

## ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 635.232

Ю. А. Масаев

### РАЗВИТИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЗРЫВНЫХ ПРИБОРОВ С XVII ДО XXI ВВ.

Начиная с 1627 г. черный порох начали применять в горном деле и на протяжении сотен лет инициирование пороховых зарядов осуществлялось с помощью пороховой дорожки, хотя все это время велись поиски более совершенного и надежного способа.

Идея использования электрического тока для инициирования пороховых зарядов начала занимать умы ученых в XVIII–XIX в.в.

Еще в 1751 г. американский ученый Б. Франклин высказал мысль о возможности воспламенения пороха при помощи электрической искры. Эта идея оказалась осуществимой после того, как замечательный русский ученый физик Василий Владимирович Петров построил самую большую в мире гальваническую батарею и 17–19 мая 1802 г. впервые в истории науки осуществил невиданное ранее «светоносное явление» – электрическую дугу.

Большие заслуги в создании средств электрического взрывания принадлежат крупному русскому ученому, член-корреспонденту петербургской Академии наук Павлу Львовичу Шиллингу, продолжателю электротехнических идей В. В. Петрова.

В 1811 г. он создает первый в мире изолированный провод, пригодный для прокладки не только в сырой земле, но и под водой. Конструирование провода было необходимой ступенью к последующей работе над изобретенным им электрическим телеграфом и электрическим способом взрывания.

И в 1912 г. он разработал первый в мире электрозапал для инициирования зарядов черного пороха.

Сущность этого способа заключалась в том, что в пороховой заряд вкладывался угольковый запал, к которому от батареи подводился электрический ток с помощью тонкого медного провода изолированного шелком и смолистым составом.

В Америке предположение о возможности использовать электричество для воспламенения пороха было высказано Самуилом Кольтом лишь в 1829 г., а первые опыты произведены в 1842 г., в Англии такие опыты были произведены в 1837 г.

Продолжателем идей П. Л. Шиллинга после его смерти стал российский академик Борис Семенович Якоби. В 1842 г. он создал первую в мире электрическую подрывную машинку, которую в

то время называли «магнитно-электрической батареей».

С появлением электродetonаторов и внедрением в производство электрического способа взрывания возникла необходимость наряду с улучшением конструкции электродetonаторов разрабатывать и совершенствовать устройства источников тока.

В конце XIX в. начале XX в. уже было известно целый ряд источников тока и они уже подразделялись на следующие типы: батареи и аккумуляторы; электрические машинки; приборы для взрывания от электросети.

Батареи и аккумуляторы в подземных условиях получили ограниченное применение из-за низкого напряжения, малой прочности и большого веса. Как правило, им предпочитали взрывные машинки электрического типа, которые обеспечивали высокое напряжение, необходимое для одновременного взрывания нескольких электродетонаторов искрового типа.

Электричество, возбуждаемое на диске трения, конденсировалось в лейденских банках. Взрыв производился замыканием цепи при помощи кнопки. Однако машинки и этого типа были дорогими, громоздкими и тяжелыми. Примером может служить взрывная машинка Бернгардта, вес которой достигал 20 кг.

По этой причине наряду с ними все большее признание стали завоевывать машинки магнитоэлектрического типа. Для успешной работы с ними требовалась наиболее опытные взрывники, в противном случае взрывались не все электродетонаторы, включенные в электровзрывную сеть. Машинки эти получили широкое распространение, но и они со временем стали заменяться машинками динамоэлектрического типа как с ручным приводом, так и с пружинным заводом, которые могли уже взрывать до 80 электродетонаторов.

К началу 1900-х годов машинки динамоэлектрического типа прочно вошли в практику подземных работ угольных шахт, вытеснив машинки всех других типов. И на протяжении почти 50 лет они занимали доминирующее положение в угольной промышленности.

В России впервые нашли применение взрывные машинки образца 1913 г., имеющие массу 8 кг. Они были оборудованы магнитоэлектрическим генератором переменного тока и взрывным клю-

чом для подключения к взрывной сети после раскручивания якоря. Машинка обеспечивала инициирование до 20 электродетонаторов с платиновым мостиком накаливания при последовательном соединении во взрывной сети.

В 1931-1932 гг. были созданы отечественные динамоэлектрические машинки ПМ-1 с заводным пружинным механизмом и ПМ-627 с ручным приводом, обеспечивающие инициирование до 50 последовательно соединенных электродетонаторов. Для шахт, опасных по газу и пыли была создана машинка ВМ-10 с ручным приводом, смонтированная во взрывобезопасном корпусе. Недостатком этой машинки являлась небольшая мощность, позволяющая взрывать не более 10 электродетонаторов.

Все взрывные машинки динамоэлектрического типа имели общий принципиальный недостаток – вследствие кратковременности взрыва (4-10 мс) полезный расход энергии составлял всего 8-10 % вырабатываемой в остальные 200-250 мс, в течение которых привод вращается по инерции.

Это обстоятельство побудило научную и конструкторскую мысль вновь к электрическому принципу устройства взрывной машинки, но уже в новом конструктивном исполнении, соответствующем достигнутому уровню электротехники. Вместо диска трения был взят индуктор с магнитоэлектрическим генератором, а вместо лейден-

ской банки использованы конденсаторы, способные заряжаться до 400-420 В и давать в необходимый момент короткий импульс, достаточный для воспламенения 50-60 электродетонаторов.

Первая конденсаторная взрывная машинка в СССР была создана в 1942 г. (А. И. Лурье).

В 1949 г. на таком же принципе Ф. Ф. Калинин, Д. А. Гершгал и А. С. Радупский разработали принципиальную схему и конструкцию мощной взрывной машинки конденсаторного типа ВМК-3/50 во взрывобезопасном исполнении. А первая взрывная машинка во взрывобезопасном исполнении (ВМВ-1) конструкции МакНИИ (Ю. М. Рибас, П. Ф. Ковалев) была разработана в 1947 г.

Несколько позднее была сконструирована автоматическая конденсаторная взрывная машинка АВМ-4/50, в которой ток включался во взрывную сеть автоматически при достижении напряжения 400-450 В на электродах разрядника.

Обесточивание электродов происходило сразу же после разрыва взрывной цепи. Продолжительная эксплуатация этих машинок в угольных шахтах показала, что они вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним горнодобывающей промышленностью.

В последующие годы взрывные машинки претерпели существенные изменения, появились машинки и приборы, способные осуществлять одновременный подрыв до 500 и даже 750 электроде-

Таблица 1

Параметр	Значение параметра
Уровень взрывозащиты	РВ1Х
Число последовательно соединенных электродетонаторов, шт.	100
Сопротивление взрывной сети, начиная с которого выдается сигнал ОБРЫВ ЦЕПИ, Ом	340±20
Источник питания	Батарея из двух литиевых элементов «Блик-3»
Максимальное амплитудное значение напряжения импульса тока, В	750
Напряжение питания, В	6,0–4,5
Длительность импульса тока, мс	3,0
Масса, кг	1,5

Таблица 2

Наименование характеристики	I режим	II режим	III режим	IV режим
Максимальное число последовательно соединенных ЭД, шт.	200 ЭД нормальной чувствительности	100 ЭД в обводненных забоях	200 ЭД в двух ветвях, в обводненных забоях	150 ЭД пониженной чувствительности
Предельное максимальное сопротивление взрывной сети, Ом	660	360	200	140
Гарантийный импульс тока, подаваемый на ЭД, $\times 10^{-3}$ А <sup>2</sup> , мс	3–8	6–18	12–32	22–44
Максимальное напряжение взрывного импульса, В			1500	
Габариты, мм			136×218×85	
Масса, кг			3,0	

тонаторов. Появляются такие машинки, как конденсаторные с низковольтным источником питания взрывные приборы ПИВ-100М и КВП-1/100П для взрываия до 100 последовательно соединенных электродетонаторов, взрывная машинка индукторного типа ВМК 1/100П так же на 100 последовательно соединенных электродетонаторов. Для открытых работ и шахт, не опасных по газу и пыли была создана конденсаторная индукторная взрывная машинка ВМК-500 способная взрывать до 800 последовательно соединенных электродетонаторов.

Для таких же условий была предназначена конденсаторная взрывная машинка КПМ-1А и сетевой выпрямительный взрывной прибор КВП-750, который имеет пять пар выводных зажимов, к которым можно одновременно подключать пять групп электродетонаторов по 170 штук в каждой.

Для производства взрывов одиночных или групповых зарядов ВВ при сейсморазведке был создан сейсмический взрывной прибор СВМ-2, обеспечивающий синхронизацию взрыва с началом работы регистрирующей аппаратуры и запись результатов, а также проверку токопроводимости взрывной сети и телефонную связь между взрывным пунктом и сейсмолабораторией.

В приборе встроены три схемы: первая – предназначена для взрываия зарядов ВВ; вторая

– для отметки импульса регистрации момента взрыва, а третья – для осуществления телефонной связи взрывного пункта и сейсмолаборатории. Она включает телефонную трубку, автотрансформатор, генератор для фонического вызова абонента и кнопку «Вызов».

С появлением средств беспламенного взрываия был создан высокочастотный искробезопасный взрывной прибор ИВП 1/12 для использования в шахтах, опасных по газу и пыли.

В последние годы Омский завод «Электроприбор» начал выпускать новые более совершенные взрывные приборы – ЖЗ-2462, ЖЗ-2460, ВПА.

*Устройство взрывное малогабаритное ЖЗ-2462* предназначено для автоматической выдачи импульса тока постоянной величины для инициирования ЭД нормальной чувствительности и предварительного непрерывного контроля сопротивления взрывной сети в шахтах опасных по газу и пыли, а также и на открытых работах.

*Устройство взрывное программируемое ЖЗ-2460* предназначено для автоматической выдачи импульса тока постоянной величины для инициирования ЭД нормальной и пониженной чувствительности и предварительного непрерывного контроля сопротивления взрывной сети в шахтах опасных по газу и пыли (в том числе в обводнен-

Таблица 3

Наименование характеристики	Значение параметра		
	ВПА-30	ВПА-60	ВПА-120
Количество инициируемых ЭД нормальной чувствительности, шт.	30	60	120
Предельное сопротивление взрывной сети, Ом	10	200	380
Нормальная амплитуда напряжения взрывного импульса, В	200	290	430
Время заряда конденсатора-накопителя, с	5	10	18
Число циклов работы без перезаряда аккумулятора	600	300	100
Масса, кг	1,9	1,9	1,9
Габариты	218×135×54,2		

Таблица 4

Наименование параметра	Значение параметра	
	для ВПС-2	для ВСС-1
Напряжение питания, В	380; 660	380; 660
Амплитуда напряжения взрывного импульса, В	1000+20	640; 1040
Максимальное число взрываемых ЭД	200	300
Габариты, мм	1100×480×750	1100×640×450
Масса, кг	130	70

Таблица 5

Наименование параметра	Значение параметра
Максимальное напряжение на конденсаторе-накопителе, В	1200
Длительность воспламенительного импульса, мс	2–4
Пределы электрического сопротивления взрывной сети при смешанном и последовательном соединениях ЭД, Ом	200–900
Величина воспламенительного импульса тока на допустимых сопротивлениях взрывной сети, не менее, $A^2\cdot s$	$3 \cdot 10^{-3}$
Время заряда прибора до начала мигания неоновой лампочки (сигнал готовности), не менее, с	30
Масса взрывного прибора, не более, кг	6,2

ных заботах), а также на открытых работах.

Питание приборов осуществляется от малогабаритных аккумуляторов типа Д-0,55. Их схемы содержат электронные ключи, которые обеспечивают автоматическую выдачу взрывного импульса только при заданном напряжении конденсатора-накопителя.

Отличительной особенностью данных конденсаторных взрывных приборов является наличие узла контроля сопротивления взрывной сети УКС, предназначенного для формирования сигнала, пропорционального величине сопротивления взрывной сети и в случае обрыва сети автоматической выдачи сигнала ОБРЫВ ЦЕПИ, а также узла контроля напряжения УКН, предназначенного для контроля напряжения батареи питания и сигнализации о ее разряде.

На взрывных приборах (устройствах) имеется следующая индикация:

- ПИТАНИЕ (зеленого свечения, 2-15 с), затем ИМПУЛЬС (зеленого свечения) при напряжении блока питания, достаточном для работы, и сопротивления взрывной сети от минимального до максимального, при котором еще выдается импульс тока во взрывную сеть, подключенную к выводным устройствам;

- ПИТАНИЕ (зеленого свечения, в течение 1-2 с), затем ОБРЫВ ЦЕПИ (красного свечения) – при сопротивлении взрывной сети, превышающем:

в устройстве ЖЗ-2462-340±20 Ом;

в устройстве ЖЗ-2460-640 Ом;

- ПИТАНИЕ (зеленого свечения), затем РАЗРЯД (красного свечения) при разряженной батарее.

Техническая характеристика приборов ЖЗ-2462 приведена в табл. 1.

ЖЗ-2460 – имеет четыре режима работы, включение каждого режима производится одним из четырех ключей взрывника. Устройство оборудовано узлом, обеспечивающим снижение напряжения импульса при уменьшении сопротивления взрывной сети. Краткие технические данные прибора приведены в табл. 2.

Приборы ВПА – выпускаются трех модификаций, которые имеют встроенный испытатель взрывной сети с отдельными клеммами.

Техническая характеристика приборов приведена в табл. 3.

Для взрывания в шахтных стволах Ростехнадзором допущены к применению взрывной прибор стволовой ВПС-2 и взрывная станция стволовая

ВСС-1, обеспечивающие длительность взрывного импульса до 4 мс.

Прибор ВПС-2 – это конденсаторный прибор, который устанавливается на проходческом полке ствола и приводится в действие дистанционно с поверхности. ВСС-1 устанавливается на поверхности и обеспечивает кратковременное подключение взрывной сети к силовой сети. Их основные технические данные приведены в табл. 4.

При разработке угольных месторождений в ряде случаев требуется взрывать одновременно до 2000 электродетонаторов – взрывное обрушение кровли, рыхление угольного пласта при гидродобывче и т.п.

Для обеспечения этих видов работ требуются более мощные взрывные приборы и применение более сложных схем соединения электродетонаторов, в том числе параллельных или комбинированных.

Для перебивания деревянных стоек при посадке кровли в лавах получил широкое распространение конденсаторный взрывной прибор ВП-2000м во взрывобезопасном исполнении (РВ, 1 В).

*Взрывной прибор ВП-2000м* предназначен для группового одновременного взрывания до 300 шт. электродетонаторов при их последовательном соединении и до 2000 шт. – при смешанном соединении. Технические данные прибора приведены в табл. 5.

Безопасность взрывания электродетонаторов обеспечивается в следующих климатических условиях:

- температура, °С – в пределах от -10 до +40 (или 268-313 °К);

- относительная влажность, % – от -30 до +98;

- атмосферное давление, мм рт.ст. – 660–860.

Принцип действия прибора ВП-2000м аналогичен принципу действия всех конденсаторных приборов – это накопление на конденсаторе электрической энергии заданного уровня в процессе зарядки от маломощного первичного источника тока и быстрая (3–4 мс) отдача запасенной энергии во взрывную цепь.

ФГУП НМЗ «Искра» (г. Новосибирск) выпускает непредохранительные электродетонаторы пониженной чувствительности к блуждающим токам, зарядам статического электричества и механическим воздействиям ЭД-3-ИМ и для подрыва этих электродетонаторов рекомендуют взрывные приборы, основные характеристики которых приведены в табл. 6.

Таблица 6

Сопротивление магистральных проводов, Ом	КВП-2/200		КПМ-2		КПМ-3	
	Максимальное количество подрываемых ЭД, шт.	Пре-дельное сопротивление взрывной сети, Ом	Максимальное количество подрываемых ЭД, шт.	Пре-дельное сопротивление взрывной сети, Ом	Максимальное количество подрываемых ЭД, шт.	Пре-дельное сопротивление взрывной сети, Ом
10	225	280	137	175	112	145
20	216	280	129	175	104	145
30	208	280	120	175	95	145

С появлением новых современных средств инициирования кардинально меняются и приборы взрывания. В практику взрывных работ внедряются средства инициирования неэлектрического взрывания (СИНВ) и в качестве инициатора при изготовлении боевиков применяются ударноволновые трубы (УВТ).

Фирма «Нитро Нобель АБ» выпускает систему «НОНЕЛЬ», несколько отличающуюся от системы СИНВ и для инициирования этой системы выпускает два вида взрывных машинок.

Ручная взрывная машинка HN1, которая подключается к комплекту шнуров-волноводов через стартер «НОНЕЛЬ» и имеет возможность полностью контролировать момент инициирования. Вторым типом машинки является дистанционная пневматическая взрывная машинка PN1, которая приводится в действие сжатым воздухом и инициирует волноводы через стартер «НОНЕЛЬ» или соединительный блок ИВО.

Наиболее сложным средством инициирования зарядов ВВ в настоящее время являются электродetonаторы с электронным замедлением (ЭДЭЗ).

В нашей стране разработчиками таких электродetonаторов являются ФГУП НМЗ «Искра» совместно с Новосибирским государственным университетом. ЭДЭЗ представляют собой детонатор со встроенным интеллектуальным микроконтроллером, имеет двухпроводную взрывную линию, которая используется как для подачи питания, так и для передачи кодированных команд детонаторам и получения ответной информации от детонаторов.

В таких детонаторах вместо замедляющих составов размещен микропроцессор, через который компьютер задает соответствующее замедление, а срабатывание мостика накаливания происходит при разряде конденсатора, размещенного в гильзе детонатора.

Срабатывание таких детонаторов производится через управляющий компьютер, согласующий адаптер и специальное программное управление.

Без управляющего компьютера может быть использована специальная взрывная машинка, назначение которой выдать ту самую особую кодовую последовательность для взрыва детонатора.

В зарубежной практике применяется система электронного инициирования i-kon™, которая включает i-kon™ детонатор; LOGGER, BLASTER, систему дистанционного управления i-kon дистанционным бластером.

Прибор LOGGER осуществляет самотестирование прибора и программы, в его функции входит изменение и запоминание времени замедления до 200 детонаторов.

BLASTER предназначен для программирования и тестирования детонаторов через систему LOGGER-ов, осуществляя самотестирование прибора и всей системы и снабжен специальным ключом.

Взрывная сеть монтируется в следующем порядке. Проводники электронных детонаторов, выходящие из шпуров, через коннекторы подсоединяют к магистральным проводам.

Магистральные провода затем подсоединяют к соответствующими LOGGER-ам, которые затем подсоединяются к проводам от BLASTER-а.

BLASTER осуществляет нахождение и взрывание детонаторов через подсоединеные LOGGER-ы и одновременно может контролировать от 2 до 12 LOGGER-ов, что позволяет инициировать до 2400 детонаторов за один прием взрывания.

Таким образом, более чем четырехсотлетний путь развития приборов для электрического взрывания зарядов ВВ от первых примитивных устройств привел к современным сложным средствам инициирования и компьютеризации управления взрывным процессом при добыче полезных ископаемых. И в этом немалая заслуга принадлежит российским ученым, проектировщикам и производственным коллективом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копытов, А. И. История развития горного дела / А. И. Копытов, Ю. А. Масаев, В. В. Першин. – Новосибирск : Наука, 2009. – 510 с.
2. Масаев, Ю. А. Электродетонаторы с электронным замедлением (опыт промышленного применения) / Ю. А. Масаев, В. П. Доманов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2011. № 2. 2010. – С. 102–106.

□ Автор статьи:

Масаев  
Юрий Алексеевич  
- канд. техн. наук, проф. кафедры  
строительства подземных  
сооружений и шахт КузГТУ,  
тел. (+7-384-2)39-63-78