



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Study of the calculation, design, and fabrication of rational small explosive charges for experimental research on soil and rock blasting using miniature models

Nguyen Van Tinh¹, Dam Trong Thang^{1*}, Le Sy Thuong², Tran Quang Hieu³

¹Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam

²School of Engineering Officers, Vietnam

³Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

Thanks to the specific features of the field of blasting operations that destroy soil and rocks, experimentation is a useful research method that makes it possible to obtain access to the fastest and most suitable blasting effects. However, experimental research in this field is extremely complicated due to reasons of cost, safety, and procedures for obtaining permits... Moreover, experimental research that involves carrying out large-scale blasts on real models is impossible and almost never feasible. Therefore, in order to carry out experimental research on soil and rock blasting under laboratory conditions, miniature quantities of explosives are necessary. However, in Vietnam at present there are no specialized small charges for conducting experimental work. Therefore, based on theoretical-analytical studies and the principles of transmission of explosive detonation, the article calculates, designs, and constructs a technological process for obtaining small explosives with a TNT equivalent weight capacity from 0.5 g to 3 g. These types of explosives were manufactured and tested in accordance with current standards at the plant, with results showing 100% complete samples for detonation testing, and the indicators of size, safe current value, vibration safety, and resistance comply with existing Vietnamese designs and standards.

Keywords:

Explosive charge; Blast model; Explosion; Blast experiment; Rock blasting

**Corresponding author.*

E-mail address: thangdt@lqdtu.edu.vn



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Исследование расчета, проектирования и изготовления разумных малых зарядов взрывчатых веществ (ВВ) для экспериментальных работ по взрыву грунта и горных пород на миниатюрных моделях

Нгуен Ван Тинь¹, Дам Тчонг Тханг^{1*}, Ле Си Тхыонг², Чан Куанг Хьеу³

¹ Технологический университет Ле Куи Дона, Ханой

² Инженерно-офицерская школа

³ Ханойский горно - геологический Университет

АННОТАЦИЯ

Благодаря особенностям области взрывных работ, разрушающих грунт и горные породы, экспериментирование является полезным методом исследования, позволяющим получить доступ к наиболее быстрым и подходящим взрывным эффектам. Однако экспериментальные исследования в этой области чрезвычайно сложны по причинам стоимости, безопасности и процедур получения разрешений... Более того, экспериментальные исследования, предусматривающие проведение крупных взрывов по реальным моделям, невозможны и почти никогда не возможны. Поэтому для проведения экспериментальных исследований взрывов грунта и горных пород в лабораторных условиях необходимы миниатюрные количества ВВ. Однако во Вьетнаме в настоящее время нет специализированных небольших взрывов для проведения экспериментальных работ. Поэтому на основе теоретико-аналитических исследований и принципов передачи взрывной детонации в статье рассчитан, спроектирован и построен технологический процесс получения мелких ВВ с эквивалентной тротиловым весом емкостью от 0,5 г до 3 г. Эти типы ВВ были изготовлены и испытаны в соответствии с действующими стандартами на заводе с результатами 100% полных образцов для испытаний на детонацию, а показатели размера, безопасного значения тока, вибробезопасности, стойкости соответствуют действующим вьетнамским конструкциям и стандартам.

Ключевые слова: заряд ВВ, модель взрыва, взрыв, эксперимент по взрыву, взрыв горных пород

1. Введение

Малый заряд ВВ - это тип специализированного количества ВВ с довольно малым размером, эквивалентным обычному количеству ВВ от 0,5 г до 3 г ТНТ, способного детонировать при получении внешних возбуждающих импульсов, таких как источники питания, тепла.

В мире конструкции с малым взрывчатым количеством изучались и изучаются в различных формах, наиболее распространенной из которых является изготовление небольших взрывчатых количеств с детонатороподобными конструкциями, но с другой точки зрения отсутствия вогнутого дна, чтобы обеспечить относительно равномерное распределение взрывной энергии вокруг взрывчатого количества. Согласно некоторым специализированным документам (Джао и др., 2010) небольшие заряды ВВ с использованием ТЕН обычно имеют очень небольшую массу - от 0,2 до 2,0 граммов. Ссылки ограничиваются сферой применения этих форм ВВ в лабораторных условиях и пока не имеют доступа к проектно-технической документации.

Между тем, во Вьетнаме в настоящее время не ведутся исследования и производство специализированных небольших ВВ для проведения взрывных экспериментов с целью уменьшения масштабов взрывного эксперимента в полевых условиях и переноса его в лабораторию. Отсутствие подходящих небольших взрывных устройств и конструкций вызвало множество трудностей. Поэтому изучение и разработка взрывчатых количеств всех видов маленький полностью подходит для конкретных условий Вьетнама.

2. Данные и методы исследования

2.1. Теоретическая основа производства малых количеств ВВ

2.1.1. Чувствительность ВВ

Используемые ВВ должны обладать соответствующей взрывчатой чувствительностью. Взрывная чувствительность - это начальный прием импульса для взрывного превращения. Существует много типов взрывной чувствительности в зависимости от начального импульса, однако в данном исследовании нас интересуют два типа: чувствительность к взрывным импульсам и чувствительность к тепловым импульсам.

Чувствительность к взрывным импульсам оценивалась по наименьшему количеству препарата, необходимому для детонации ВВ, см. таблицу 1.

Таблица 1. Взрывная чувствительность к взрывным импульсам (Нги и Тоан, 2014; Тханг, Нам и Хьеу, 2015)

Тип ВВ	Ограниченное количество инициатора (г)	
	Фумаминт ртути	Азид свинца
ТНТ	0,36	0,090
Тетрил	0,29	0,025
Гексоген	0,19	0,025
ТЭН	0,17	0,03

Чувствительность к тепловому импульсу определяется температурой вспышки (T_v), это температура (с точностью 5°C), которая ниже этой температуры, при оставлении дозы препарата на 5 минут воспламенения не происходит (см. таблицу 2).

Таблица 2. Температура вспышки некоторых ВВ (Нги и Тоан, 2014; Тханг, Нам и Хьеу, 2015)

Тип ВВ	Азид свинца	Фумаминт ртути	Гексоген	Свинцовая ножка	ТНТ	ТЭН
T_v , °C	330	170	230	275	310	220

Таким образом, таблица 1 и таблица 2 станут важной основой для выбора подходящего компонента детонации для небольших количеств ВВ.

2.1.2. Детонация

Фактически, наиболее важной формой превращения ВВ является устойчивый взрыв, также известный как детонация ВВ, характерной чертой которого является распространение взрывной реакции вдоль взрывчатой массы с ультразвуковой скоростью, называемой взрывной волной.

Вражеские устойчивые волны взрыва (детонационные волны) представляют собой сумму ударных волн и зон химических реакций, в которых происходит превращение исходного ВВ во взрывчатые продукты в виде газа и пара. Поэтому существование устойчивых волн взрыва во взрывчатой массе зависит от одновременного существования ударных волн и зон химических реакций. На основе теории устойчивых взрывов величина взрыва должна обеспечивать определенную величину. Важными размерами взрывной дозы являются:

- Критический диаметр d_{th} - максимальное значение диаметра ВВ, которое, если меньше этого значения, уже не способно к устойчивому взрыву.
- Предельный диаметр d_{gh} - наименьшее значение диаметра ВВ, которое, если больше этого значения, не увеличивает скорость взрыва.

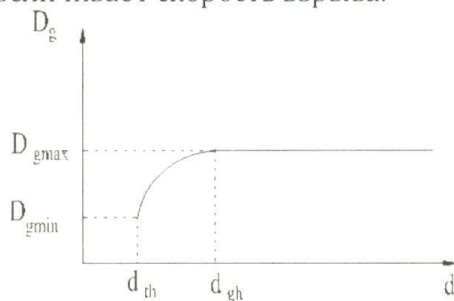


Рисунок 1. Зависимость скорости детонации от диаметра нарядов (Гяо, Санг и Хунг, 2007)

Глядя на рисунок 1, мы видим, что для обеспечения стабильности величины взрыва и наибольшей энергии разрушения объекта диаметр величины взрыва превышает предельный диаметр.

Путем теоретических и экспериментальных исследований мы получаем критические и ограниченные размеры некоторых ВВ без крышки, показанные в таб. 3.

Таким образом, чтобы соответствовать размеру малых зарядов ВВ, нам следует выбрать группу бризантных ВВ (гексоген или ТЭН) в качестве основного ВВ.

Таблица 3. Критические и ограниченные диаметры некоторых видов ВВ (Гяо, Санг и Хунг, 2007; Ман, 2014)

Название препарата	Размер частиц (мм)	d_{th} (мм)	d_{gh} (мм)
сжатие ТНТ	0,2 ÷ 0,7	11	30
сжатие ТНТ	0,01 ÷ 0,05	5,5	9,0
ТЭН ($\rho_0 = 1\text{г/см}^3$)		1,0	1,5
Гексоген	0,05 ÷ 0,2	1,0	1,5

2.2. Метод создания и проверки малых зарядов ВВ

2.2.1. Принцип конструктивного проектирования малых зарядов ВВ

а) Принцип действия малого заряда ВВ

В действительности детонаторы с конструкциями, эквивалентными малым взрывам, отличаются только тем, что детонаторы имеют вогнутое дно, а малые заряды

ВВ - нет. Причина этого в том, что вогнутое дно детонатора помогает сконцентрировать поток энергии, чтобы вызвать детонацию заряда ВВ. Малые заряды ВВ являются зарядами ВВ, поэтому для разрушения конструкции здания необходимо, чтобы лучи взрывной силы равномерно росли вокруг количества взрыва.

На основе наследования принципа действия всех типов электродетонаторов можно вывести принцип действия малых зарядов ВВ следующим образом: когда сила тока достаточно велика, проходя через элемент зажигания, он сгорит и создаст пламя. Зажигательный элемент примет пламя и испустит пламя. Взрывной элемент получает горящее тепло и производит взрыв, вызывая основной взрыв.

(б) Принцип строения малых зарядов ВВ

Исходя из принципа действия, конструкция малого заряда ВВ будет иметь следующие части:

- + Часть 1 - это часть, излучающая огонь от источника питания.
- + Часть 2 - это часть, вызывающая пожар.
- + Часть 3 - взрывоопасная часть.
- + Часть 4 - основное количество ВВ.

Схематическое расположение компонентов показано на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема расположения деталей

Элемент зажигания представляет собой электрический пламенный стартер. Электрическая огненная приманка - это тип огненной частицы, которая работает путем преобразования электричества в тепло. Существует 3 различных типа капсюлей для электровоспламенения: капсюль для электровоспламенения с огневым мостом, капсюль для электровоспламенения с зазором (контактный) и капсюль для электровоспламенения с искровым зажиганием (разрядный).

Наиболее популярным является электровоспламенение с огневым мостом, благодаря своей простоте и надежности подходящее для промышленных взрывных работ. Поэтому мы выбираем полуобожженный мостовой капсюль с сопротивлением 2-5 Ом. Безопасный ток для проверки величины импульса составляет 0,05 А. Односторонний ток вызывает взрыв силой 1 А.

В современных детонаторах азид свинца часто используется в качестве ВВ из-за его способности вызывать взрыв высокая надежность, ограниченный объем ВВ меньше и имеет длительный срок службы по сравнению с фуминатом ртути. Поэтому автор выбирает зажигательный элемент - свинцовый шпинат и взрывчатый элемент, обычно азид свинца. Поскольку свинцово-азидные капсюльные ВВ плохо воспламеняются, необходим пламенный капсюль, чтобы гарантировать воспламенение капсюльных ВВ и вызвать хорошую детонацию основного заряда ВВ. Свинцовый стипнат - псевдопрайминговое взрывчатое вещество, чувствительное ко всем простым начальным паттернам импульсов. Свинцовый стипнат можно хранить при высокой температуре 65÷70 °С в течение 2 месяцев состав стипната оставался неизменным.

Основной заряд ВВ - фугасное, так как количество ВВ в заряде ВВ достаточно мало (менее 3 граммов), поэтому для обеспечения стабильных взрывоопасных условий необходимо фугасное взрывчатое вещество. Величина производимого взрыва подбирается таким образом, чтобы обеспечить стабильные условия взрыва. В настоящее

время в электродетонаторах в качестве основного количества ВВ часто используются ВВ ТЭН, гексоген или тетрил.

2.2.2. Способ изготовления малых зарядов ВВ.

Поскольку малый заряд ВВ имеет структуру, аналогичную электрическому детонатору, метод создания малых зарядов ВВ также будет аналогичен электрическому детонатору. Метод изготовления малого пакета обобщен на блок-схеме рисунка 3.

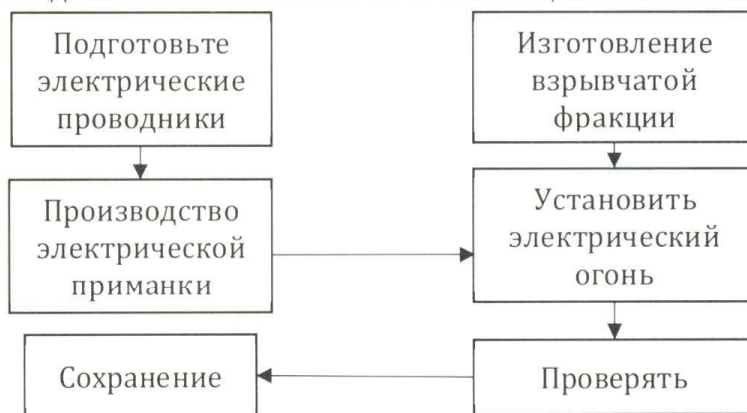


Рисунок 3. Схема способа изготовления малых количеств ВВ

2.3.3. Метод оценки качества изготовления малых зарядов ВВ.

Малые заряды ВВ после изготовления будет проведено для проверки качества. Процедура испытания следующая: сначала испытание на вибрацию, затем испытание на очистку цепи, измерение сопротивления и, наконец, испытание на взрыв.

а) Испытание на удар.

Целью данного испытания является определение безопасности небольших взрывов под воздействием сотрясений мозга, возникающих при транспортировке или использовании.

Требуется, чтобы изделие после прохождения вибрации вызвало нормальный взрыв.

Параметры теста. 20 штук/лот за 20 минут подряд пользовательский; частота $60 \pm$ один раз в минуту, амплитуда 150 ± 2 мм. Основным оборудованием для проверки сотрясения мозга является аппарат для оценки сотрясения мозга, а также секундомер, аппарат для оценки сотрясения мозга... Перед проведением испытания компоненты ударного тестера должны быть проверены и отрегулированы в соответствии с техническими требованиями. Примерно через 3–5 минут после остановки машины откройте дверцу, достаньте коробку с продуктом и выполните следующий этап проверки.

б) Проверка цепи, измерение сопротивления и детонации.

Используя специализированную схему, которая может регулировать интенсивность тока, проходящего через мост сопротивления, для проверки схемы и измерения сопротивления, тем самым определяя безопасный ток (который представляет собой ток с наибольшей интенсивностью на нижнем пределе, соответствующем нулевой скорости детонации), затем приступают к детонации для определения тока домкрата взрыв (ток с наименьшей интенсивностью на верхнем пределе, соответствующий скорости детонации 100%).

Также возможно использовать источники энергии, такие как батареи, аккумуляторы

или взрывные машины, чтобы вызвать детонацию зарядов ВВ. Обратите внимание, что источник питания должен разряжать ток, достаточно большой, чтобы вызвать небольшой всплеск.

Требования: При проверке сосудистого клиренса небольшая величина взрыва должна быть васкуляризирована (должна быть зажжена индикаторная лампа или перемещена индикаторная игла рукоятки), а если она не васкуляризирована, величина взрыва считается неудовлетворительной. При возникновении взрыва необходимо обеспечить достаточную мощность взрыва, услышать резкий, компактный взрыв, а в месте взрыва не должно быть разбросанного пороха.

- Примечание: при проверке на наличие небольших взрывов необходимо оставлять его за защитным объектом или в отверстии для обеспечения безопасности. Не допускайте посторонних лиц в зону досмотра.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Расчеты расчета малых зарядов ВВ

3.1.1. Выбор основного количества ВВ из малых зарядов ВВ

Чтобы оценить дробящее действие различных типов ВВ, мы будем основывать его на взрывном давлении ВВ. Значения взрывного давления некоторых ВВ рассчитываются по формуле 1, результаты которой приведены в таблице 4.

$$P_n = \frac{\rho \times D^2 \times 10^{-5}}{n+1} \quad (1)$$

Из которых: P_n - взрывное давление ВВ (кг/см²); ρ - плотность ВВ (кг/м³); D - скорость детонации заряда ВВ (м/с); 10^{-5} - коэффициент пересчета из Н/м² до кг/см²; n - многомерный экспоненциальный индекс ВВ. Среднее значение n для ВВ близко к 3.

Таблица 4. Значения взрывного давления некоторых ВВ

Тип ВВ	Плотность, кг/м ³	Скорость взрыва, м/с	Давление взрыва, кг/см ²
Гексоген	1600	8100	2624 40
ТЭН	1600	8300	2755 60
Тетрил	1630	7500	2292 18
ТНТ	1600	7000	1996 75

ТЭН обладают самым высоким взрывным давлением или лучшей дробящей способностью. С другой стороны, согласно ссылке (Нги и Тоан, 2014) ТЭН, будучи прирученным, по-прежнему обеспечивает взрывную чувствительность и работоспособность и должно использоваться в детонаторах. Таким образом, использование ТЭН в качестве взрывчатого количества является наиболее подходящим.

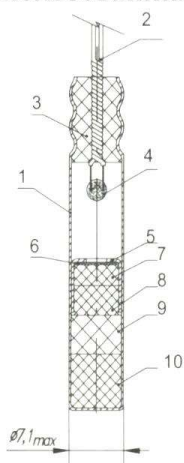
Чтобы сконцентрировать взрывную энергию для уничтожения объекта, заряды ВВ предпочтительно должно быть концентрированным зарядом ВВ, а когда заряд ВВ имеет высокую плотность, тем больше производимая взрывная энергия. Таким образом, исходя из технологического процесса завода и обеспечения безопасности при производстве, основное количество ВВ будет сжато до плотности 1,6 г/см³. Однако, когда ТЭН имеют высокую плотность, использование ВВ, заряженных азидом свинца, для взрывов будет затруднено, поскольку в это время точки взрыва в структуре ТЭН будут ограничены. При повышении отделяемости ВВ (или снижении плотности ВВ)

детонационная способность будет лучше за счет формирования большого количества центров, работающих в единичном объеме (Гяо, Санг и Хунг, 2007). Таким образом, при использовании азида свинца для полной детонации ТЭН в диссертации размещается дополнительная часть ТЭН меньшей плотности (жидкие ТЭН – гранулированные ТЭН) для обеспечения твердого заряда ВВ. С другой стороны, дополнительное расположение слоя ТЭН, заполненного жидкостью, поможет снизить механическое воздействие между слоем грунтовочного ВВ и цилиндрическим компрессионным ТЭН при уплотнении заполнителя.

3.1.2. Структура малых зарядов ВВ

Состав малых зарядов ВВ показан на рисунке 4.

Первый - это оболочка малых зарядов ВВ. Оболочка обычно представляют собой металлы, такие как медь или алюминий (Нги и др., 2016; Руководство по подрывным снарядам, 1969). Поскольку в состав ВВ входит азид свинца, оболочка выполнена из алюминия. Потому что когда свинец влажный, он действует не на алюминий, а на медь. Это может произойти из-за того, что азид свинца при разложении образует азотистоводородную кислоту, которая может реагировать с медью или оксидом меди, образуя азид меди, который еще более взрывоопасен, чем азид свинца, что очень опасно при хранении и использовании.



1. Оболочка малых зарядов ВВ
2. Электрические проводники
3. Кнопка влажной комнаты
4. Электрическая огненная приманка KD8
5. Расширенный лимит
6. Шелковая подушка
7. Свинец стипнат
8. Азид свинца
9. ТЭН жидких начинок
10. Цилиндрическое сжатие ТЭН

Рисунок 4. Структура малых зарядов ВВ

С другой стороны, исследования отчета основаны на технологии производства электродетонатора №8 завода, поэтому выбрал оболочку взрывчатого количества с наружным диаметром $\Phi = 7,1$ мм и внутренним диаметром $\Phi = 6,5$ мм. мм изменяет только высоту оболочки. Высота корпуса ВВ также зависит от типа малых зарядов ВВ и показана ниже.

Второй - электрический проводник длиной 1,5–2 м.

В-третьих, кнопка влажности в помещении изготовлена из пластика или резины длиной 10 мм.

Четвертый - Электрическая огненная приманка KD8. Расстояние от кнопки увлажнения помещения до огневого моста составляет 8 мм.

Пятый - укрепляющий колпачок: он повышает твердость, обеспечивая сохранность препарата внутри ВВ. Со стороны колпачка имеется небольшое отверстие диаметром $d = (2 \div 2,5)$ мм для попадания искры и воспламенения состава.

Шестая представляет собой шелковую подушку, расположенную под усиливающей крышкой, чтобы предотвратить рассеивание ВВ, но при этом позволить искре пройти.

7-й - зажигательный наркотик (пламенный наркотик) свинцовый стипнат.

Восьмой - взрывчатое вещество, заряженное азидом свинца.

9-е место занимает фугасная частица.

10-й - это взрывчатое вещество ТЭН, которое было сжато. По сути, 9-я и 10-я конструкции такие же, как и ВВ ТЭН, но отличаются только плотностью ВВ.

Для малых зарядов ВВ, эквивалентных 0,5 г ТНТ, цилиндрическое сжатие ТЭН отсутствует из-за небольшого количества требуемого взрывчатого ТЭН.

3.1.3. Расчет массы ВВ

а) Расчет тротиловых эквивалентов малых зарядов ВВ

Лабораторная модель изготовления описывает блок породы и грунта как образец бетона, созданный из песчано-цементного раствора с соотношением цемента и песка 1/1. В результате испытаний результатов сопротивления сжатию на измерительной машине в Лаборатории технических материалов Института специального машиностроения была получена прочность на сжатие модели грунта и горных пород, составившая 193,61 кг/см² (Тхыонг, 2025).

Поскольку препятствие не деформируется, а величина взрыва контактирует с препятствием, способность разрушать грунт и горную породу здесь в основном обусловлена волнами взрыва и взрывчатыми продуктами, поэтому мы будем использовать формулу 2 для расчета давления, которое величина взрыва оказывает на поверхность препятствия.

$$P_x = 2,39 \times P_n = 2,39 \times \frac{\rho \times D^2 \times 10^{-5}}{n+1} \times Q \quad (2)$$

По формуле (2) при малом заряде ВВ, эквивалентном 0,5 г ТНТ, он создает давление на поверхность препятствия при непосредственном контакте малых зарядов ВВ с моделью:

$$\begin{aligned} P_x &= 2,39 \times P_n = 2,39 \times \frac{\rho \times D^2 \times 10^{-5}}{n+1} \times Q \\ &= 2,39 \times \frac{1600 \times 7000^2 \times 10^{-5}}{3+1} \times 0,0005 = 234,22 \text{ (Кг/см}^2\text{)} \end{aligned}$$

Таким образом, при малом заряде ВВ с тротиловым эквивалентом 0,5 г на поверхности возникнет давление (234,22 кг/см²), превышающее сопротивление сжатию модели каменистого грунта (193,61 кг/см²), этот небольшой взрыв вполне способен разрушить модель каменистого грунта.

Кроме того, мы имеем, что безопасное расстояние при взрыве (r_s) рассчитывается в соответствии с инструкциями раздела 7 QCVN 01-2019-ВСТ по промышленным ВВ (01:2019/ВСТ, 2019)

$$r_s = k_s \sqrt{Q} \quad (3)$$

В котором: Q - масса ВВ (кг); k_s - коэффициент, зависящий от места выброса мины, размера выброса мины и уровня повреждения.

В этом случае, если шаг безопасности равен 1, $k_s = 50 \div 150$. Выберите $k_s = 100$. Изменяя массу заряда ВВ, получаем результат расчета безопасного расстояния при взрыве восстановленного заряда ВВ. Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица 5. Безопасное расстояние при детонации миниатюрного заряда ВВ

Объем ВВ Q, (кг)	0,0005	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006
r _s , (м)	2.24	3.16	4.47	5.48	6.32	7.07	7,75

Таким образом, в лабораторных масштабах миниатюрный объем взрыва будет иметь взрывную мощность, эквивалентную объему взрыва 0,5 г, 1 г, 2 г и 3 г ТНТ. При большем расстоянии трудно обеспечить безопасное расстояние в процессе детонации.

б) Расчет массы ВВ

Согласно приложению VI циркуляра № 12/2013/ТТ-ВҚР от 17 января 2013 года тротильный эквивалент малого количества ВВ рассчитывается по формуле 4 (декабрь 2013 г./ТТ-ВҚР, 17 января 2013 г.).

$$Q_{LNN} = \varepsilon_{TGC} \times P_{TGC} + \varepsilon_{TGN} \times P_{TGN} + \varepsilon_{TNC} \times P_{TNC} \quad (4)$$

В котором: Q_{LNN} - тротильный эквивалент малых зарядов ВВ (г); P_{TGC} , P_{TGN} , P_{TNC} - соответственно взрывчатая масса свинцового воспламенителя стипнат, азид свинца и основного ТЭН (г); ε_{TGC} , ε_{TGN} , ε_{TNC} - коэффициент мощности зажигательного, взрывчатого и основного ВВ соответственно. Стипнат свинца и азид свинца имеют коэффициент $\varepsilon_{TGC} = \varepsilon_{TGN} = 0,36$ (Нги и Тоан, 2014; Томотака Хомаэ, 2022) и ТЭН имеет $\varepsilon_{TNC} = 1,3$ (декабрь 2013 г./ТТ-ВҚР, 17 января 2013 г.).

Если мы хотим определить объем каждого типа ВВ при небольшом количестве взрыва, мы определим наибольший объем, который может иметь ТЭН. Тогда имеем:

$$P_{LNC}^{Max} = \frac{Q_{LNN}}{\varepsilon_{LNC}} \quad (5)$$

В котором: P_{LNC}^{Max} - это наибольший объем, который ТЭН могут иметь небольшими всплесками (г).

Например, при малых заряде ВВ, эквивалентном 2 г, P_{LNC}^{Max} является:

$$P_{LNC}^{Max} = \frac{Q_{LNN}}{\varepsilon_{LNC}} = \frac{2}{1,3} = 1,54 \text{ (г)}$$

Для надежной взрывной подготовки для объема ТЭН 1,54 г по (бывшему) советскому стандарту ГОСТ 6254-74 (Гяо, Санг и Хунг, 2007) объемы зажигательных и ВВ составляют 0,1 г и 0,2 г соответственно. Согласно таблице 1, при массе азид свинца 0,2 г полностью детонирует 1,54 г ТЭН.

Итак, по формуле 4 можно рассчитать массу ВВ:

$$P_{TNC} = \frac{Q_{LNN} - \varepsilon_{TGC} \times P_{TGC} - \varepsilon_{TGN} \times P_{TGN}}{\varepsilon_{TNC}} = \frac{2 - 0,36 \times 0,1 - 0,36 \times 0,2}{1,3} = 1,46 \text{ (г)}$$

Масса каждого сжатого цилиндра ТЭН составляет 1,2 г. Таким образом, масса гранулированного ТЭН составляет 0,26 г.

Аналогично можно рассчитать количество ВВ в малых заряде ВВ с эквивалентами 0,5 г, 1 г и 3 г ТНТ. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6. Масса взрывчатых слоев в малых заряде ВВ

Тип малых зарядов ВВ	Масса ВВ (г)			
	Свинцовая ножка	Азид свинца	ТЭН нет сжатия	Цилиндрическое сжатие ТЭН
Эквивалентно 0,5 г ТНТ	0,1	0,2	0,3	0
Эквивалентно 1 г ТНТ	0,1	0,2	0,29	0,4

Тип малых зарядов ВВ	Масса ВВ (г)			
	Свинцовая ножка	Азид свинца	ТЭН нет сжатия	Цилиндрическое сжатие ТЭН
Эквивалентно 2 г ТНТ	0,1	0,2	0,26	1,2
Эквивалентно 3 г ТНТ	0,1	0,2	0,22	2,0

с) Расчет размера малых зарядов ВВ.

Диаметр малых зарядов ВВ - это внутренний диаметр оболочки экипажа. Высота малых зарядов ВВ должна превышать общую высоту слоя ВВ и высоту электрического воспламенения. Высота электрозажигания составляет около 20 мм. Высоту слоя ВВ рассчитывают по формуле 6.

$$h = \frac{P}{\rho \times S} = \frac{4 \times P}{3,14 \times \rho \times d^2} \quad (6)$$

В котором: h - высота слоя ВВ (мм); ρ - плотность ВВ (г/мм³); d - внутренний диаметр малого заряда ВВ (мм); P - масса заряда ВВ (г).

Удельные значения массы ВВ по данным завода имеют значения, указанные в таблице 7. Эта плотность сжимается при давлении (210 – 270) кг/см².

Таблица 7. Плотность (ρ) ВВ

Тип ВВ	Свинцовая ножка	Азид свинца	ТЭН нет сжатия	Цилиндрическое сжатие ТЭН
ρ , (г/мм ³)	0,001	0,001	0,0011	0,0016

Таким образом, параметры величины малого количества взрыва представлены в таблице 8.

Таблица 8. Размер малых зарядов ВВ

Эвивалент малых зарядов ВВ	Высота слоя ВВ (мм)				Общая высота слоя ВВ (мм)	Расстояние от края устья ВВ до NTC (мм)	Длина тарного покрытия LNN (мм)
	Свинцовая ножка	Азид свинца	ТЭН нет сжатия	Цилиндрическое сжатие ТЭН			
0,5 г ТНТ	3.03	6.07	8.28	0,0	17.38	24,62	42
1 г ТНТ	3.03	6.07	8.00	7,59	24,69	25.31	50
2 г ТНТ	3.03	6.07	7.18	22,76	39,04	24,96	64
3 г ТНТ	3.03	6.07	6.07	37,93	53.10	24.90	78

3.2. Изготовление и испытания для оценки малых зарядов ВВ

3.2.1. Технологический процесс изготовления малых зарядов ВВ

Процесс изготовления взрывчатого количества представлен на блок-схеме рис.5

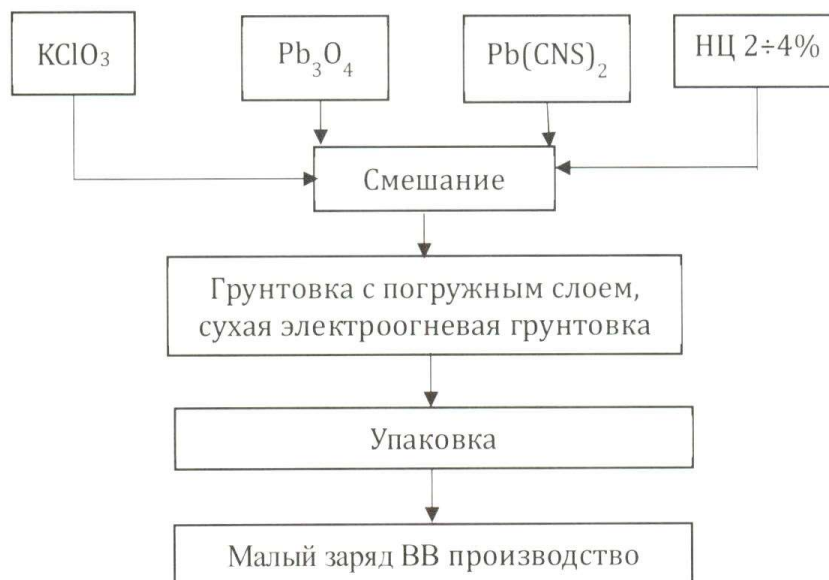


Рисунок 5. Схема технологического процесса изготовления блок зажигания.

Технологический процесс изготовления малых зарядов ВВ состоит из двух стадий, а именно изготовления электровоспламенения и изготовления части малых зарядов ВВ.

Этап электровоспламенения, представленного на блочном холме на рисунке 5, включает 3 основных этапа: этап подготовки электровоспламенения с огневым мостом, этап погружения воспламенного состава в мост сопротивления, этап погружения противовлажного воспламенного состава, сушка и измерение сопротивления.

3.2.2. Результаты испытаний на изготовление и оценку малых зарядов ВВ

Малых зарядов ВВ после изготовления будет проведено для проверки качества. Процедура испытаний следующая:

Визуально осмотрите, размер: Случайным образом выберите каждые 05 малых зарядов ВВ. Визуально осмотрите облигацию. Проверьте размер малых зарядов ВВ. Образцы неискажены, диаметр составляет 7,1 мм, длина соответствует конструкции;

Испытание на безопасность потока: После завершения испытания на склеивание включите эти образцы в испытание на безопасность потока. Проверьте с помощью 01-канальной линии $(0,03 \pm 0,005)A$ в течение 5 минут на устройстве 9121A. В результате продукция невзрывоопасна;

Испытание на вибрацию: После проверки тока безопасности подвергните образцы испытанию на вибрацию на устройстве для испытания на вибрацию GHS-3-59. Амплитуда колебаний 150 мм, частота 60 раз/мин, время: $2 \pm 0,2$ часа. В результате продукция невзрывоопасна;



Рисунок 6. Схема технологического процесса изготовления фракции взрывчатого количества.

Измерьте сопротивление, проверьте цепь: После завершения испытания на вибрацию поместите эти образцы в контрольную цепь, измерьте сопротивление. Все изделия сосудистые, измеренное сопротивление имеет магнитное значение ($2 \div 5$) Ом;

Испытание на взрыв: После проведения испытания на зазор цепи измерения сопротивления образцы должны быть включены в испытание на взрыв. Детонация односторонним током ($1 \pm 0,005$)А. В результате вся продукция взрывается.

Таким образом, в результате 100% небольших взрывов, выбранных для проверки, являются удовлетворительными. Результаты после взрыва показаны на рисунке 8.

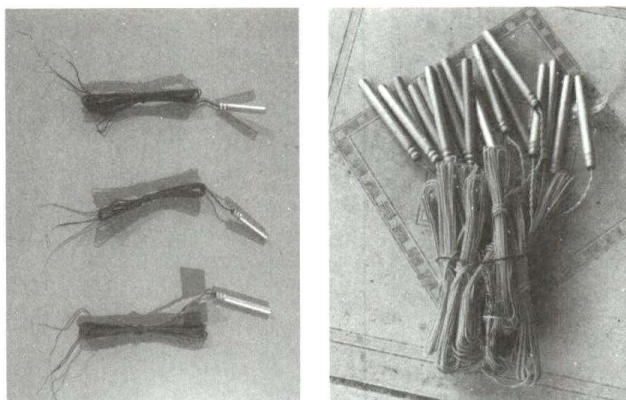


Рисунок 7. Малые заряды ВВ составляют от 0,5 г до 3 г ТНТ



Рисунок 8. Изображения после эксперимента по детонации малых зарядов ВВ.

4. Применение малых зарядов ВВ для экспериментального изучения взрывающихся моделей миниатюрных образцов горных пород

Чтобы прояснить последствия применения миниатюрных малых зарядов ВВ, изготовленных выше, многие экспериментальные работы, в которых эти малых зарядов ВВ использовались в исследованиях, получили на практике очень значимые законы взрыва горных пород. Как правило, работа авторов (Duc Ngo The et al 2025; Dam In Thang et al 2024...) успешно применила вышеуказанные изготовленные взрывчатые количества при изучении моделей взрывов в лабораторных условиях, см. рисунок 9.

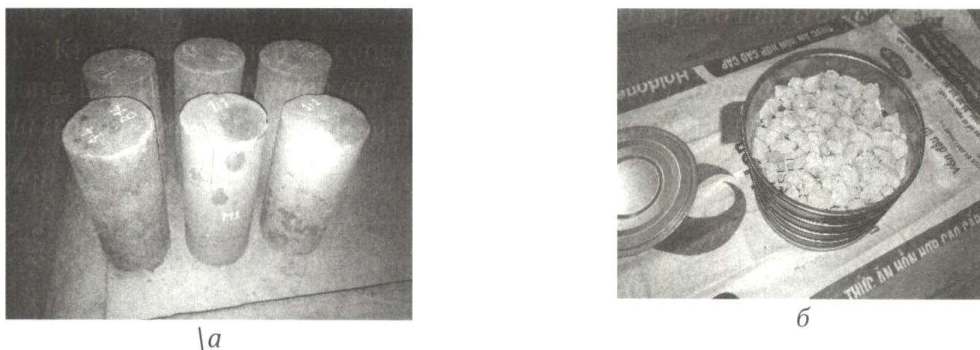


Рисунок 9. Экспериментальная работа по взрыву моделей образцов горных пород с использованием небольших объемов взрыва в помещении

а) Образец до взрыва; (б) Разрыв образца после взрыва

5. Заключение.

Таким образом, на основе теоретико-аналитических исследований в статье рассчитан выбор ВВ ТЭН в качестве основных малых зарядов ВВ, спроектирована структура малых зарядов ВВ и построен технологический процесс изготовления малых зарядов ВВ с эквивалентной тротильным объемом от 0,5 г до 3 г. Эти типы ВВ были изготовлены и испытаны на заводе в соответствии с действующими стандартами, и результаты 100% испытательных образцов оказались удовлетворительными.

После исследования и производства малых зарядов ВВ мы должны интегрировать продукт в программу обучения и экспериментальных исследований, помогая студентам и молодым инженерам напрямую получить доступ к взрывным технологиям для снижения затрат на взрывные работы, повышения экономической эффективности, а также обеспечения большей безопасности в строительстве.

Список литературы

01:2019/BCT, Q. (2019). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ.*

12/2013/TT-BQP, T. t. s. (ngày 17/01/2013). *Quy định về kho đạn dược lực quân Quân đội nhân dân Việt Nam.*

Giao, H. S., Thắng, Đ. T., Quyển, L. V., & Chung, H. T. (2010). *Nổ hóa học - lý thuyết và thực tiễn.* NXB khoa học và Kỹ thuật.

Giao, N. V., Sang, Đ. Q., & Hùng, D. C. (2007). *Cơ sở lý thuyết cháy nổ.* Nhà xuất bản quân đội nhân dân.

Mẫn, V. T. (2014). *Giáo trình Công tác nổ tập 1.* Trường Sĩ quan Công binh.

Nghi, N. T., & Toàn, N. T. (2014). *Đại cương thuốc phóng thuốc nổ.* Nhà xuất bản quân đội nhân dân.

Nghi, N. T., Toàn, N. T., Hữu, H. T., & Thắng P. Đ. (2016). *Công nghệ nhồi nạp đạn dược và chế tạo hoá cụ.* NXB Quân đội Nhân dân.

Thắng, P. T. Đ. T., Nam, P. T. B. X., & Hiếu, T. T. Q. (2015). *Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình.* NXB Khoa học tự nhiên và công nghệ.

Thuong, L. S. (2025). *Nghiên cứu chế tạo và ứng dụng lượng nổ nhỏ để thực nghiệm đập vỡ đất đá trong phòng thí nghiệm.* Luận văn thạc sĩ, Trường đại học kỹ thuật Lê Quý Đôn, Hà

Nội, Vietnam, 102 trang.

Tomotaka Homae , Y. S., Tomoharu Matsumura, and Kunihiko Wakabayashi. (2022). Blast pressure and TNT-equivalency of small electric detonators comprised of lead azide. *Science and Technology of Energetic Materials, Japan*.

Duc Ngo The1*, Thang Dam Trong2, Thuy Ngo Ngoc. (2025). Edelweiss Applied Science and Technology, Vol. 9, No. 3, 1692-1704. Publisher: Learning Gate. DOI: 10.55214/25768484.v9i3.5680.

Dam Trong Thang, Ngo The Duc, Ngo Ngoc Thuy, Vu Tung Lam. (2024). Study on explosion pressure on the wall of a borehole- experiment and simulation. Proceedings of VIETROCK 2024 Vietnam national congress of rock mechanics & rock engineering an isrm specialized conference Hanoi, 26/10/2024.

Thang Dam Trong, Tran Quang Hieu. (2024). Studying The Effect Of Mediate Air-Deck Length Between Explosives In A Borehole On The Effectiveness Of Rock-Breaking. Proceedings of VIETROCK 2024 Vietnam national congress of rock mechanics & rock engineering an isrm specialized conference Hanoi, 26/10/2024.