



МИННО-ГЕОЛОЖКИ  
УНИВЕРСИТЕТ  
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“

# МЕЖДИНЕН ОТЧЕТ

ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРОЕКТ  
ПО НАЦИОНАЛНА ПРОГРАМА „МЛАДИ УЧЕНИ И ПОСТДОКТОРАНТИ – 2“

НА ТЕМА: Оптимизиране процеса на взривно разрушаване на  
разнородни скални масиви, чрез използване на кумулативни заряди  
в открити и подземни условия

Изпълнител: гл. ас. д-р Здравка Моллова

Телефон: 0895461346      E-mail: z.mollova@mgu.bg

София, Март 2023 г.

## АНОТАЦИЯ

Процеса по усъвършенстване на пробивно-взривните работи, като основа на повечето прилагани минни технологии е едно от основните направления в съвременните научни изследвания в минната наука.

Към днешна дата търсенето на начини за подобряване на ефективността на пробивно-взривните работи се извършва главно в посока на усъвършенстване, автоматизиране и роботизиране на процесите на ПВР.

Що се касае до конструкцията на взривните дупки или сондажи отдавна няма принципиални промени. Практически във всички случаи, отбиването на скалната маса се извършва от сондажни заряди, базирайки се на модела за разширяване на продуктите на взрива, при който за съжаление значителна част от концентрацията на енергията от взрива се разсейва и зад пределите на проектния контур. Според различни оценки приблизително от 50 до 70% от общата енергия на заряда, се изразходва технологично ненужно и най-често -вредно, изменяйки състоянието на масива извън отбития обем.

В тази връзка голяма и много интересна перспектива се явява създаването на метод за разрушаване на скални породи с рязка асиметрия в разпределението на енергията на взрива в пространството и максималната му концентрация в посока на разрушавания масив. Разработването на подобен метод би бил изключително полезен при работа с масиви с различна якост на скалите, при които прилагането на традиционните методи на пробивно-взривни работи не обезпечават равномерното раздробяване, водят до увеличаване на негабаритните късове и съответно повишени разходи за последваща преработка.

Възможността за реализиране на тази идея е свързана с използването на отдавна известния принцип на кумулация енергията на взрива в зависимост от формата на заряда.

Въпросите свързани с раздробяването на масиви с твърди включения в сложни минно-геоложки условия, чрез метода на сондажни заряди с използването на кумулативния ефект, не са достатъчно добре представени в нашата и



чуждестранната литература. В тази връзка разработването на методи за определяне на ефективните параметри на ПВР за такива условия (при разрушаване на масиви от разнородни минни породи) чрез сондажни заряди с използването на кумулативен ефект, които от своя страна позволяват да се осигури равномерност на раздробяването на масива, по цялата височина на стъпалото, да се намали относителния разход на ВВ, както и разходите за пробиване на сондажите, се явява актуална научна задача имаща важно практическо значение.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

**Обект на изследване** в настоящия проект е раздробяването на масиви с различни по якост скали чрез разсредоточени и скъсени сондажни заряди с кумулативен ефект.

**Целта на проекта** за заключава в оптимизация на раздробяването на масиви с твърди включения чрез сондажни заряди, с използването на кумулативен ефект и разработване на методи за определяне на ефективните параметри на ПВР в сложни минно-геоложки условия.

**Основната идея** се състои в обезпечаване на равномерното раздробяване на подобен тип масиви, по цялата височина на стъпалото, чрез използване на насочената енергия на кумулативния заряд за раздробяване на здравите междинни слоеве и по-нататъшно взривяване на основните сондажи. Същата се постига чрез решаването на следните **основни задачи**:

1. Анализ на изследванията за управление на действието на взривното разрушаване на масиви състоящи се от различни по якост породи.
2. Теоретични изследвания на действието на къси сондажни заряди с ВВ с кумулативен ефект в масив с различни по якост скали.
3. Разработване на способ за взривно разрушаване на масиви от различни по якост породи в промишлени условия.
4. Определяне на ефективните параметри на ПВР в различни по якост минни породи и разработване на методи за тяхното изчисляване в промишлени условия.
5. Определяне на икономическата ефективност на разработените методи и ефективността на ПВР.

## РЕАЛИЗИРАНИ ДЕЙНОСТИ ПО ПРОЕКТА КЪМ МЕСЕЦ МАРТ 2023 Г., СЪГЛАСНО ПЛАН ПРОГРАМАТА НА ПРОЕКТА

През периода на изпълнение на планираните дейности по проекта до края на месец март за 2023 г. са реализирани следните дейности:

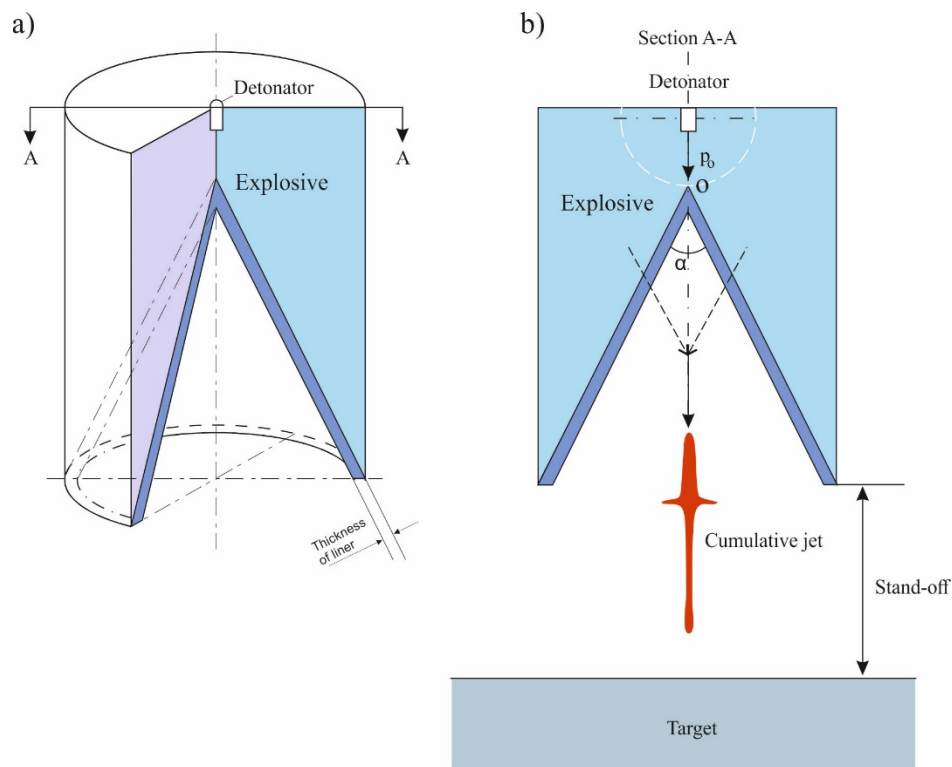
- Извършен е анализ на възможните решения за максимално използване на енергията на основния заряд от ВВ за разрушаване на масиви, съдържащи различни по твърдост скални породи, въз основа на хидродинамичната теория за кумулация.
- Бяха проведени теоретични изследвания на действието на къси сондажни заряди от ВВ с кумулативен ефект в масиви съдържащи различни по твърдост пластове.
- Разработен е метод за разрушаване на масив с твърди включения чрез взривяване на разсредоточени и скъсени сондажни заряди с кумулативен ефект, който успешно може да се прилага за минната индустрия, по-специално при открит добив на полезни изкопаеми.

Методите на изследване включват теоретични и експериментални изследвания в промишлени условия, методи на математическо моделиране, както и методи за корелационен анализ и обработка на получените резултати.

Както е известно при детонация на заряд от експлозив без кумулативна вдлъбнатина се наблюдава разпръскване на енергията на експлозива във всички посоки, а наличието на кумулативна вдлъбнатина в заряда води до концентрация на енергията в определено направление. Най-голямо значение за практиката има направената осева кумулация. Този вид кумулация може да бъде реализирана при инициране на осесиметрични заряди имащи различен вид вдлъбнатина. Най-добре е изучен процеса на формиране на кумулативна струя на осесиметрични заряди с коническа и полусферична вдлъбнатина.

В стремежа си да подобрим параметрите на взривните работи извършвани с ниско чувствителни експлозиви, имайки в предвид горното, изследванията на явленията кумулация направени още от проф. Сухаревски М.Я. и съвременните знания за концентрацията на енергията в определено направление или място бяха

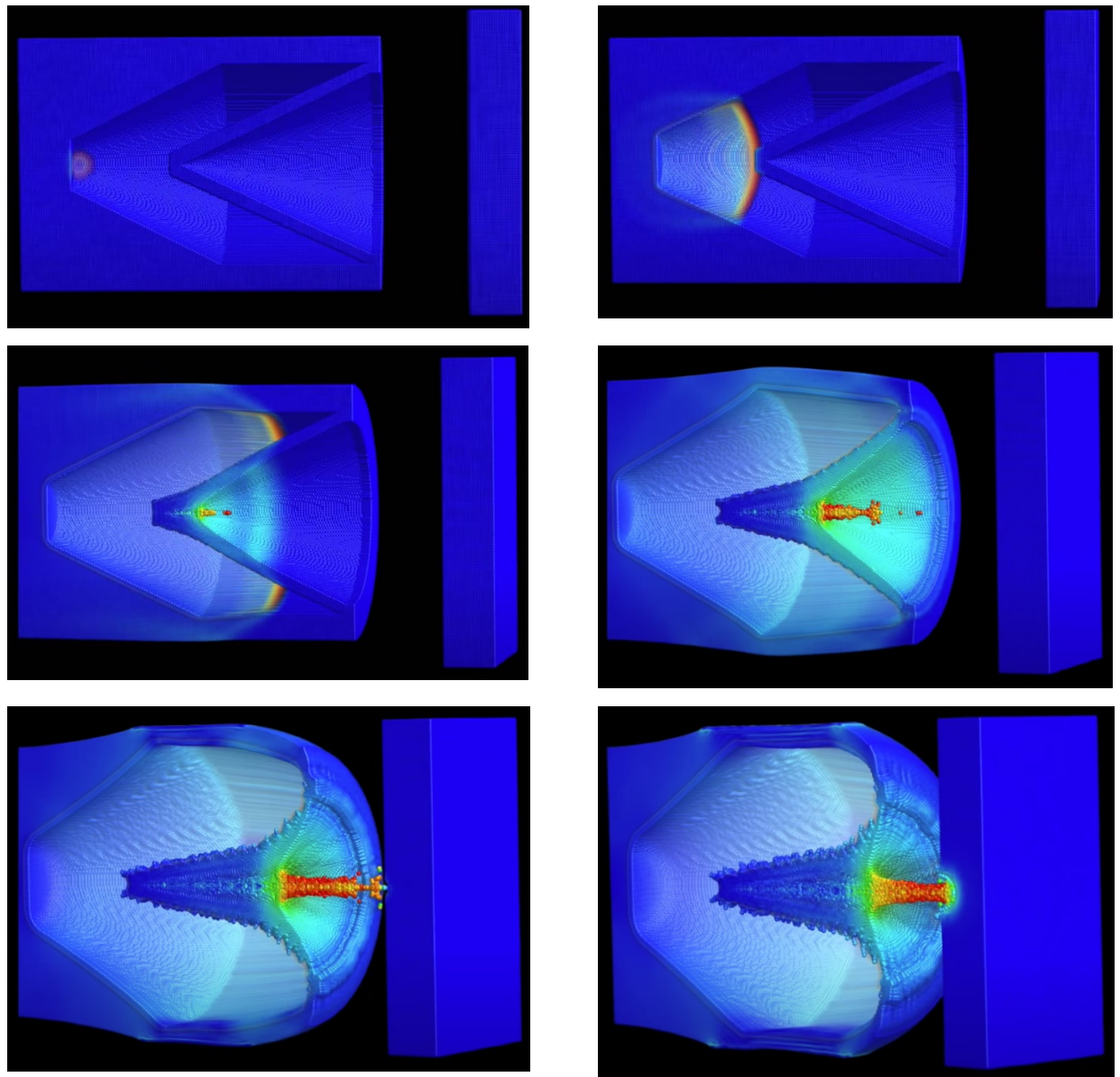
извършени изследвания на скоростта на детонация при различни диаметри на заряда на грубодисперсните експлозиви – тип Анфо с междинен детонатор 900g лят бустер без и със кумулативна фуния. Схема на кумулативен заряд тип лят бустер е дадена на фиг.1.



Фиг.1. Схема на кумулативен заряд- лят бустер

Материала за производство на изделията ТХ - 40 /60 има следните характеристики: състав : хексоген - 59,5%, тротил - 39,5%, церезин или восък -1%, скорост на детонация  $D = 7920 \text{ m/s}$  при плътност  $\rho_0=1,7\text{g/sm}^3$  и топлина на взрива  $Q = 5,02 \text{ MJ/kg}$  .

Скоростта на кумулативната струя зависи от: размерите и формата на КЗ; формата, геометрията и материала на кумулативния отвор; качеството, енергосъдържанието, плътността и скоростта на детонация на експлозива; точността на изработка на различните детайли на КЗ и точността на тяхното асемблиране. На фиг.2. са показани последователни стадии на формиране на кумулативната струя заснети със скоростна камера.



Фиг.2. Последователни стадии на формиране на кумулативната струя

За определяне скоростта на детонация бе използван уред „Микротрап“ на канадската фирма „Mrell“ съответно със сонди за полигоните изпитания и пробен кабел за промишлените изпитания в сондажите.

Полигоните изследвания бяха проведени със заряди от експлозив „АНФО“ поставен в тръби от ПВЦ с дебелина на стената 2,5 mm и диаметър на заряда 110 mm и дължина 900 mm. Иницирането се извърши с донорни заряди ЛБ-900 със и без кумулативна фуния. Получените резултати са дадени в табл. 1.



Таблица 1

Скорост на детонация на заряди от АНФО иницирани от ДЗ със и без КФ

Опит по ред №	ДЗ без КФ - D, m/s	ДЗ с КФ - D, m/s
1.	3608	4735
2.	3705	4515
3.	3915	4800
4.	3850	4720
Средна скорост	3770	4693

От анализа на получените резултати се установи следното: Грубодисперсия експлозив АНФО има устойчива скорост на детонация както при инициране с ДЗ с КФ, така и при инициране с ДЗ без КФ. Трябва да се отбележи, че скоростта на детонация на заряда при инициране с ДЗ с КФ надвишава с над 900m/s скоростта на детонация на заряда инициран от ДЗ без КФ. Това представлява над 24% увеличение на скоростта на детонация при инициране с ДЗ с КФ в сравнение с инициране с обикновен ДЗ.

Промишлените изследвания се извършиха на кариера „Огняново“. Просондираното поле със сондажи с дълбочина 15 m и диаметър 102 mm, при взривна мрежа 3.5 x 3.5 m бе заредено с „Анфовекс“, като половината от сондажите бяха иницирани от ДЗ без КФ, а другата половина от ДЗ с КФ. Скоростта в сондажите бе измерена със същия уред и резултатите са дадени в табл.2.

Таблица 2

Скорост на детонация на „Анфовекс“ в сондажи с диаметър 102 mm в зависимост от вида на ДЗ

Опит по ред №	ДЗ без КФ - D, m/s	ДЗ с КФ - D, m/s
1.	4336	5682
2.	4483	5328
3.	4625	5712
4.	4543	5570
Средна скорост	4497	5573



Използването на ДЗ с КФ доведе до получаване на много добри резултати при разрушаване на масива и раздробяването на материала, като масата на ДЗ с КФ е със 130 g по-малка от стандартните ДЗ без КФ.

Изпитанията, които бяха извършени в полигони и промишлени условия показаха, че вида на междинния детонатор влияе значително върху скоростта на детонация, а следователно влияе и на останалите взривни характеристики на експлозивите. Най-висока скорост на детонация бе достигната при инициране на експлозивите с лети бустери с кумулативни фунии. Изпитанията показаха, че при инициране на грубодисперсни експлозиви с ДЗ с КФ се получава стабилна детонация на зарядите с оптимално раздробяване на материала, като масата на използваните ДЗ се намалява с 14%.

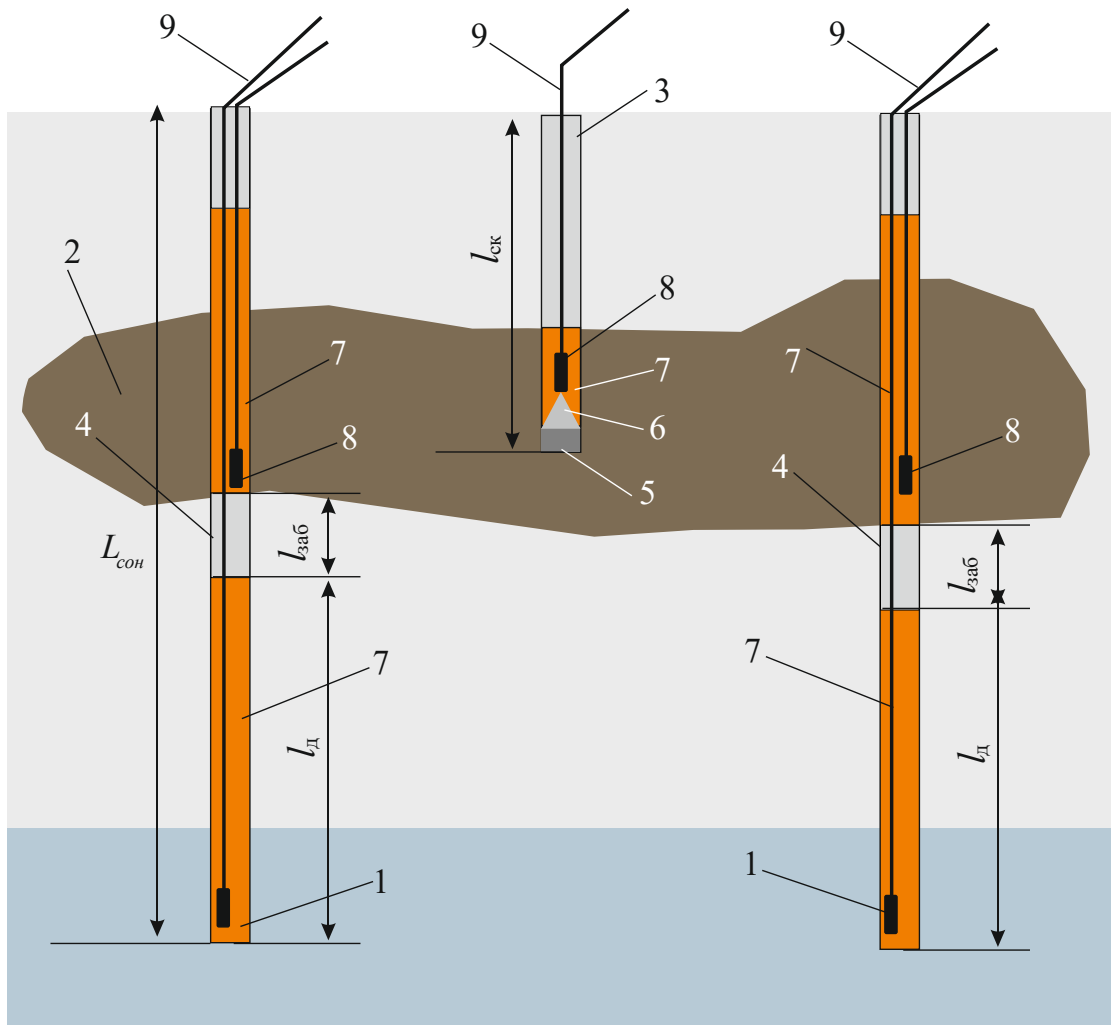
В резултат на извършения теоретичен анализ и проведените изпитания се установи, че при определени геометрични параметри на конусния заряд се осигурява увеличаване на зоната на усилено динамично натоварване върху дънната част на сондажа и се намалява въздействието на отразената ударна вълна върху горната част на сондажа.

Използвайки получените резултати е **Разработен е метод за разрушаване на масив с твърди включения чрез взривяване на разсредоточени и скъсени сондажни заряди с кумулативен ефект**, който успешно може да се прилага за минната индустрия, по-специално при открит добив на полезни изкопаеми.

Разработеният метод се реализира с помощта на разсредоточени основни заряди, между които се разполагат допълнителни скъсени сондажи, в които се поставят кумулативни заряди с метална облицовка, позволяващи равномерно раздробяване на скалите, поради насоченото използване на енергията на взрива към по здравите междинни слоеве, чиято схема е показана на Фигура 3.

Последователността при реализиране на разработения метод следната: за блока, който ще бъде взривен се изчислява мрежата за пробиване на основните сондажи, определена въз основа на резултатите от експериментални взривявания. Пробиват се основните сондажи (1) до пълната височина на взривяваното стъпало.

По време на сондирането чрез промени в скоростта и режимите на пробиване, цвета и състоянието на шлама изведен на повърхността, се определя наличието и контура на твърди включения (2). Вътре в контура по отношение на твърдите включения се пробиват допълнителни скъсени сондажи (3), които са разположени в центъра на четириъгълниците, образувани от съседни главни сондажи (1).



Фигура 3. Метод за разрушаване на масив от скали с различна якост, чрез взривяване на разсредоточени и скъсени сондажни заряди с кумулативен ефект:  
 1 - основни сондажи; 2 - твърдо включение; 3 – скъсен сондаж; 4 - инертна междина от сондажен шлам; 5 - цилиндър от пенопласт; 6 - конус от метал; 7 - експлозив; 8 - междинен детонатор; 9 – източник на инициране на неелектрическа система.

## Определяне на основните параметри на сондажите

Дълбочината на скъсените сондажи се определя по формулата:

$$l_{ск} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{ктв_i}}{n} - (5...8)d_c, \text{ m} \quad (1)$$

където  $l_{ктв_i}$  е края на твърдото включение по отношение дължината на основните сондажи, между които е разположен съответният допълнителен сондаж, m;  $n$ - броят на основните сондажи, между които е пробит допълнителен сондаж;  $d_c$  е диаметър на заряда ВВ в допълнителните сондажи, m.

При зареждане основните заряди в сондажа се разредоточават с инертна междина - 4, която се поставя в по-слабите слоеве на границата със здравето включение, а височината и се определя по формулата:

$$l_{им} = (0,25 \div 0,3)l_d \quad (2)$$

където  $l_d$  – височина на долната част на заряда, m

При зареждане в дъното на скъсените сондажи, се поставят заряди с кумулативна вдлъбнатина, които са проектирани както следва: на дъното на сондажа се разполага цилиндър от пенопласт- 5 с височина  $(6 \div 8) d$  (където  $d$  е диаметърът на кумулативния заряд, mm), който служи за създаване на необходимото фокусно разстояние. След това се спуска конус – 6 с диаметър равен на диаметъра на сондажа и имащ ъгъл на върха  $40^\circ$ , изработен от стоманен лист. След това се поставя заряд от ВВ - 7, чиято маса се изчислява по формулата:

$$Q = (3 \div 4).q.h_{тв}^3, \text{ kg} \quad (3)$$

където  $q$  – относителен разход на ВВ,  $\text{kg/m}^3$  приет за  $0,5 - 0,6 \text{ kg/m}^3$ ;  $h_{тв}$  – мощност на твърдите включения, m.

Взривяването на заряда ВВ в скъсените сондажи се извършва с изпреварващо милисекундно закъснение преди разредоточените основни сондажни заряди от

9 ms., след което се иницират основните сондажи с изпреварващо милисекундно инициране на горния заряд.

Интервала на закъснение между различните части на разсредоточените заряди трябва да осигури изпреварващо разрушаване на здравето включение, което позволява да се подготви свободна повърхност за насоченото действие на взрива на долния заряд от ВВ. В резултат от разрушаването на по-слабия масив от долния разсредоточен заряд под действието на продуктите на взрива и взривното преместване на скалата маса, се извършва допълнително разрушаване на здравето включение, като по този начин се увеличава коефициента на полезно действие на взрива.

Това е разработеният метод за взривно разрушаване на масив съдържащ различни по твърдост скални породи с използването на разсредоточени и скъсени сондажни заряди с кумулативен ефект, позволяващ да се извърши равномерно раздробяване на скалната порода по височината на стъпалото, за сметка на насоченото използване на енергия на взрива върху твърдите включения, да се увеличи мрежата на взривните сондажи, да се намали относителния разход ВВ и съответно разходите за пробиване на взривни сондажи.

## **ОЧАКВАНИ РЕЗУЛТАТИ**

След разработването на проекта се очаква:

1. Установяване на максималната скорост на кумулативната струя в масив съдържащ различни по твърдост породи, въз основа на хидродинамичната теория за кумулация.
2. Определяне радиуса на действие на кумулативния заряд в зависимост от масата на ВВ в къс сондаж, дълбочината на разрушаване от кумулативната струя и плътността на заряда.
3. Оптимизиране на зърнометричният състав на добитата минна маса и намаляване количеството на негабаритните късове.
4. Определяне на конструктивните параметри на кумулативната фуния в къс сондажен заряд от ВВ.
5. Определяне на ефективните параметри на ПВР при раздробяване на масиви, съдържащи различни по твърдост минни породи, позволяващи намаляване на токсичните газове, вследствие по-малкото количество на ВВ с цел опазване на околната среда.
6. Определяне на икономическата ефективност на разработените методи и ефективността на ПВР.

## **РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ**

Резултатите, получени от направените до момента изследвания, бяха обобщени и представени в подготвена научна статия изпратена за публикуване в списание „REM - International Engineering Journal“, реферирано в Scopus на тема: **ВЛИЯНИЕ НА КУМУЛАЦИЯТА ВЪРХУ СКОРОСТТА НА ДЕТОНАЦИЯ НА НИСКОЧУВСТВИТЕЛНИ ЕКСПЛОЗИВИ**