

## MANAGING SEISMIC IMPACT WHILE BLASTING NEAR SAFEGUARDED OBJECTS UNDER THE CONDITIONS OF THE *ELLATZITE* OPEN-PIT MINE

**Vladimir Bilev, Grigor Mishev**

*Mining Complex, “Ellatzite-Med” AD, 2180 Etropole; E-mail: v.bilev@ellatzite-med.com; g.mishev@ellatzite-med.com*

**ABSTRACT.** Drilling and blasting work near safeguarded objects requires monitoring and managing of the seismic impact during blast work. In the *Ellatzite* Open-pit Mine, the objects that need to be protected against the seismic impact of blasting are the Coarse crusher /KET-3/ and the ore transportation tunnel. Designing and analysing the drilling and blasting passports helps to optimise the management of blast works. Special-purposesoftware for blast work simulations is used for estimating the seismic impact on the safeguarded objects.

**Key words:** blasting work, seismic impact

### УПРАВЛЕНИЕ НА ВЗРИВОСЕИЗМИЧНОТО ВЛИЯНИЕ ПРИ ИЗВЪРШВАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В БЛИЗОСТ ДО ОХРАНЯЕМИ ОБЕКТИ В УСЛОВИЯТА НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“

**Владимир Билев, Григор Мишев**

*Рудодобивен комплекс, „Елаците-Мед“ АД, 2180 Етрополе*

**РЕЗЮМЕ.** Осъществяването на пробивно-взривни работи в близост до охраняеми обекти изисква наблюдение и управление на взривосейзмичното влияние при извършване на взривни работи. В рудник „Елаците“ наблюдаваните съоръжения, които трябва да бъдат защитени от сейзмичното въздействие на взривните работи, са „Корпус едро трошене“ /KET-3/ и транспортен тунел /МГТЛ/. Проектиране и анализиране на паспортите за ПВР допринасят за оптималното управление при извършваните взривни работи. Използва се специализиран софтуер за симулации на взривните работи при оценка на взривосейзмичното въздействие върху охраняемите обекти.

**Ключови думи:** взривни работи, взривосейзмично влияние

### Въведение

При извършване на пробивно-взривни работи в открити рудници основната цел е добиване на раздробена скална маса, която да бъде натоварена и транспортирана. Раздробяването на скалните късове е необходимо да бъде с определен габарит, така че следващите процеси /трошене и пресяване/ да изключват работа по извънгабаритни късове. Също така трябва да бъдат опазени както надземните, така и подземните конструкции, които са податливи на вибрационни въздействия. Важно е да се разберат причините за образуване на вибрации, както и какви практики могат да се следват при контролиране и минимизиране неблагоприятния ефект от извършваните взривни работи.

Настоящата работа има за задача да обвърже теоретичните постановки на действието на взрива с резултати от практиката и да покаже някои възможности за управление на взривосейзмичното влияние при извършване на взривни работи в близост до охраняеми обекти в рудник „Елаците“.

В рудник „Елаците“ е налице голямо разнообразие и променливост на инженерно геоложките, хидрогеоложките и други условия, което рефлектира и върху поведението на

скалите, изграждащи бордовете на рудника. При извършване на взривосейзмичните изследвания сейзмичните вълни се генерират от провежданите взривни работи в рудника. Наблюдаваните съоръжения, които трябва да бъдат защитени от сейзмичното въздействие на взривните работи, са „Корпус едро трошене“ /KET/ и транспортен тунел /МГТЛ/, които попадат във втори клас на допустими стойности на скоростта на колебанията.

Проектирането на пробивно-взривните работи се извършва съгласно фирмени стандарти /процедури/, при които се взимат фактори и условия, които влияят на взривосейзмичното въздействие на бордовете и охраняеми обекти/ МГТЛ и KET-3/.

### Геотехнически характеристики на скалите

Почвите и скалите са порьозни материали с относително постоянен строеж на частиците. Структурата на скалите се състои от минерални частици, свързани помежду си от сили на триене. Всяка геоложка среда има собствени вибрационни характеристики, които влияят на разпространението на вибрационната вълна.

Тези характеристики зависят от:

- Еластичните константи на грунта (еластичен модул и модул на срязване), които определят скоростта на разпространение на вълните.

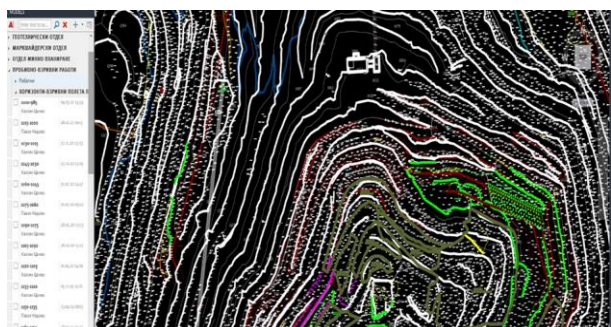
- Типа на скалите и тяхната дълбочина, която определя преобладаващия интервал от честоти и типови вълни.

- Влажността на скалите и нивото на водата в тях.

- Топография и морфология, която може да доведе до фокусиране на сеизмични вълни.

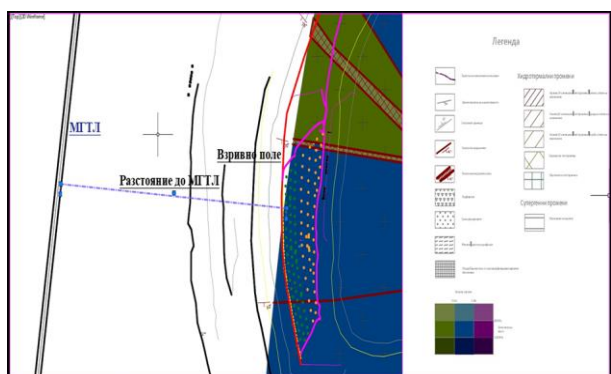
- Погасяваща характеристика на скалите.

Картираната геотехническа информация на опасните зони по отношение на литология на масива, физико-механични свойства на скалите, наличие на тектонски нарушения, блоков строеж и напуканост на скалните масиви, са представени основно от: гранодиорити, порфирити, шисти и филити, нанесени върху хоризонтните планове в „Главен план“ (Фиг. 1).



Фиг. 1. „Главен план“ на рудник „Елаците“

На Фиг. 2 е показано литология на хоризонт 910, охраняем обект /МГТЛ/ от хоризонтните планове на главния план в мината, от която може да се видят физико-механични свойства на скалите, наличие на тектонски нарушения, блоков строеж, напуканост.



Фиг. 2. Изглед в план на взривно поле, картографирано на хоризонт 910 и МГТЛ

## Параметри на пробивно-взривни работи в охраняемите зони

С цел оптимизиране на пробивно-взривните работи в рудника са изготвени хоризонтни планове на находището, както и отразяващи зони или участъци от скалния масив с различна податливост на скалите към сондиране и взривяване. Това дава възможност за по-коректно

проектиране и планиране на пробивно-взривните дейности, като информацията от техническите отдели, свързана с пробивно-взривните работи, се събира в общ модел от маркшайдерския отдел наречен „Главен план“ (Фиг. 2).

При извършване на взривни работи в близост до охраняемите обекти /МГТЛ и КЕТ-3/ се вземат под внимание геотехнически характеристики на скалите, разстоянието от взривното поле до охраняемия обект, масата на заряда и оптималните закъснения.

## Диаметър на взривения сондаж

Параметрите на пробивно-взривни работи се определят от диаметъра на сондажите и максимално допустимата скорост на разпространение на вибрациите за охраняемите обекти.

Използваните диаметри в близост до охраняемите обекти са от 142 mm до 251 mm, в зависимост от разстоянието и масата на заряда.

## Взривна мрежа

Взривната мрежа е определена спрямо литология на масива, физико-механични свойства на скалите и наличие на тектонски нарушения:

- при сондажи с диаметър 142 mm мрежата за сондиране е 3,8 x 3,3 или 4,2 x 3,5 m;
- при сондажи с диаметър 165 mm мрежата за сондиране е 4,5 x 3,5 или 5 x 4 m;
- при сондажи с диаметър 251 mm мрежата за сондиране е 6 x 5 или 6,5 x 5,5 m.

## Скоростта на частиците на земните вибрации, въздействащи на основите на съоръженията

Скоростта на частиците на земните вибрации, въздействащи на основите на съоръжения, представляват най-добрият параметър, който може да служи за критерий за риска от щети. Максималната скорост на преместване (трепене, колебание) може да се определи по формула:

$$V = KR^n, \text{ cm/s} \quad (1)$$

$$R = \frac{r_x}{Q^3}, \text{ m/kg}^{1/3}; \quad r_x = \sqrt{l^2 + h^2}, \text{ m} \quad (2)$$

където:

R – приведено разстояние, m/kg<sup>1/3</sup>;

r<sub>x</sub> – хипоцентралното разстояние от мястото (точката)

във взривното поле, където се получава максималната стойност на резултатната скорост на преместване (трепене, колебание), до мястото на регистрацията, m;

l – Хоризонталното разстояние от мястото във взривното поле, където се получава максималната стойност на резултатната скорост на преместване до мястото на регистрацията;

h – Превисение (понижение) на взривното поле спрямо мястото на регистрацията;

n – Степенен показател на затихване на сеизмичните вълни, който за зоната извън сеизмичното огнище (приведени разстояния от 10 до 170 m/kg<sup>1/3</sup>) е 1,5.

## Маса на заряда в един интервал

При проектиране на взривни работи в близост до охраняемите обекти, при които вибрациите са проблем, е

важно да се знае отношението между разстоянието, заряда и вибрациите.

$$Q_{зар} = \left( \frac{R}{-n \sqrt{\frac{PPV}{k}}} \right)^2, \text{ kg} \quad (3)$$

където:

$Q_{зар}$  - допустимата маса на заряда ВВ на интервал ( $\geq 3-8$  ms), kg;

$R$  – разстояние между взривното поле и охраняемия обект, m;

$PPV$  – ръководената скорост на вибрации, mm/s;

$K$  - коефициент, отчитащ условията на взривяване;

$n$  - степенен показател, отчитащ затихването на вибрациите във функция от разстоянието.

Контролните взривосейсмични изследвания се извършват от „ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ“ ЕООД. За тяхната регистрация се ползва сейсмична апаратура на фирмите Instantel (Канада) и Nomis (САЩ). Същите дават възможност за отчитане на моментната резултатна скорост на преместване (трептене, колебание) -  $V$ . Взриво-сейсмичното въздействие върху бордовете и охраняемите обекти на рудника се получава в резултат на динамичното натоварване и разтоварване при преминаването през скалите на сейсмичните вълни, породени от промишлените взривни работи. При тези случаи, в областта до някакво напрежение, динамичното натоварване и разтоварване на масива протича по един и същи закон, т.е. става в границите на еластичното поведение на скалите, при което не се образуват остатъчни деформации. При стойности над това напрежение натоварването и разтоварването на масива става по различни закони, вследствие на което се образуват и натрупват остатъчни деформации.

За осигуряване на устойчивост при сейсмично действие на взрива на съоръжения в скален масив, при избора на допустима скорост на преместване (трептене, колебание), определящо значение има общата оценка на деформационните свойства на скалите.

Таблица 1. Теоретично определената маса на заряда при  $K=400$

Разстояние до охраняемия обект	Маса на заряда	Разстояние до охраняемия обект	Маса на заряда
L, m	$Q_{зар}$ , kg	L, m	$Q_{зар}$ , kg
50	9	130	164
60	16	140	205
70	26	150	253
80	38	160	306
90	55	170	368
100	75	180	436
110	100	190	513
120	129	200	599

На теория масата на заряда  $Q_{зар}$  за осигуряване скорост на преместване  $V=3.46$  cm/s, при относителна деформация  $\varepsilon = 0.0001$  и стойност на интегралния коефициент  $K = 400$ , е представена в Таблица 1.

На база получените максимални стойности на  $Q_{зар}$  в различните точки на охраняемите обекти /МГТЛ и КЕТ-3/, за осигуряване скорост на преместване  $V=3.46$  cm/s и при

относителна деформация  $\varepsilon=0.0001$ , теоретично са определени максимално допустимите количества взривни вещества в една степен на закъснение за всяка точка.

От Табл. 2 могат да се видят измерените скорости на преместване (трептене, колебание) на взривни полета в охраняемите обекти /МГТЛ и КЕТ-3/, които са от  $V=1.34$  cm/s до  $V=2.43$  cm/s, което е под определената максимална скорост на преместване.

Таблица 2. Измерени скорости на преместване

Дата	№ на т.	№ ВП	Сонд.		Хор.п.	Лхщ.м	V, mm/s	R, mkg/10	K	n
			в серия	Q, kg						
05 яануари 2021 г.	3A	373	3	86	1210	238	4.3	53.9	170.2	1.5
05 яануари 2021 г.	4A	370	1	140	940	159	9.7	30.6	163.9	1.5
12 яануари 2021 г.	3A	10	1	840	1210	206	2.2	21.8	22.6	1.5
12 яануари 2021 г.	3B	3	1	200	925	253	3.4	43.3	97.6	1.5
14 яануари 2021 г.	3A	15	1	900	1210	201	6.8	20.8	64.8	1.5
21 яануари 2021 г.	1A	21	1	840	1195	245	24.3	26.0	320.9	1.5
21 яануари 2021 г.	6	24	1	770	1240	235	6.1	25.6	78.5	1.5
02 февруари 2021 г.	6	39	1	350	1225	240	4.4	34.1	86.8	1.5
04 февруари 2021 г.	4B	42	1	270	940	185	3.9	28.6	59.7	1.5
04 февруари 2021 г.	6	45	1	380	1225	221	4.9	30.5	81.9	1.5
09 февруари 2021 г.	6A	47	1	850	1225	210	11.1	22.2	116.3	1.5
11 февруари 2021 г.	4A	49	1	240	940	180	3.7	29.0	58.1	1.5
11 февруари 2021 г.	6A	51	1	900	1225	210	11.3	21.8	114.3	1.5
16 февруари 2021 г.	4B	58	1	230	940	175	4.8	28.6	72.8	1.5
02 март 2021 г.	4B	76	1	350	925	184	9.1	26.1	120.7	1.5
09 март 2021 г.	4B	84	1	300	925	195	9.2	29.1	144.3	1.5
11 март 2021 г.	6	83	1	950	1210	218	8.2	22.2	86.7	1.5

### Параметри на взривното поле

Параметрите на всяко взривно поле се определят в зависимост от разстоянието до охраняемия обект, измерените стойности на скоростта на преместване от предходно взривяване, диаметъра на сондажа и масата на заряда за конкретния случай.

Линия на най-малкото съпротивление –  $W = (25-30).d$ , m

Преудълбаване на сондажите -  $I_{np} = 0,3.W$ , m

Дължина на забивката -  $I_{заб} \geq W$ , m

Дължина на сондажа -  $I_c = h + I_n$ , m

Дължина на заряда -  $I_{зар} = I_c - I_{заб}$ , m

Разстояние между сондажите -  $a = W$ , m

Разстояние между редовете -  $b=0,2.W$ , m

Обемът отбит скален масив се определя от параметрите на сондажната мрежа:

$$V = W.a.H = m.W^2.H, m^3 \quad (4)$$

където:

$m$  – коефициент на сближение между сондажните заряди;

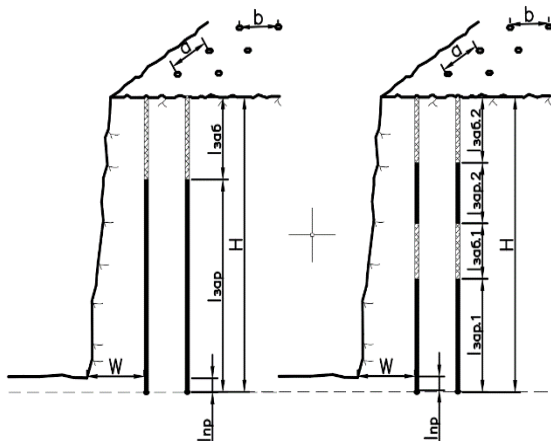
$$m = \frac{a}{W}$$

$H$  – височина на стълпалото, m

Относителният разход на взривното вещество е основният количествен показател, характеризиращ взривния ефект:

$$q = \frac{Q}{V}, \text{ kg/m}^3 \quad (5)$$

Разпределянето на взривните работи е илюстрирано на схемата, дадена на Фиг.3:



Фиг. 3. Схема за определяне параметрите на взривните работи

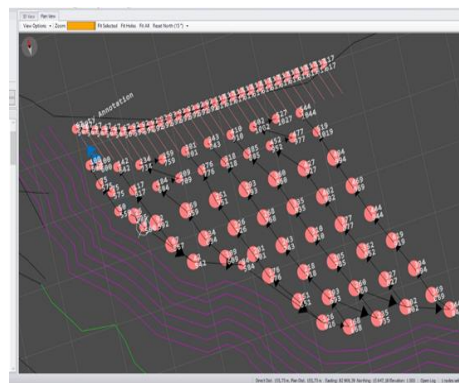
### Определяне на оптималните закъснения при инициране на зарядите

В рудник „Елаците“ за инициране на зарядите се използва неелектрическа система и електронна система. Неелектрическата система се прилага в откриваните хоризонти, съответно електронната система на инициране се използва предимно за рудни взривни полета и такива в близост до охраняеми обекти. Тя представлява електронни детонатори с програмируем електронен чип, с хиляди отделни закъснения между 1 милисекунда и 16 секунди. Използването на електронна иницираща система дава възможност на взривниците да решават точно кога да се взриви всеки отделен заряд в полето. Максималното отклонение на електронните детонатори, в сравнение с другите системи на инициране, е 1 милисекунда, което ги прави най-подходящи за извършване на взривявания в близост до охраняеми обекти.

Основните изисквания при инициране на заряди в близост до „МГТЛ и КЕТ-3“ са:

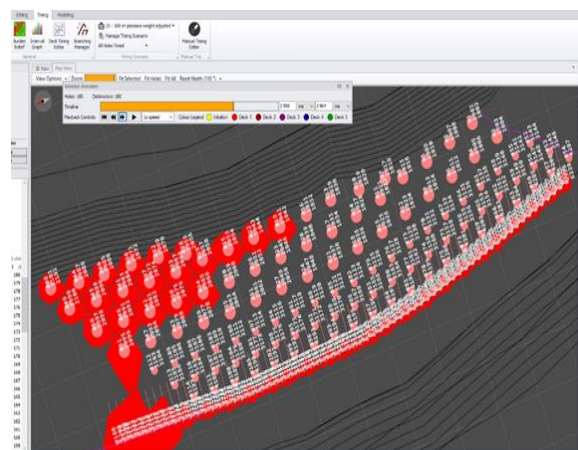
- Времената на закъснения между зарядите във взривното поле, които трябва да са равни или по-големи от 8 ms;
- При разредоточени заряди да се осъществява в последователност (вторият заряд да се взриви преди първия, като закъснението между двата да е по-голямо или равно на 25 ms);
- Интервалът между редовете сондажи да е равен или по-голям от този между сондажите в реда;
- Схемата на инициране на сондажните заряди в пространството по възможност да осигурява развитие на взривния процес в посока от охранявания обект;
- Извършване на взривяване едновременно с оконтуряването на взривното поле.

Проектирането и изготвянето на паспортите за пробивно-взривни работи се извършват с помощта на специализиран софтуер Austin Powder, който позволява на инженерния екип към участък „ПВР“ да извършва моделиране на взривните полета. Примерна схема за инициране на взривно поле с този софтуер е илюстрирана на Фиг. 4 долу:



Фиг. 4. Схема на инициране на взривно поле с използване на електронни детонатори, проектирана със специализиран софтуер за проектиране на БР. “Licensed by Austin Powder”

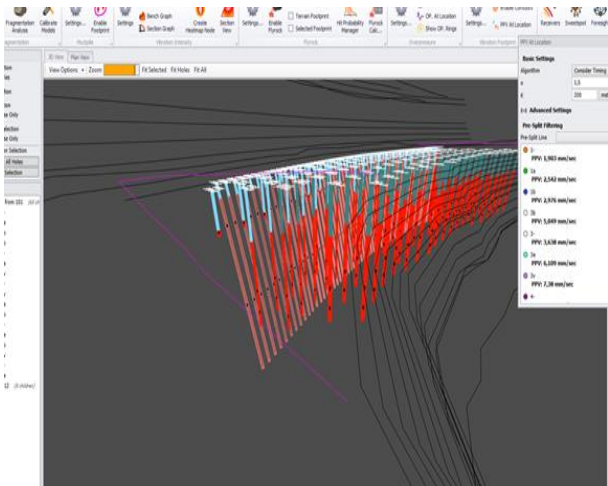
Софтуерът Paradigm е разработен да създава и визуализира взривния модел със или без терени, и да улеснява бързото определяне на желаните закъснения във взривния модел. Също така дава възможност за анализирание и сравняване на различни параметри на взривния план. На Фиг. 5 е показана схема на инициране и симулация на взривяване на взривно поле с едновременно оконтуряване на взривното поле.



Фиг. 5. Схема на инициране и симулация на взривно поле с използване на електронни детонатори, “Licensed by Austin Powder”

От Фиг. 6 могат да се видят прогнозните стойности на PPV от взривното поле до МГТЛ при разглеждания сценарий. Така създаденият модел позволява на инженерите да изберат оптимален вариант за осигуряване на устойчивост при сеизмично действие на взрива.

При извършване на взривяване едновременно с оконтуряването на взривното поле, контурният ред намалява сеизмичното действие на взрива върху съоръжения и охраняемите обекти. Времето на взривяване на контурния ред преди отбивните сондажи зависи от литологията на скалния масив.



Фиг. 6. Взривни полета, моделирани в 3D със софтуер за проектиране на ВР, “Licensed by Austin Powder”

Определянето на допустимите относителни деформации се извършват в деветнадесет на брой точки в /МГТЛ/ и шест точки върху бетоновата площадка на ниво /КЕТ-3/.

След всяко взривяване се прави инженерингов анализ и оценка на риска, който включва определяне на факторите, влияещи върху ръководната скорост на вибрации: “Разстояние”, “Конструкция”, „Корпус едро трошене“ /КЕТ-3/ и транспортен тунел /МГТЛ/.

## Заклучение

Използването на електронни детонатори дава възможност за управление на взривно-сейзмично въздействие (в скалния масив от взривното поле до охраняваният обект), характеризиращо вълнопроводните свойства на скалния масив.

Триизмерното моделиране със софтуер при проектиране на взривни работи дава възможност за проиграване на различни сценарии, както и прогнозиране на възможната скорост на вибрации /PPV/ при взривяване.

При проектиране с цел оптимална взриво-сейзмична охрана на съоръжения, след всяко измерване на база получените резултати и при достигане на стойности, близки до граничните, количеството ВВ за следващо взривяване се променя съобразно конкретните условия.

## Литература

- Olofsson, S. 2002. *Applied explosives technology for construction and mining*. Sweden.
- Fauske, A. *Reduction of Blast Induced Vibrations*, Dyno Nobel Europe.
- Лазаров. С. 1988. *Взривни работи*, Техника.
- Доклади от външни одити върху производствените процеси в сферата на пробивно-взривните работи проведени на територията на РК „Елаците“. 2016 г.
- Отчет от „ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ“ ЕООД по задача: Технология на ПВР в краен контур на рудник „Елаците“, София 1.10.2020 г.