



ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ВЗРИВНИ СОНДАЖИ НА ТЕРИТОРИЯТА НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“ ПОСРЕДСТВОМ СОФТУЕР ЗА ВИСОКОТОЧНО ПОЗИЦИОНИРАНЕ - „PROVISION“

инж. Радослав Асенов; инж. Павел Недков; инж. Момчил Михайлов
r.asenov@ellatzite-med.com; p.nedkov@ellatzite-med.com; m.t.mihailov@ellatzite-med.com

РЕЗЮМЕ

Технологията на разработване и физико-механичните показатели на скалните разновидности в находище - „Елаците“, налагат изпълняването на взривни сондажи. Пробивните работи обслужващи добива се извършват от дизел-хидравлични сонди с диаметър на сондиране - 250 mm. Този вид сондажно оборудване разполага с интегрирана система за високоточно позициониране- „ProVision“, която позволява на оператора да изпълнява сондажите с проектите им координати по X, Y и Z- координатна система. Системата работи с база от данни на изпълнените сондажи, което дава възможност за производствен анализ и мониторинг.

EXECUTION OF BLASTHOLE DRILLING ON THE TERRITORY OF THE “ELLATZITE” MINE USING “PROVISION” HIGH-PRECISION POSITIONING SOFTWARE

Dipl. Eng. Radoslav Asenov; Dipl. Eng. Pavel Nedkov; Dipl. Eng. Momchil Mihailov
r.asenov@ellatzite-med.com; p.nedkov@ellatzite-med.com; m.t.mihailov@ellatzite-med.com

ABSTRACT

The technology for developing and the physical-mechanical properties of the rock types in the "Ellatzite" deposit require the implementation of blasting drillings. The drilling operations supporting the extraction are performed using diesel-hydraulic drills with a drilling diameter of 250 mm. This type of drilling equipment is equipped with an integrated high-precision positioning system, "ProVision," which allows the operator to perform drillings according to their design coordinates in the X, Y, and Z coordinate system. The system works with a database of completed drillings, enabling production analysis and monitoring.

Въведение

В съвременното минно дело и инфраструктурно строителство, ефективното и прецизно изпълнение на взривни работи е от съществено значение. Основен елемент в този процес е правилното разположение на сондажните отвори, което да гарантира контролирана деструкция на скалната маса, минимизиране на вредното проявление на вибрациите и безопасност за персонала извършващ взривните работи. С внедряването на GPS/GNSS технологии и специализирани програми за позициониране се постига висока точност при маркиране и пробиване на отворите за взривяване. Настоящият доклад има за цел да представи приложението на високоточна позиционираща система при изпълнението на взривни сондажи, предимствата на използваната технология и практическите резултати от нейното внедряване в реална работна среда. Разглежданата система за високоточно позициониране- „Provision“, влиза в употреба при разработването на находище- „Елаците“, през 2016 год.

Кратки сведения за находище- „Елаците“ и прилагани сондажни работи обслужващи нуждите на изкопно-товарните дейности

Рудник „Елаците“ е разположен на около 80 km източно от гр. София, на северния склон на Етрополска Стара планина в близост до гр. Етрополе. Рудника се разработва по открит способ за



добив и първична преработка на медно-порфирни златосъдържащи руди. При експлоатацията му се добива минна маса (откривка и руда) в резултат на което се оформя рудничния котлован.



Фиг.1. Местоположение и общ изглед на рудник „Елаците“

Разработваните скални масиви в рудник „Елаците“ са представени основно от: гранодиорити, порфирити, хорнфелзи, шисти и филити. Повечето литоложки разновидности имат якост на опън, която е от 8 до 10 пъти по-ниска от якостта на натиск. Якостта на опън на скалата трябва да бъде надвишена, в противен случай няма да се разруши. В таблица №1 са представени физико-механичните показатели на скалните разновидности в рудник- „Елаците“.

Таблица №1.

Скална разновидност	Кохезия, (кПа)		Фрикционен ъгъл, (°)		Якост на едвоосов натиск, (МПа)		Якост на опън, (МПа)		Обемна плътност, (g/sm ³)
	от	до	от	до	от	до	от	до	
филити	43	67	15	21	1.8	36.9	0.4	7.2	2.71
ивичести и петнисти шисти	79	381	22	45	2.5	176	0.4	14.4	2.71
хорнфелзи	278	416	44	50	11.7	155	0.9	18.6	2.71
монодиоритови порфирити	375	382	49	51	5.8	227	0.4	15.6	2.62
гранодиорити	404	442	53	55	7.1	166	2.8	18.8	2.62

За механичното разрушаване на скалните масиви в рудник „Елаците“ се прилагат пробивно-взривни дейности, като пробивните работи се извършват по методът на сондажното взривяване. Сондажните отвори се изработват вертикално, наклонено или хоризонтално. Този метод в сравнение с метода на взривните дупки съкращава обема на пробивните работи, намалява относителния разход на взривното вещество и повишава производителността на труда.

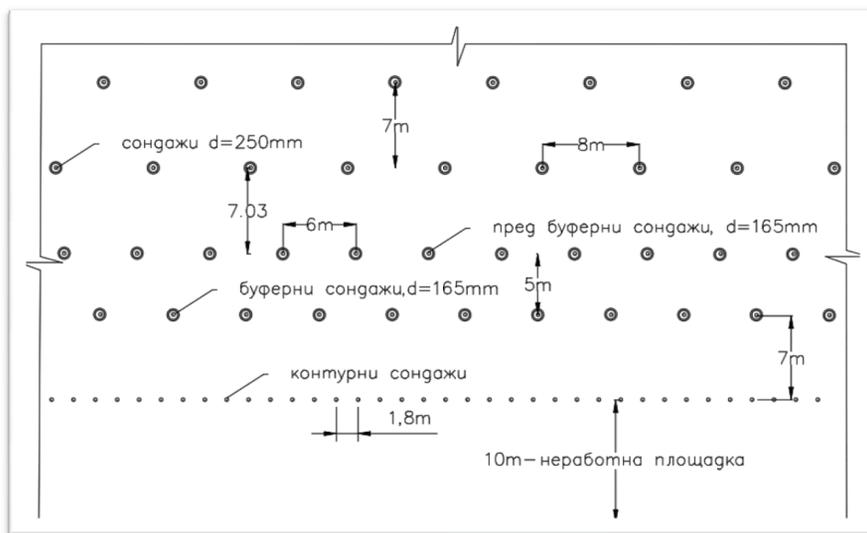
Сондажното взривяване включва пробиване на сондажните отвори, поставяне на донорни заряди във вече изпълнените сондажи, зареждане с подходяща взривна смес, изграждане на забивка и повърхностна взривна мрежа, взривяване и оглед на взривното поле. Сондажното оборудване в рудник „Елаците“, което работи с интегрирана система- „Provision“, използва пробивни инструменти- триролкови длета с работен диаметър $d=250$ mm, като сондажният парк е представен от сонди с марка: Terex (един брой); Epiroc (един брой); Caterpillar (два броя).

Кратки сведения за проектирането на ПВР в рудник „Елаците“

Проектирането на пробивно-взривни работи се извършва съгласно утвърдени вътрешно-фирмени процедури, като паспорта за ПВР се изготвя след предварително извършено маркшайдерско заснемане на работните площадки за сондиране. Проекта за сондиране се съобразява с геологията на

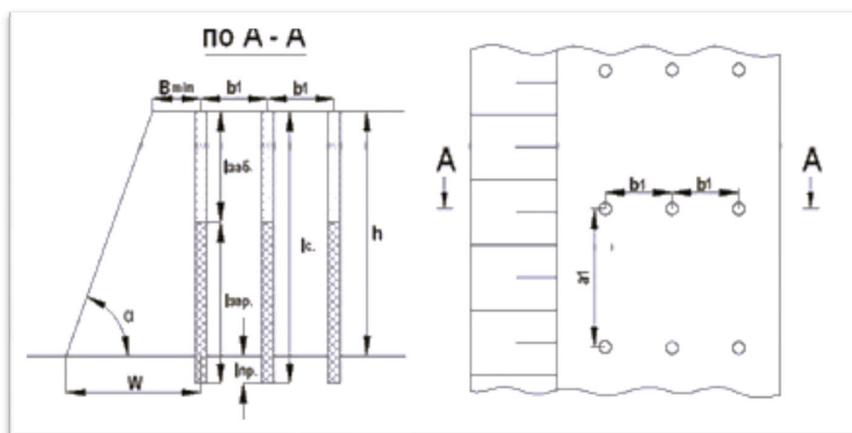


разработвания скален масив. След оценка на геологията се избира работния диаметър на сондажите и сондажната мрежа в която ще се изпълняват. Сондажните мрежи в рудник „Елаците“ се изпълняват в шахматна конфигурация с цел да се осигури по-добра енергийна ефективност при инициране на зарядите от взривно вещество.



Фиг.2. Шахматна конфигурация на сондажна мрежа в която се изпълняват сондажи с $d=165\text{ mm}$ (контурни, буферни, предбуферни) и сондажи с $d=250\text{ mm}$ (производствени)

Основни параметри при изготвянето на паспорта за ПВР са: линия на най-малкото съпротивление (W), диаметър (d_c) и дълбочина (l_c) на сондажа, маса (Q) и конструкция на заряда, разстояние между редовете (b) и между сондажите в ред (a).



Фиг.3. Параметри на ПВР при стъпално взриваване с колонкови заряди във вертикални сондажи; a – разстояние между взривните сондажи в ред; b – разстояние между редовете сондажи; W – линия на най-малко съпротивление (ЛНС); h – височина на стъпалото; l_c – дължина на сондажа; $l_{зар}$ – дължина на заряда; $l_{пр}$ – дълбочина на преудълбаване; $l_{заб}$ – дължина на забивката; α – ъгъл на откоса на стъпалото; b_{min} – разстояние от устието на сондажа до горния ръб на откоса на стъпалото;

Сондажите в рудник „Елаците“ се изпълняват на работни стъпала с проектна височина $H=15\text{ m}$. Преудълбаването на сондажите е $l=2\text{ m}$. Така проектната дълбочина на сондажите е общо $H=17\text{ m}$. Прилаганите сондажи с $d=250\text{ mm}$ са предимно вертикални. Параметрите на прилаганите сондажи



мрежи са в зависимост от това дали зоната на сондиране е с доказано съдържание на руда. В табл. №2 са представени параметрите на сондажна мрежа в зона на сондиране с доказано съдържание на руда.

Таблица №2.

Диаметър на сондажа, mm	Сондажна мрежа, m		Дълбочина на сондажите, m	Преудълбаване на сондажите, m	Наклон на сондажите, ...°
	между сондажите	между редовете			
250	6,5	5,5	17	2	90

С цел оптимизиране на пробивно-взривните работи са изготвени хоризонтни планове (план на отделните работни хоризонти) на находището, както и зони или участъци от скалния масив с различна податливост на скалите към сондиране и взривяване. Това дава възможност за гъвкавост при проектиране и планиране на пробивно-взривните дейности, като информацията за целите на извършваните пробивно-взривни работи, се обработва и обновява от „Маркшайдерски отдел“ в АСМО/AutoCad. Всеки проект за сондиране се създава във формат- dwg, посредством „AutoCad“. Проектните координати на взривните сондажи от изготвените проекти се импортират в системата-“ProVision” във формат- xml. След като веднъж са импортирани, операторите на сондажното оборудване могат да локализируют фактическото местоположение на всеки един сондаж от конкретния проект за сондиране. Отделните проекти за сондиране се изготвят и с индивидуален номер на проекта.

Описание на системата за високоточно позициониране- „ProVision“

Глобалните навигационни сателитни системи (GNSS), включително GPS (САЩ), GLONASS (Русия), Galileo (ЕС) и BeiDou (Китай), осигуряват позициониране с точност до сантиметри чрез RTK (Real Time Kinematic) или PPK (Post-Processed Kinematic) методи. Използват се специализирани софтуери, като: Trimble Business Center; Carlson Machine Control; Maptek BlastLogic; MineExcellence Blast Designer. Тези програми позволяват:

- Импортиране на проектни координати на сондажи
- Визуализация на сондажния план.
- Генериране на координатни файлове за полеви контролери.
- Използване на 3D модели на терена

Системата „ProVision“ е система за автоматизирано управление, предназначена да се използва от багери, сонди, челни товарачи и булдозери. В случаят при монтиране за експлоатация от сонди, спомага за:

- Подобряване на ефективността на пробиването
- Възможност за сондиране в лоши метеорологични условия (мъгла, обилни валежи/снеговалеж, силен вятър и т.н.)
- Драматично намаляване на случаите на отвори с превишаване или недостигане на проектната дълбочина
- Показване на производствен напредък в реално време, като това позволява на мениджърският екип постоянна осведоменост, относно сондажния процес
- Разширени възможности за контрол и отчитане на ефективността на пробивното оборудване и работата на всеки един оператор

Системата “ProVision” се състои от мобилни и офис приложения. Основните системни компоненти са:

- Мобилен полеви компютър, който се монтира в работната кабина на сондата и предоставя непрекъснати насоки на оператора за това къде се намира конкретен сондаж за изпълнение. Визуализира сондажния план и достигната дълбочина на изпълняваните сондажи.



- HP-GPS антени, инсталирани на сондата, за да осигурят позиционирането на сондажния инструмент върху проектните координати в реално време.
- Централен сървър, който е хранилището за цялата информация за работата на „ProVision“. Централният сървър получава данни от полевите компютри в сондите и от настолните клиентски компютри в централните офиси.
- Настолни клиентски компютри (свързани към централния сървър), които изпълняват офис приложението „ProVision“. Служителите в офиса използват помощните програми на офис приложението, за да са в пряка връзка със системата.
- WiFi радиокommunikationна мрежа за комуникация между централния сървър и полевите компютри в сондажното оборудване.

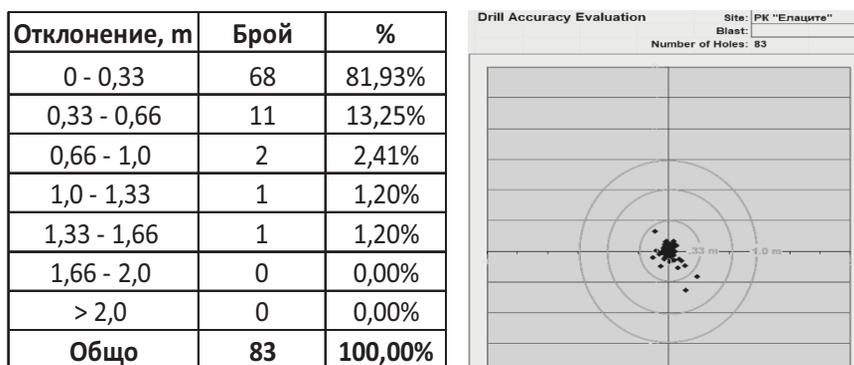
Практически резултати от внедряването на системата- „ProVision“ при изпълняване на сондажни работи в рудник „Елаците“

Използването на системата в рудник „Елаците“ започва през 2016 год. От тогава до момента се използва успешно при извършването на планираните сондажни работи. Системата е инсталирана на 4 броя сонди с работен диаметър на пробивния инструмент $d=250$ mm. С въвеждането ѝ обема на полевата работа по маркшайдерско трасиране на взривните сондажи, намаля драстично. Времето за което операторите позиционират сондажното оборудване върху проектните координати на сондажите-също. Техническите ѝ възможности осигуряват гъвкавост при стартирането на нови взривни полета, тъй като единственото което е необходимо е маркшайдерско заснемане на работната площадка за да се изготви проект за сондиране. След като бъде изготвен е достатъчно да се импортира в системата „ProVision“ за да може оператора на сондажното оборудване да пристъпи към изпълнение на новият проект.



Фиг.4. Етапи от изпълняване на взривни сондажи с ProVision. 1- изготвяне на проект за сондиране; 2- изготвяне на xml-файл за импортиране в системата; 3- импортирано взривно поле в процес на изпълнение.

Освен редуциране на технологичното време за трасиране на взривните сондажи, голямо преимущество е и високата точност на изпълнение на сондажите спрямо проектните им координати. Това е важен аспект от изпълняването на сондажните работи, тъй като оказва съществено влияние върху крайният резултат от последващите взривни работи (зърнометричен състав на взривената минна маса и процентно съотношение на некондиционните скални късове, използвани количества взривни вещества и съответните за тях средства за взривяване, вредни проявления от породената сеизмична активност, остатъчни деформации в прилежащата среда и т.н.). Системата дава възможност на оператора да проследява фактическата дълбочина на изпълнение на сондажите в реално време, като това рефлектира върху възможността за пресондиране на сондажите. По този начин не се изразходва излишно количество дизелово гориво, остатъчните деформации в зоната на преудълбаване се намаляват, а ресурса на пробивните инструменти се използва целесъобразно.



Фиг.5. Анализ върху точността на фактическото изпълнение на сондажите, спрямо проектните им координати.

От фиг.5 се забелязва, че изпълнените сондажи са с отклонение от средно 15 cm от проектните координати. Отклоненията от 0,33 m до 1,66 m са в следствие на технологични проблеми или актуализации по горен ръб на работната площадка за сондиране.

При изпълняване на сондажите се отчита времето за сондиране на всеки един сондаж, като тези резултати се съхраняват в базата данни на системата. По този начин се изгражда представа за податливостта на сондиране на скалните разновидности и съответно вземането на решения по отношение на проектирането на сондажните мрежи и използваните количества взривни смеси.

Таблица №3

Взривно Поле	Хоризонт	Сонда	Работна Смяна	Начало Сондаж	Край Сондаж	Оператор-сондьор	Сондаж №	Просондирани метри, м	Време за сондиране, мин
118-2025									
	1450	2S10	2	19.6.2025 г. 20:39	19.6.2025 г. 21:02		38	17.50	23
	1450	2S10	2	19.6.2025 г. 21:08	19.6.2025 г. 21:22		39	17.50	15
	1450	2S10	2	19.6.2025 г. 21:29	19.6.2025 г. 21:42		40	17.50	13
	1450	2S10	2	19.6.2025 г. 21:45	19.6.2025 г. 21:58		41	17.50	13
	1450	2S10	2	19.6.2025 г. 22:02	19.6.2025 г. 22:18		42	17.50	16
	1450	2S10	2	19.6.2025 г. 22:23	19.6.2025 г. 22:39		43	17.50	16
	1450	2S10	2	19.6.2025 г. 22:42	19.6.2025 г. 23:36		44	17.50	54
	1450	2S10	2	20.6.2025 г. 0:13	20.6.2025 г. 0:30		45	17.50	17
	1450	2S10	2	20.6.2025 г. 0:35	20.6.2025 г. 0:54		46	17.50	20

*имената на оператора са изтрети умишлено, в предвид закона за личните данни

При аварии на сондажното оборудване или престои за зареждане с гориво или вода, оператора въвежда технологичният престой в който не се извършват сондажни работи и причините за него. Престоите поради аварии са конкретизирани по естество на аварията (електрическа, механична, хидравлична и т.н.). Това дава възможност за извършване на анализ върху престоите, поради аварии и по-конкретно от какъв вид са те. Анализирайки и индивидуалната производителност на операторите, благодарение на базата данни които генерира системата, ще получим чистата производителност на сондажното оборудване. Анализът е важен, тъй като спомага за производственото планиране на сондажните работи и съответното развитие на минно-добивните дейности.

Предимствата от използването на програмата за високо точно позициониране се конкретизират до следното:

- Прецизното разположение на отворите осигурява равномерно разрушаване на скалните породи



- Визуализация на изпълнените сондажи с коректна дълбочина, с дълбочина по-голяма от проектната, с дълбочина по-малка от проектната. Сондажите се разграничават с различно цветово индикиране: зелен- коректна дълбочина; жълт- преудълбан сондаж; червен- недостигната проектна дълбочина.
- Визуализация на обекти от особен характер (прихванати пробивни инструменти в скалния масив) в работните зони.
- Намалява се рискът от грешки при изпълняване на сондажната мрежа и последващи вторични взривове поради увеличено разстояние между сондажни заряди.
- Оптимизира се количеството използван експлозив и средства за взривяване
- Съкращава се времето за ръчно маркиране и проверка на сондажите
- Възможност за получаване на данни по отношение на скорост на сондиране
- Данните от проекта и изпълнението се архивират за последващ анализ

Заключение

Използването на програми за високо точно позициониране при изпълнение на взривни сондажи е съвременен и ефективен метод, който повишава качеството и безопасността на взривните работи. Чрез комбинацията от GNSS технологии и специализиран софтуер се осигурява максимална прецизност и контрол в целия процес – от проектирането до изпълнението.

Препоръки

- Да се инвестира в обучение на работния персонал за работа с GNSS системи.
- Да се използват интегрирани решения между проектантския и изпълнителния екип.
- Да се провежда регулярно калибриране и проверка на оборудването

Литература

1. Взривна техника и технология. Валери Митков, София 2020
2. В помощ на взривника. Никола Паунов, Борислав Барбулов, София 1989
3. Справочник на взривника. Петър Шишков, София 2019
4. Applied explosives technology for construction and mining. Sweden. Stig O Olofsson

