграми от проведени опитни взривявания при зададени еднакви параметри на взривната мрежа, диаметър на сондажа и последователност на взривяване на сондажите. Отчетени са следните скорости на трептене на масива: $V_{\text{ел. чип}} = 1,05 \text{ mm/s}$ и $V_{\text{пиротех.}} = 1,32 \text{ mm/s}$.



фиг. 7 Графичен вид на регистрираните стойности за максимална скорост на преместване (трептене)
а) сеизмограма отчетена при взривяване с електронен детонатор; б) сеизмограма отчетена при взривяване с НОНЕЛ система.

Безжични електронни системи

От няколко години в минната практика успешно се предлагат безжични системи за електронно инициране на взривни заряди. За настоящият доклад сме разгледали системата за безжично инициране на заряди WebGen™ 200 на фирма Orica LTD, която през 2024 г бе внедрена за първи път в България в рудник Челопеч.

Системата представлява интегрирано устройство/блок/, съдържащо бустер от бризантно ВВ с вграден електронен детонатор, батерия и предавател с антена. /фиг. 6/. След като се настрои предварително и се окомплектова, устройството се спуска с помощта на въженце в сондажа до мястото, където трябва да стои боевика. Във взривни дупки може да се постави и с помощта на зарядната машина. След като се зареди сондажа или взривната дупка, същите се затапват и полето остава заредено без да има никакви изходящи от него проводници, вълноводи и др.

Електронната система се управлява безжично от предавател посредством вълни с ултра ниска честота.

Тези вълни са способни безпрепятствено да преминават през различни по вид и структура скали, руди с различно метално съдържание, нерудни минерали, въглищни пластове, вода и да достигнат сигурно до вградения приемник в бустера. Сигналът, преминаващ през вместващите скали, предварително се измерва и настройва в зависимост от тяхната плътност.

Това напълно елиминира необходимостта от свързващи вълноводни линии, повърхностни и подземни магистрални проводници, както и проводници, подаващи напрежение към инициращите взрива елементи при взривните полета. Готовият бустер се спуска в сондажа с ВВ, вързан с въженце и поставен в зоната, в която е предвиден да работи. В хоризонтални взривни дупки се поставя посредством манипулатора и работния инструмент на каретата или ръчно с помощта на шомпола. Така поставен в зоната на инициране на сондажа, бустера „заспива“. Източникът на ток/батерията/който е вграден в бустера, може да издържи до 3 месеца. Поради изключително ниската чувствителност на



удар към ВВ, върху зареденото поле може да се извършват различни минни дейности- транспорт, депониране на материали и др.

Системата WebGen™ 200 е разработена в четири различни продуктови варианта, който включват различни по тегло и диаметър бустери. По този начин се открива възможност системата да се ползва както в открития, така и в подземния добив на полезни изкопаеми включително и в рудници, опасни по газ и прах.

Накратко за електронната система WebGen™.

Системата се състои от Pentex™ W бустер, съдържащ смес от нечувствителните бризантни ВВ/взривни вещества/ RDX/TNT. В зоната на бустера, където попада челната част на детонатора е вградена малка пресовка от ВВ PENT, която има за цел да приеме детонацията от касула и да я предаде на основното ВВ .

В специално направен отвор в бустера се поставя програмируем електронен детонатор I-Kon™ W plugin, предварително монтиран към антенен приемник за еднократна употреба (DRX).™. Антенният приемник е в един корпус със заредена батерия, която осигурява необходимото напрежение за работата на приемника и за задействане на запалителния елемент на електронния детонатор.

WebGen™ 200 БУСТЕР



Фиг. 8



Фиг. 9



Сн. 10



Сн. 11

Преди да бъде свързан към бустера /фиг 8/, електронния детонатор /фиг 9/ се присъединява към антенния блок и се програмира с какво време да се инициира с помощта на WebGen™ 200 Encoder. Енкодерът /Сн. 11/ програмира детонаторите преди присъединяването им към Pentex™ W и полагането им във взривната дупка. Детонаторите от едно и също взривно поле получават уникални BID кодове и индивидуално време за закъснение, започващо от 1µs и достигащо до 30 000 µs.

Специален генератор създава магнитен индукционен сигнал, който се подава от полу-мобилна група от антени, имащи ефективен обхват до 700 м. Сигналите се управляват от специален бластер,

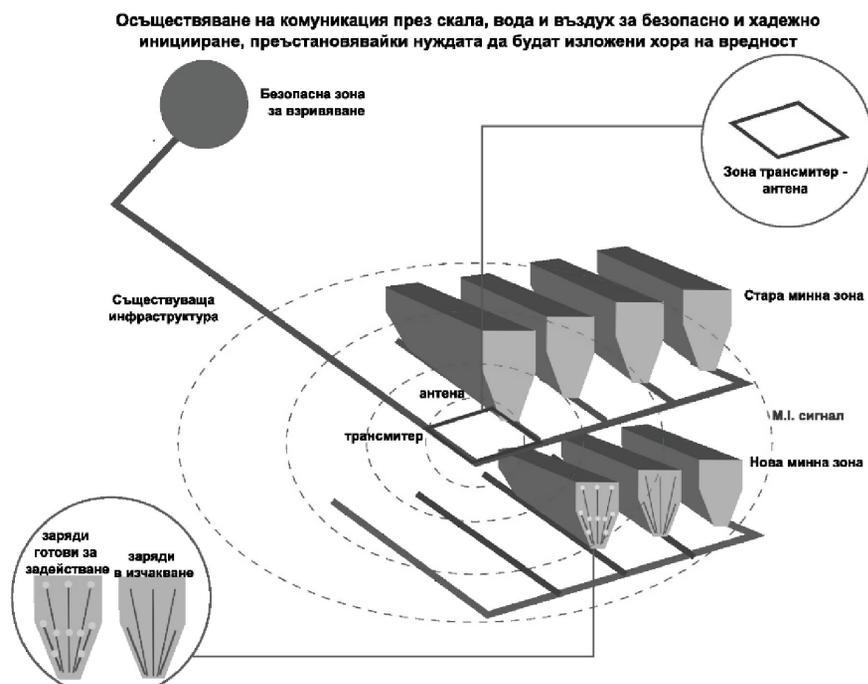
след като системата отчете, че във взривното поле всички хора са изтеглени и са извън опасната зона. Системата има независимо ел. захранване, осигурено от акумулаторен пакет.

Предимства на системата.

Оптимално управление на минната техника.

Взривното поле може да бъде подготвено, заредено и да бъде взривено далеч във времето- до 3 месеца след неговото пълно зареждане. Това помага да се подготвят отдалечени забои, при които бъдеща работа в близост до тях би пречела на тяхното изработване.

Върху зареденото взривно поле могат да се извършват всякакви минни мероприятия- временно депониране на готова продукция, транспортна площадка, база за съхранение на техника и др. Преминването на транспортни средства вкл. и тежка техника през подготвено взривно поле в много случаи подобрява транспортната схема на рудника а преминаването на тежка техника върху зареденото поле по никакъв начин не може да повлияе и да предизвика взрив.



Фиг. 10

При подземните минни изработки, взривните дупки могат да се заредят посредством манипулатора и работния инструмент на каретата, като предварително програмираният бустер се подава автоматично заедно с взривното вещество. При подземни взривни работи, предимството на системата е, че може дълго време/ до 3 месеца/ да остане заредено взривно поле, без да се взриви/Фиг.10/.

Системата дава възможност за нови методи за добив и взривни техники, за да се увеличи производителността и да се намалят разходите за взривяване.

Основното предимство на безжичната електронна система е високата степен на безопасност, която осигурява при работа.

Системата може да се зарежда при лоши метеорологични условия - дъжд, сняг и най-вече гръмотевична буря. При системи с електрическо инициране, при гръмотевични бури не може да се извършва зареждане и взривяване, докато при този вид системи -жични или безжични, такъв проблем не съществува.



WebGen™ 200 позволява работа в зони с висока ел. магнитна индукция, зони на блуждаещи токове, както и в зони с предпоставка за генериране на статично електричество. Електронното подаване на напрежение към запалката на капсула е с двустепенна софтуерна защита и по никакъв начин не може да бъде пробита от случайни ел. заряди.

За основен заряд/бустер/ се използва смес от ниско чувствителни ляти BB RDX/TNT / Хексоген и тротил/ в съотношение, което не позволява BB да бъде иницирано от капсул-детонатор. За целта, във основната взривна смес е вграден малък заряд от пресован PENT, който приема детонацията от капсул-детонатора и я предава на BB на бустера.

Така подготвеният заряд не позволява да бъде инициран от никакви външни въздействия, като удар, триене или повишено външно налягане.

В случай на дефект, който не би позволил на бустера да се взриви, наличието на същия във взривената скална маса по никакъв начин не крие риск нито за товарачната машина, нито за последващата преработка на материала. Първичното BB в електронния детонатор е безоловно и не се иницира от удар.

Работната честота за предаване на сигнали и комуникация между отделните компоненти на WebGen е в диапазона на ултра късите вълни, ULF (Ultra Low Frequency 0 ~ 3000 Hz). Тази честота не се използва от друго оборудване в минното дело и е безопасна от смущения от фонов електрически шум от минни дейности.

Системата WebGen™ 200 пристига от завода-производител разделена на отделни модули.

Pentex™ W бустери са под разпоредбите на ADR клас I, опаковани в кашони с етикет 1.1 D.

Електронните детонатори I-Kop™ W plugin също са под разпоредбите на ADR клас I, опаковани в кашони с етикет 1.1 B или 1,4 S в зависимост от опаковката и сертификата, който издава завода-производител.

Останалите елементи пристигат отделно от изделията, съдържащи взривно вещество.

Съгласно чл. 86/1/ от ПБТВР – 1997 г боевиците се изготвят на мястото на взривните работи в количества, съгласно паспорта на ПВР. Бустерът се програмира и се окомплектова окончателно преди самото влагане във взривната дупка.

Изводи

Системата WebGen™ 200 е модерна система, която осигурява най-висока степен на безопасност за хората и околната среда в сравнение с останалите системи.

Предимството на жичните и безжичните електронни системи е, че закъснението може да бъде изчислено и заложено с точност до $1\mu s$ и варира до $30\,000\mu s$. При останалите системи закъсненията са предварително заложили и при по-сложни и специфични нужди създават неудобства.

Предимство на капсул-детонатора на безжичната електронна система е, че капсулите са безоловни, което ги прави нечувствителни към удар.

Основно предимство на капсулите от електронните жични и безжични системи е, че когато попаднат в недобронамерени ръце, те не могат да бъдат използвани.

Основен недостатък на жичните и безжичните електронни системи е високата цена, на която се предлагат. Освен това, електронните системи се окомплектоват със скъпо струващи системи за настройка, управление и специализиран софтуер.

По отношение цена-качество-безопасност на труда, най ефективните системи към настоящия момент остават неелектрическите/НонЕл/ системи за инициране на взривни заряди.

Литература

1. Лазаров Сл. „Взривни работи“ Техника 1988 ;
2. Олфсон О Стиг „Приложна взривна технология за строителството и минното дело“ Дино Нитро Мед“-АД;
3. Табов Ив. Оценка на безжична електронна взривна система WebGen™, патентована и произведена от Orica по отношение безопасност при нейното използване. 06.2024 г;



4. Harry Verakis and Tom Lobb Underwater Drilling and Blasting For Hard Rock Dredging In Indian Ports - A Case Study G.R. Tripathy^{1*} and R.R. Shirke²-2015 г. ;
5. Уотсън, Уилям (1744). "Експерименти и наблюдения, които илюстрират природата и свойствата на електричеството" - <https://www.biodiversitylibrary.org/item/204890#page/6/mode/1up>;
6. Lowndes, K.M., Steiner, W., 2009, "Electronic Detonators and Lightning - Part 2", 35th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, International Society of Explosives Engineers