



ИЗВЪРШВАНЕ НА ПВР В ЗОНИ НА ВЗРИВО-СЕЙЗМИЧНО ОХРАНЯЕМИ ОБЕКТИ, РАЗПОЛОЖЕНИ В ТЕРИТОРИЯТА НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“

инж. Григор Мишев, инж. Владимир Билев, инж. Радослав Асенов, инж. Калоян Цанов,
инж. Росен Борисов

g.mishev@ellatzite-med.com; v.bilev@ellatzite-med.com; r.asenov@ellatzite-med.com;
k.tsanov@ellatzite-med.com; r.borisov@explosiveprogress.eu

РЕЗЮМЕ

Основни обекти в рудник „Елаците“, които подлежат на взриво-сейзмична охрана са: корпус за едро трошене (KET №3), който е разположен в котлована на рудника на кота 1030 m; МГТЛ, разположена в подземен тунел с приблизителна дължина от 7 km, чрез която се осъществява транспортирането на натрошената руда от рудника до Обогатителния комплекс. При проектирането на ПВР, в зоните на тези обекти, се обръща особено внимание върху получаването на възможно най-ниски стойности на взриво-сейзмично въздействие с цел да не се провокира образуването на потенциално опасни остатъчни деформации, застрашаващи целостта на съоръженията.

EXECUTION OF DRILLING AND BLASTING WORKS IN AREAS OF EXPLOSION-SEISMIC PROTECTED OBJECTS LOCATED IN THE TERRITORY OF THE "ELATSITE" MINE

Dipl. Eng. Grigor Mishev, Dipl. Eng. Vladimir Bilev, Dipl. Eng. Radoslav Asenov,
Dipl. Eng. Kaloyan Tsanov, Dipl. Eng. Rosen Borisov

g.mishev@ellatzite-med.com; v.bilev@ellatzite-med.com; r.asenov@ellatzite-med.com;
k.tsanov@ellatzite-med.com; r.borisov@explosiveprogress.eu

ABSTRACT

The main objects in "Ellatzite" mine, which are subject to blast-seismic protection, are: the large crushing unit (KET №3), which is located in the pit of the mine at an elevation of 1030 m; MGTL conveyor belt located in an underground tunnel with an approximate length of 7 km, through which the crushed ore is transported from the mine to the flotation complex. When designing the drilling and blasting works in these specific areas, special attention is paid to obtaining the lowest possible values of blast-seismic impact in order not to provoke the formation of potentially dangerous residual deformations, threatening the integrity of the facilities.

Въведение

Усъвършенстването на взривните техники направи възможно провеждането на сложни взривни работи в близост до и под сгради и съоръжения, чиято цялост не трябва да бъде нарушавана. Породените вибрации, въздушно-ударната вълна и разлетът на скални късове представляват заплаха за целостта на съоръженията и затова е необходимо да се контролират, за да се избегнат евентуални щети. Най-голямо влияние върху сградите и съоръженията, в съседство с взривните обекти, оказват вибрациите, но следва да се обръща специално внимание и на разлета на скални късове, който е основната причина за повреди на сгради, оборудване и съоръжения.

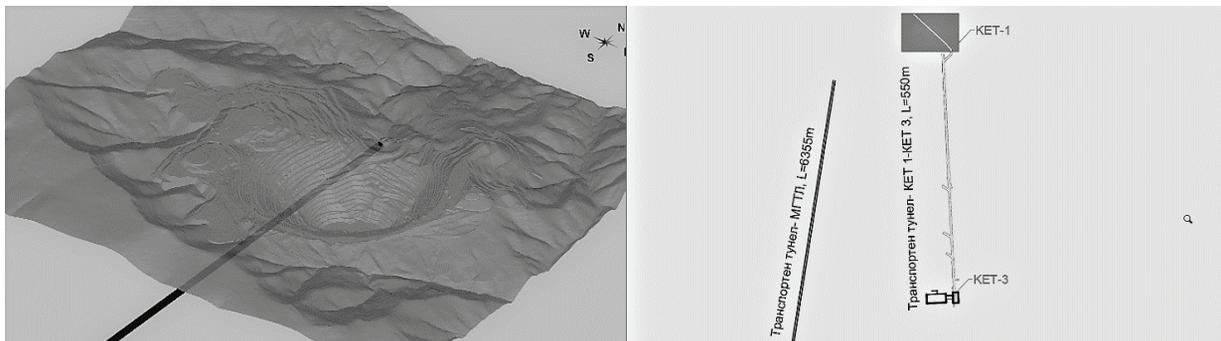
Кратки сведения за взриво-сейзмично охраняемите обекти в рудник „Елаците“

Разработването на находище „Елаците“ се извършва по открит способ за добив и първична преработка на медно-порфирни златосъдържащи руди. Към настоящия момент, находището се разработва от „Елаците-Мед“ АД, която е част от Група ГЕОТЕХМИН.

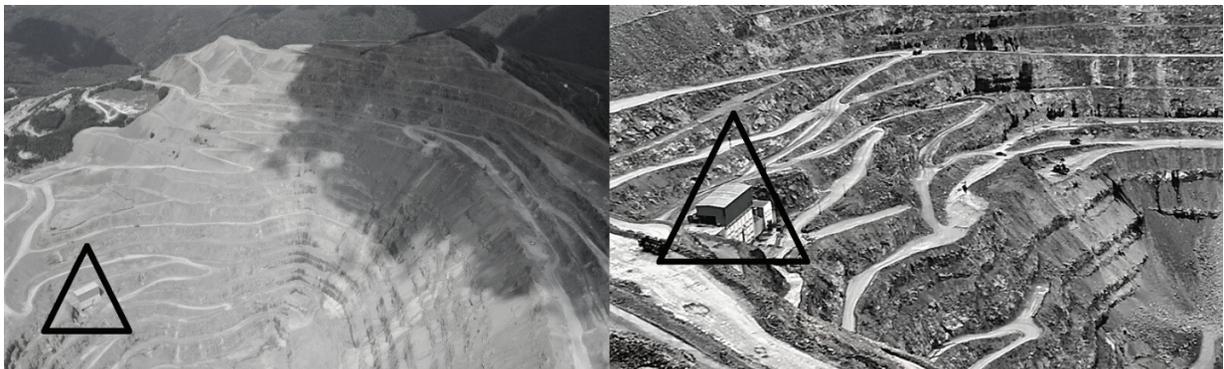


На територията на Рудодобивния комплекс са разположени следните обекти, които подлежат на взриво-сеизмична охрана при извършване на промишлени взривни работи:

- Транспортен тунел с МГТЛ (магистрална гумена транспортна лента), която транспортира натрошената минна маса от рудника до Обогащителния комплекс в с. Мирково. Транспортният тунел е с дължина $L = 6355$ m и наклон $\rho = 1,94\%$. В Рудодобивния комплекс входът на тунела се намира на кота 1026.40 m, а изходът е в Обогащителния комплекс и е разположен на кота 903.18 m.
- КЕТ №3 (корпус за едро трошене) е разположен в рудничния котлован на кота 1030 m, с цел съкращаване на транспортното разстояние до КЕТ №1, като се намаляват и отделяните въглеродните емисии от превозващите автосамосвали, вследствие на съкратеното транспортно разстояние.
- Транспортен тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3. Целта на това съоръжение е да претовари натрошената рудна маса от КЕТ №3 към питател в КЕТ №1 и оттам да постъпи към основната МГТЛ в транспортния тунел, извозваща рудата до Обогащителния комплекс.



Фиг.1. Трасета на транспортния тунел с МГТЛ, който е вмесен в рудничната чаша на рудник „Елаците“ (в ляво) и на транспортния тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3 (в дясно).



Фиг.2. Местоположение на КЕТ №3 в котлована на рудник „Елаците“. Местоположението е отбелязано с триъгълник в далечен план (ляво) и в близък план (дясно).

Транспортният тунел, КЕТ №3 и транспортният тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3 спадат към съоръжения от „I- клас“ (изключително отговорни съоръжения, с продължителен срок на експлоатация), за които нивото на допустимата относителна деформация в средата е $\varepsilon \leq 0.0001$, при което сеизмичното въздействие върху нея е без образуване и натрупване на остатъчни деформации.

Критерии за осигуряване на взриво-сеизмична охрана на съоръженията

Земните вибрации, които са форма на пренасяне на енергия през скалния масив, могат да причинят щети на околните сгради и съоръжения, ако/когато достигнат определено ниво. Средата, в

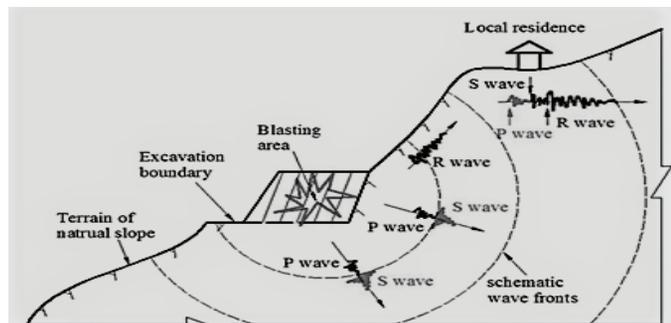
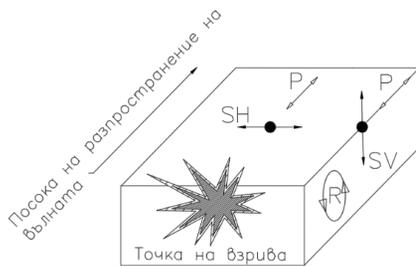


която се разпространяват сеизмичните вълни, оказва влияние върху тяхната скорост на разпространение, особено при натиските - P и срязващи вълни - SH (хоризонтални), SV (вертикални). В таблица №1 са описани физико-механичните свойства на литоложките разновидности, които се срещат в рудник „Елаците“.

Таблица №1. Физико-механични свойства на литоложките разновидности в рудник „Елаците“

Литология	Якостни параметри		Деформационни параметри	
	Якост на едноосов натиск	Якост на опън	Надлъжни вълни V_p	Напречни вълни V_s
	MPa	MPa	m/s	m/s
Филити	11,24	2,09	3714,45	1864,62
Ивичести и петнисти шисти	35,65	4,34	5010,70	2404,76
Хорнфелзи	75,49	7,69	5303,76	2519,38
Монцодиоритови порфирити	87,05	7,42	4245,01	2037,16
Гранодиорити	93,77	9,11	4911,31	2400,76

При иницииране на зарядите от взривно вещество, част от енергията, освободена от взрива, се разпространява във всички посоки под формата на сеизмични вълни с различни честоти. Енергията на тези вълни отслабва с разстоянието, като вълните с най-висока честота отслабват най-бързо. Това означава, че при взривни дейности на близки разстояния преобладават вибрации с високи честоти, а на далечни разстояния с по-ниски.



Фиг.3. Сеизмични вълни. Където: SH - хоризонтална срязваща (S) вълна; SV - вертикална срязваща (S) вълна; P - натискава вълна; R - вълна на Релей

Последствията от взриво-сеизмичните въздействия върху транспортния тунел на МГТЛ, КЕТ №3 и транспортния тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3, зависят от величините на получените относителни деформации при динамично натоварване и разтоварване. От физико-механична гледна точка сеизмичните вълни представляват процес на пренасяне на деформации на разстояние. В случая, регистрираните относителни деформации в наблюдателните станции се определят, както следва:

$$\varepsilon = \frac{V}{C_p} \quad (1)$$

Където:

ε - относителна деформация при динамично натоварване и разтоварване на средата

V - максимална скорост на преместване, cm/s

C_p - скорост на разпространение на надлъжните еластични вълни, m/s

$$V = KR^{-n} \quad (2)$$

Където:



V - максимална скорост на преместване, cm/s

K - интегрален коефициент, отразяващ инженерно-геоложките и хидрогеоложките показатели на скалите, формата на действие на взрива и условията на взривяване

R - Приведено разстояние, m/kg^{1/3}

n - степенен показател на затихване на сеизмичните вълни, който, за зоната извън сеизмичното огнище (приведени разстояния от 10 до 170 m/kg^{1/3}), е 1.5

$$R = \frac{r_x}{Q^{1/3}} \quad (3)$$

Където:

R - приведено разстояние, m/kg^{1/3}

r_x - хипоцентрално разстояние от мястото (точката) във взривното поле, където се получава максимална стойност на резултантната скорост на преместване (трептене, колебание), до мястото на регистрация (точките на измерване) в транспортен тунел на МГТЛ, КЕТ №3 и транспортен тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3, m

Q - максимална маса на заряда от взривно вещество, взривен в една степен на закъснение, kg

$$r_x = \sqrt{l^2 + h^2}, \text{ m} \quad (4)$$

Където:

r_x - хипоцентрално разстояние, m

l - хоризонтално разстояние от мястото (точката) във взривното поле, където се получава максимална стойност на резултантната скорост на преместване (трептене, колебание), до мястото на регистрация (точките на измерване) в МГТЛ, КЕТ №3 и транспортен тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3, m

h - превишение (понижение) на взривното поле спрямо мястото на регистрация (точките на измерване) в МГТЛ, КЕТ №3 и транспортен тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3

Наличните данни в рудник „Елаците“ за скоростта на разпространение на надлъжните еластични вълни - C_p , в различни участъци (средни с различни физико-механични показатели) показват, че най-ниските стойности са в меките запълнители на пукнатините в МГТЛ, които са в интервала 235 - 346 m/s (23 500 ÷ 34 600 cm/s), средно 290.5 m/s (29 050 cm/s).

При допустима относителна деформация $\varepsilon \leq 0.0001$ стойностите на скоростта на преместване - V (трептене, колебание) при тези условия (за меките запълнители на пукнатините в МГТЛ) не трябва да надвишават 2.35 ÷ 3.46 cm/s, средно 2.91 cm/s.

С отчитане на горното и като се вземе предвид извършеното укрепване на тунела на МГТЛ, допустимата скорост на преместване (трептене, колебание) я приемаме за 3.46 cm/s., като технологичното регулиране на взривните работи следва да се осъществява до допустимата скорост на преместване (трептене, колебание) 3.46 cm/s.

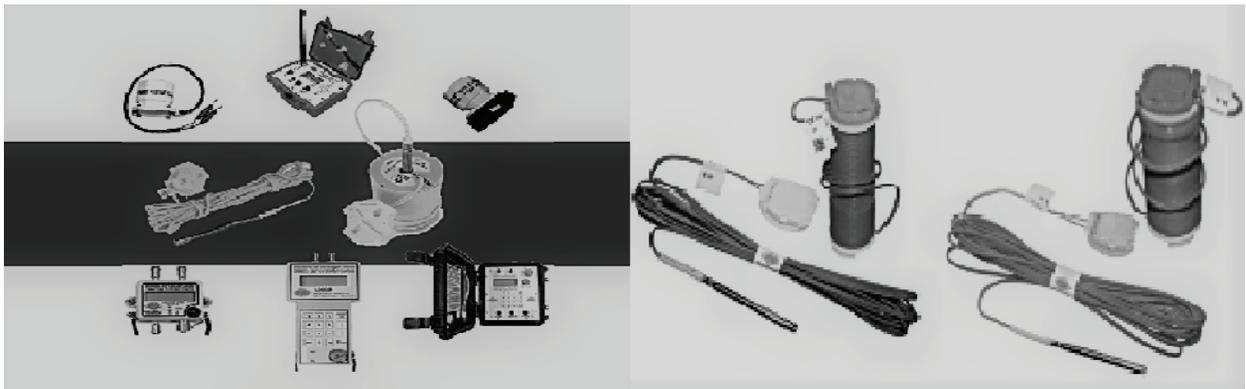
ПВР на територията на рудник „Елаците“ с взриво-сеизмично охраняеми обекти.

На годишна база, в рудник „Елаците“, е налице голяма честота на провеждане на взривните работи. Значителна част от тези взривни полета, в настоящия момент, са разположени на малки хипоцентрални разстояния до охранявани обекти, т.е. налице е и по-високо взриво-сеизмично въздействие. При проектиране на ПВР с взриво-сеизмично охраняеми обекти, най-важното, с което трябва да се съобразяват проектантите, е хипоцентралното разстояние от взривното поле до охраняемия обект. Следващата стъпка е да се избере оптимален диаметър на взривните сондажи, сондажна мрежа и конструкция на зарядите от ВВ. Видът на приложеното взривно вещество също е от значение, тъй като грубодисперсните ВВ (АНФО Е) имат ниска скорост на детонация, вследствие на малката насипна плътност, а емулсионните ВВ (Елацит 3400) – висока, вследствие на по-високата насипна плътност (Таблица №2). Взривните вещества с по-висока скорост на детонация са



предпоставка за високи сеизмични стойности, поради по-високото детонационно налягане при иницииране на зарядите, като това е предпоставка за вибрации с високи честоти. При ПВР с взриво-сеизмично охраняеми обекти на територията на рудник „Елаците“ се прилага технология на взривяване с електронни програмируеми капсул-детонатори. Времето на закъснение на тези детонатори може да бъде коригирано. Техните предимства пред останалите технологии за взривяване са:

- Намалява се почти два пъти сеизмичното действие на взрива, вследствие пълната интерференция на вълните и изравняването на по-високи и по-ниски взривни пикове;
- По-добро раздробяване на материала, поради пълното взаимодействие на отделните заряди;
- Намаляване на относителния разход на експлозива, поради по-пълното използване на енергията и др.



Фиг.4. Средства за взривяване от електронната технология за взривяване, произведена от „Austin Powder“.

Таблица №2. Взривни вещества (ВВ), прилагани при ПВР в рудник „Елаците“.

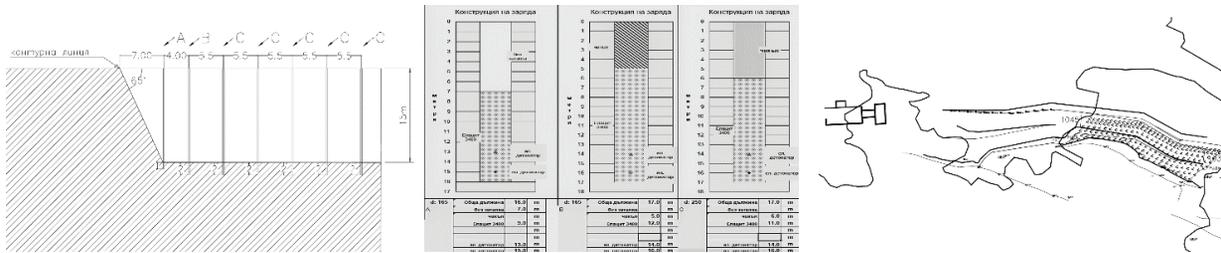
Взривно вещество	Тип Взривно вещество	Насипна плътност, kg/m ³	Критичен диаметър, mm, не повече от	Стабилен диаметър, mm, не повече от	Оптимален междинен детонатор	Скорост на детонация, m/s
Елацит 710	патронирано емулсионно	1100-1220	до 51*	над 51**	не по-малко от КД №8	не по-малко от 5000
АНФО Е	нафтоселитрено грубодисперсно	750-820	60	100	400 g пресовка TNT	не по-малко от 3000
Елацит 3400	емулсионно	1150-1280	80	120	400 g пресовка TNT	не по-малко от 4300

* - с плътност на гореща емуслия= 1.08 ± 0.03 g/cm³ ; с плътност на охладена емуслия= 1.12 ± 0.03 g/cm³

** - с плътност на гореща емуслия= 1.14 ± 0.03 g/cm³ ; с плътност на охладена емуслия= 1.18 ± 0.03 g/cm³

Проектиране на ПВР до КЕТ №3

В настоящия доклад е представен метод за изпълнение на реализиран проект за ПВР на хор.1045 в рудничния котлован, като взривното поле е на $r_x=245$ m хипоцентрално разстояние от КЕТ №3. За изпълнението му бяха приложени сондажи с работен диаметър $d=165$ mm и $d=250$ mm в шахматна сондажна мрежа. Сондажните работи са изпълнявани в скален масив, представен от гранодиорит. За буферни сондажи се използваха сондажи с $d=165$ mm в сондажна мрежа 5 m x 4 m. Сондажите с $d=250$ mm се изпълниха в сондажна мрежа 6.5 m x 5.5 m. Буферните сондажи се разполагат на 7 m от контурната линия на работния хоризонт - с 1 m преудълбаване, без забивка. Предбуферният ред се изпълнява с 2 m преудълбаване и забивка от 5 m. Сондажите с $d=250$ mm се изпълняват с непрекъснат заряд от ВВ и забивка, с дължина $L=6$ m. За изпълняването на забивката се използва трошена фракция, с размер на къса около 20 mm, осигурена от мобилните трошачни установки в Рудодобивния комплекс. За иницииране на сондажите беше използвана електронна система за взривяване, произведена от „Austin Powder“. Закъсненията между сондажите са 67 ms, а между редовете са 25 ms. Закъсненията на отделните заряди от ВВ, бяха проектирани така, че да няма иницииране на два заряда едновременно.



Фиг.4. Разрез на взривното поле на хор.1045; схема-конструкция на зарядите от ВВ и изглед на проекта за сондиране с разположението му спрямо КЕТ №3.

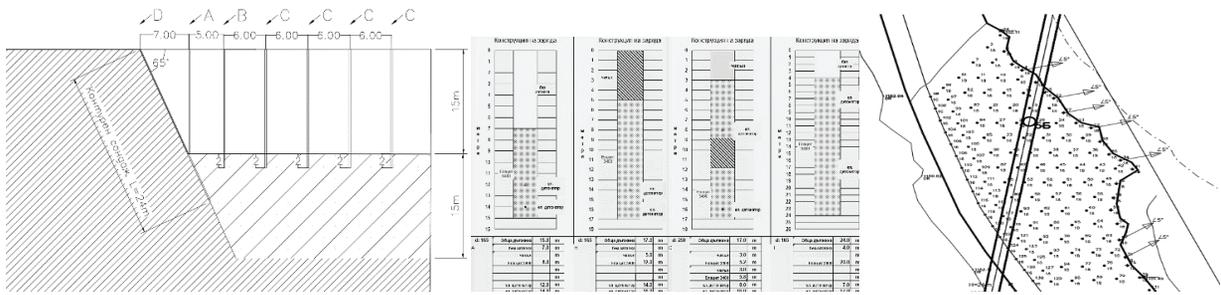
Таблица №3 Приложени сондажи, количества взривно вещество, конструкция на зарядите във взривното поле, разположено на хор. 1045 в близост до КЕТ №3

Категория сондажи	Тип сондажи	Диаметър, mm	Проектен ъгъл, ...	Дълбочина, m	Патрон боевици, бр.	Количество ВВ в един сондаж, kg			Конструкция на заряда	Забивка, m
						E-710	E-3400	ANFO		
A	буферни	165	90	16	2	-	240	-	непрекъсната	-
B	предбуферни	165	90	17	2	-	320	-	непрекъсната	5
C	производствени	250	90	17	2	-	770	-	непрекъсната	6

При извършено взриво-сеизмично измерване е регистрирана максимална скорост на преместване (трепене, колебание) $V=18.2$ mm/s при точка 6 на КЕТ №3, т.е. не е надхвърлена допустимата такава от 34.6 mm/s.

Проектиране на ПВР до транспортен тунел с МГТЛ

В настоящия доклад е представен метод за изпълнение на реализиран проект за ПВР в рудничния котлован на хор.1180, като взривното поле е на $r_x=180$ m хипоцентрално разстояние от транспортния тунел на МГТЛ. За изпълнението му бяха приложени сондажи, с работен диаметър $d=165$ mm и $d=250$ mm, в шахматна сондажна мрежа. Сондажните работи са изпълнявани в масив, представен от гранодиорит. За буферни сондажи се използват сондажи с $d=165$ mm в сондажна мрежа 5.5 m x 5 m. Сондажите с $d=250$ mm се изпълняват в сондажна мрежа 7 m x 6 m. Буферните сондажи се разполагат на 7 m от контурните сондажи на работния хоризонт - без преудълбаване и неразредоточена конструкция на заряда от ВВ. Предбуферният ред се изпълнява с непрекъсната колонка на взривния стълб и забивка от 5 m. Сондажите с $d=250$ mm се изпълняват с разредоточена конструкция на заряда от ВВ, предвид на малкото разстояние до транспортния тунел на МГТЛ. Разредоточаването се изпълнява, като първият заряд е $Q_1= 400$ kg, следва да се изпълни забивка с дължина $L=3$ m, след това се изпълнява вторият заряд с $Q_2= 350$ kg. Крайната забивка на разредоточените заряди е с дължина $L= 4$ m. За изпълняването на забивката се използва трошена фракция с размер на къса около 20 mm, осигурена от мобилните трошачни установки в Рудодобивния комплекс. За инициране на сондажите беше използвана електронна система за взривяване, произведена от „Austin Powder”. Закъсненията между сондажите с неразредоточена конструкция на зарядите е 50 ms, а при тези с разредоточена конструкция, е 25 ms между Q_1 и Q_2 , като първо се иницира горният заряд $Q_2= 350$ kg. Закъсненията на отделните заряди от ВВ бяха проектирани така, че да няма инициране на два заряда едновременно.



Фиг.5. Разрез на взривното поле на хор.1180; схема-конструкция на зарядите от ВВ и изглед на проекта за сондиране с разположението му спрямо транспортния тунел на МГТЛ.

Таблица №4 Приложени сондажи, количества взривно вещество, конструкция на зарядите във взривното поле разположено на хор. 1180 в близост до транспортния тунел на МГТЛ.

Категория сондажи	Тип сондажи	Диаметър, mm	Проектен ъгъл, ...	Дълбочина, m	Патрон боевици, бр.	Количество ВВ в един сондаж, kg			Конструкция на заряда	Забивка, m
						E-710	E-3400	ANFO		
A	буферни	165	90	15	2	-	240	-	непрекъсната	-
B	предбуферни	165	90	17	2	-	320	-	непрекъсната	5
C	производствени	250	90	17	2	-	400+350	-	разсредоточена	3+4
D	контурни	165	65	24	-	32	-	-	-	-

При извършено взриво-сеизмично измерване е регистрирана максимална скорост на преместване /трептене, колебание/ $V = 6.3 \text{ mm/s}$ при точка 5B на транспортния тунел на МГТЛ.

Получени резултати и анализ на измерванията на взриво-сеизмичното въздействие върху съоръженията.

Контролните взриво-сеизмични изследвания се извършват от „ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ“ ЕООД. За тяхната регистрация се използва сеизмична апаратура на фирмите „InstanTel“ (Канада) и „Nomis“ (САЩ). Взриво-сеизмичното въздействие се получава в резултат на динамичното натоварване и разтоварване при преминаването през скалите на сеизмичните вълни, породени от промишлените взривни работи.

Извършени са регистрации за максималната скорост на преместване (трептене, колебание) на 2 взривни полета в най-близките до взривните полета точки от транспортния тунел. В КЕТ №3 бяха измерени 7 взривни полета в най-близката до тях точка б. Също така гореспоменатите 7 бр. взривни полета са измерени и в транспортен тунел между КЕТ №1 и КЕТ №3.

Основният фактор, влияещ върху стойността на скоростта на преместване – V , е приведеното разстояние - R (m), зависещо от максималната маса на заряда, в една степен на закъснение - Q (kg) и хипоцентрално разстояние - r_x (m), от мястото на регистрация до мястото на взрива.

Инструментално регистрираните максимални скорости на преместване (трептене, колебание) са извършени при приведени разстояния от 15.6 до $33.4 \text{ m/kg}^{1/3}$. Резултатите от измерванията в транспортния тунел на МГТЛ са представени в Таблица №5.

Таблица №5

Дата	№ на точка	№ на сеизмограф	№ ВП	Сондажи в серия	Q, kg	Хор.,m	Lхип, m	V, mm/s	R, m/kg ^{1/3}	K
11 окт овври 2022 г.	6	625	312	1	320	1120	157	12.7	23.0	139.7
24 ноември 2022 г.	6	535	344	1	780	1105	210	9.6	22.8	104.2
11 окт овври 2022 г.	5B	624	312	1	320	1120	166	7.8	24.3	93.3
24 ноември 2022 г.	5B	626	344	1	780	1105	205	7.4	22.3	77.2
11 окт овври 2022 г.	6A	626	312	1	320	1120	165	7.6	24.1	90.0
24 ноември 2022 г.	6A	537	344	1	780	1105	232	10.1	25.2	127.8



При измерените взривни полета регистрираната максимална скорост на преместване (трепене, колебание) в транспортния тунел на МГТЛ е $V=12.7\text{mm/s}$. Резултатите от измерванията в КЕТ № 3 са представени в Таблица №6.

Таблица №6

Дата	№ на точка	№ на сеизмограф	№ ВП	Сондажи в серия	Q, kg	Хор., м	Lхип, м	V, mm/s	R, m/kg ^{1/3}	K
23 септември 2022 г.	6	537	291	1	840	1060	168	34.6	17.8	260.0
27 септември 2022 г.	6	537	298	1	480	1060	150	32.9	19.2	276.0
29 септември 2022 г.	6	537	301	1	100	1060	125	15.5	26.9	216.6
20 октомври 2022 г.	6	535	320	1	720	1045	245	18.2	27.3	260.1
08 ноември 2022 г.	6	624	336	1	800	1030	245	13.3	26.4	179.9
15 ноември 2022 г.	6	535	343	1	780	1030	144	14.7	15.6	91.0
22 ноември 2022 г.	6	626	347	1	750	1030	235	15.0	25.9	197.7

При измерените взривни полета регистрираната максимална скорост на преместване (трепене, колебание) в КЕТ № 3 е $V=34.6\text{mm/s}$. Резултатите от измерванията в транспортен тунел между КЕТ № 1 и КЕТ № 3 са представени в хронологичен ред в Таблица №7.

Таблица №7

Дата	№ на точка	№ на сеизмограф	№ ВП	Сондажи в серия	Q, kg	Хор., м	Lхип, м	V, mm/s	R, m/kg ^{1/3}	K
23 септември 2022 г.	6	537	291	1	840	1060	168	34.6	17.8	260.0
27 септември 2022 г.	6	537	298	1	480	1060	150	32.9	19.2	276.0
29 септември 2022 г.	6	537	301	1	100	1060	125	15.5	26.9	216.6
20 октомври 2022 г.	6	535	320	1	720	1045	245	18.2	27.3	260.1
08 ноември 2022 г.	6	624	336	1	800	1030	245	13.3	26.4	179.9
15 ноември 2022 г.	6	535	343	1	780	1030	144	14.7	15.6	91.0
22 ноември 2022 г.	6	626	347	1	750	1030	235	15.0	25.9	197.7

При измерените взривни полета регистрираната максимална скорост на преместване (трепене, колебание) в транспортен тунел между КЕТ № 1 и КЕТ № 3 е $V=24.6\text{mm/s}$.

Изводи

От представените изследвания се вижда, че взриво-сеизмичното въздействие върху охраняемите съоръжения в рудник „Елаците“, при извършване на взривните работи, е в рамките на допустимото. Получените стойности на интегралния коефициент - K, отразяващ факторите, влияещи върху генерирането и разпространението на породените от промишлените взривни работи сеизмични вълни в различните точки, потвърждават сложните условия, при които те се формират и разпространяват с развитието на минните работи в рудника. Трудно може да се направи ясна зависимост за взриво-сеизмичното въздействие. Факторите, които оказват въздействие са много и не са постоянни. В тази връзка трябва да се предприемат следните мерки при проектиране на ПВР в зони на взриво-сеизмично охраняеми обекти:

- Да се използват теоретично определените минимални количества ВВ при използване на максималните стойности на коефициента K.
- С цел осигуряване на оптимална взриво-сеизмична охрана на съоръженията след всяко измерване, на база получени резултати и при достигане на стойности близки до граничните, количеството ВВ за следващите взривявания може да се променя съобразно конкретните условия.

От получените резултати при проведените до момента взриво-сеизмични измервания в транспортния тунел на МГТЛ и КЕТ №3 е регистрирана максимална стойност на коефициента $K=400$. На теория, за осигуряване скорост на преместване $V=3.46\text{ cm/s}$ и при относителна деформация $\epsilon=0.0001$, и стойност на интегралния коефициент $K=400$, се получават посочените по-долу количества ВВ в една степен на закъснение за съответните хипоцентрални разстояния (таблица №8).



Таблица №8

L, m	Q, kg K = 400	L, m	Q, kg K = 400
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

Литература

1. Справочник на взривника. Петър Кръстев Шишков; София 2019
2. Отчет от „ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ“ ЕООД по задача: Осигуряване на взриво-сеизмична охрана на МГТЛ и КЕТ №3 в РК „Елаците“.
3. Взривни явления и експлозиви. Гургана Камбурова; София 2007
4. Applied explosives technology for construction and mining. Sweden. Stig O Olofsson