

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ
ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ
И МЕТАЛУРГИЯ



SCIENTIFIC AND TECHNICAL
UNION OF MINING, GEOLOGY
AND METALLURGY



МИНСТРОЙ ХОЛДИНГ АД
MINSTROY HOLDING JSCo

СБОРНИК С ДОКЛАДИ

Осма национална научно-техническа конференция
с международно участие

PROCEEDINGS

of

Eighth National Scientific and Technical Conference
with International Participation

Технологии и практики
при подземен добив и минно
строителство

Technologies and Practices
in Underground Mining and Mine
Construction

4 – 7 октомври 2022
СПА комплекс Орфей
гр. Девин

4 – 7 October 2022
Orpheus SPA Hotel
Devin, Bulgaria



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ
ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ**



СБОРНИК С ДОКЛАДИ

**Осма национална научно-техническа конференция
с международно участие**

**“Технологии и практики при подземен добив
и минно строителство”**

PROCEEDINGS

of

**Eighth National Scientific and Technical Conference
with International Participation**

**“Technologies and Practices in Underground Mining
and Mine construction”**

ИЗДАТЕЛСКИ СЪВЕТ

**проф. д-тн Николай Вълканов, д-р инж. Кремена Дедеянова,
проф. д-р Димитър Анастасов, проф. д-р Кръстю Дерменджиев,
проф. д-р Георги Михайлов, проф. д-р Павел Павлов**

Научно-технически съюз по минно дело, геология и металургия

ISSN: 1314-7056



Федерацията на научно - техническите съюзи (ФНТС) в България, е творческо - професионално, научно-просветно, неполитическо сдружение с нестопанска цел на юридически лица - съсловни организации, регистрирани по ЗЮЛНЦ, в които членуват инженери, икономисти и други специалисти от областта на науката, техниката, икономиката и земеделието. През 2015 г. ФНТС чества 130 години от учредяването си.

ФНТС обединява 19 национални сдружения - научно-технически съюзи (НТС) и 34 териториални сдружения - ТС на НТС, в които членуват над 15000 специалисти от цялата страна.

ФНТС е съучредител и член на Световната федерация на инженерните организации (WFEO). ФНТС членува и в Европейската федерация на националните инженерни асоциации (FEANI).

ФНТС е собственик на еднолично дружество с ограничена отговорност "ИНОВАТИКС" ЕООД което се занимава с инженерно-внедрителска дейност.

ФНТС издава свой собствен вестник "Наука и общество". Членове на ФНТС издават 12 научно-технически списания.

Към ФНТС функционира Център за професионално обучение, лицензиран от НАПОО - към Министерски съвет.

Основните задачи на ФНТС са:

- Да утвърждава организацията като активен член на гражданското общество, да съдейства за повишаване общественото влияние и престижа на българските инженери, икономисти, специалисти в земеделието, техници, учени и изобретатели.
- Да стимулира и насърчава творческата активност и постижения на своите членове, както и да защитава професионалните им интереси.

ФНТС, съвместно с националните и териториалните сдружения, организира годишно повече от 600 научно - технически мероприятия: конференции, симпозиуми, семинари, дискусии и др.

Нашият Дом на техниката се намира на ул. Г. Раковски 108, в гр. София.

Повече информация ще намерите на www.FNTS.bg.

**Уважаеми дами и господа,
Уважаеми колеги,**

От името на Организационния комитет ви поздравяваме с вашето участие в **Осмата национална научно-техническа конференция с международно участие на тема “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”**, 4 - 7 октомври 2022 г. в СПА комплекс “Орфей”, гр. Девин.

Организирането и провеждането на този традиционен научен форум от над 15 години доказва значението му за минерално-суровинната индустрия.

В тазгодишната конференция можете да се запознаете, както с постиженията в науката, така и с иновативни решения, приложени в индустрията.

Надяваме се, че тематичните направления ще предизвикат отново Вашия интерес за представяне на доклади с научно-практическо значение и провокират дискусии за намиране на решения в подземния добив и минното строителство.

Вашето участие ще допринесе за успеха на **Осмата национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”** и се надяваме да създадете нови бизнес и лични контакти, полезни за вас.

Желаем на всички вас здраве и професионални и лични успехи!

Добре дошли в предлагащия прекрасни условия СПА хотел “Орфей”, гр. Девин!

Председатели на Организационния комитет:

проф. дтн инж. Николай Вълканов

д-р инж. Кремена Дедеянова

ГЛАВНИ ОРГАНИЗАТОРИ



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ
ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ**



"МИНСТРОЙ ХОЛДИНГ" АД

СЪОРГАНИЗАТОРИ



**Федерация на научно-техническите съюзи в България
Българска минно-геоложка камара
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Сдружение на взривните инженери в България**

Министерство на енергетиката

Министерство на икономиката

Министерство на околната среда и водите

"Асарел-Медет" АД

"Геосол" АД

"Геотехмин" ООД

"Гипс" АД

"Горубсо – Мадан" АД

"Дънди Прешъс Металс Челопеч" ЕАД

"Дънди Прешъс Металс Крумовград" ЕАД

"Елаците Мед" АД

„Ескана Инвест 96" АД

"Лъки Инвест" АД

"Метрополитен" ЕАД

"Мини Марица-изток" ЕАД

"Минпроект" ЕАД

"Нипроруда" АД

"Орика Мед България" АД

"Родопи еко проджектс" ЕООД

"Рудметал" АД

С МЕДИЙНОТО ПАРТНЬОРСТВО НА

сп. "Минно дело и геология"

сп. „Геология и минерални ресурси"

в-к „Наука и общество"

в-к „Рудничар"

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

Председатели:	д-р инж. Кремена Дедеянова проф. д-р инж. Николай Вълканов
Почетен председател:	проф. д-р инж. Цоло Вутов
Зам. председатели:	д-р инж. Владимир Вутов проф. д-р Ивайло Копрев проф. д-р Славейко Господинов проф. д-р Илия Гърков инж. Щерьо Щерев
Научен секретар:	доц. д-р Петър Шишков

ЧЛЕНОВЕ

инж. Борис Гиздов	„Трейс Рисорсиз“ ЕООД
арх. инж. Валентин Трашлиев	"Евро алианс инженеринг" АД
проф. д-р Валери Митков	Сдружение на взривните инженери в България
инж. Велислав Калчев	"Булекспортконсулт" ЕООД
проф. д-р Георги Стоянчев	"Рокщал-Н" ЕООД
инж. Данчо Тодоров	"Нипроруда" АД
инж. Делчо Николов	"Асарел Медет" АД
инж. Драгомир Драганов	"Елаците Мед" АД
инж. Елена Филипова	"Ескана инвест 96" АД
инж. Иван Богданов	МДЗ "Балша" АД
инж. Иван Кожухаров	"Евротест-контрол" ЕАД
инж. Илза Чинкова	"Мини Марица Изток" ЕАД
инж. Илия Горанов	"Булмак 2016" ДООЕЛ" - С. Македония
инж. Красимир Паскалев	"Пневматика - Серта" АД
инж. Митко Младенов	"Рудметал" АД
инж. Нейчо Нейчев	"Лъки Инвест" АД
доц. д-р Никола Добрев	"КЦМ" АД
Ружа Бодурова	"Родопи Еко Проджектс" ЕООД
инж. Румен Биков	"Минпроект" ЕАД
инж. Румен Цонев	"Холдинг КЦМ 2000" АД
инж. Сергей Атанасов	"Горубсо - Мадан" АД
проф. д-р Стоян Братоев	"Метрополитен" ЕАД

КОНСУЛТАТИВЕН СЪВЕТ

проф. д-р Димитър Анастасов	– Председател
проф. д-р Кръстю Дерменджиев	– Зам. председател
инж. Неделчо Бонев	– Зам. председател
проф. д-р Валентин Велев	– България
инж. Георги Лисев	– България
проф. д-р Георги Михайлов	– България
доц. д-р Захари Динчев	– България
д-р инж. Николай Георгиев	– България
проф. д-р Павел Павлов	– България
проф. д-р Станислав Топалов	– България
проф. д-р Яни Бакалбаши	– Албания
акад. Виктор Прушак	– Беларус
проф. д-р Зоран Десподов	– С. Македония
проф. д-р Ристо Дамбов	– С. Македония
проф. д-р Витомир Милич	– Сърбия
проф. д-р Тургай Онарған	– Турция
доц. д-р Сергей Чухарев	– Украйна

ТЕМАТИЧНИ НАПРАВЛЕНИЯ

- А. Иновативни технологии и практики при подземния добив и минното строителство. Руднична геология.
- Б. Минно, тунелно и метро строителство.
- В. Маркшайдерско осигуряване на технологичните процеси при подземния добив и строителството.
- Г. Геомеханично осигуряване при подземни минни работи и строителство.
- Д. Технологии и практики при взривните работи.
- Е. Безопасност на труда. Вентилация и климатизация. Икономически и социални аспекти при подземния добив и строителството.
- Ж. Минерални технологии, рециклиране на минерални суровини и опазване на околната среда.
- З. Зелена сделка. Кръгова икономика.
- И. Квалификация и реализация на кадри в подземния добив и строителството.

СЪДЪРЖАНИЕ

1	СОФТУЕР ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА РУДНИТЕ ЗАПАСИ В РУДНИК „ЧЕЛОПЕЧ“	1
	Георги Лисев	
2	ПОДЗЕМЕН ДОБИВ НА СКАЛНО-ОБЛИЦОВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ	5
	Надежда Стойчева, Петър Шишков	
3	УСВОЯВАНЕ НА ПЛАНЕТАРНИ И АСТЕРОИДНИ РЕСУРСИ	14
	Кръстю Дерменджиев, Георги Стоянчев	
4	БЪДЕЩЕ ЗА РУДНИК „ЧЕЛОПЕЧ“. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА РУДНИЧНАТА ИНФРАСТРУКТУРА ЗА ДРУГИ ДЕЙНОСТИ	17
	Кръстю Дерменджиев, Георги Стоянчев, Милчо Милчев	
5	СПИРАЧНИ УСТРОЙСТВА ЗА РУДНИЧНИ ПОДЕМНИ УРЕДБИ	21
	Живко Илиев	
6	СЪВРЕМЕННИ ПОДХОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ГРАНИЦИТЕ НА ПОДЗЕМНИ РУДНИЦИ	27
	Кирил Куцаров, Димитър Кайков, Данаил Терзийски	
7	ASSESSMENT OF ROCK MASS STABILITY AS A FACTOR IN SELECTING AN OPTIMAL MINING TECHNIQUE	35
	G. A. Mihaylov	
8	ПОВИШАВАНЕ НА ИНТЕРМОДАЛНОСТТА НА ГРАДСКИЯ ТРАНСПОРТ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕТО НА III-ТИ МЕТРОДИАМЕТЪР НА МЕТРОТО В ГР. СОФИЯ	43
	Борис Василев	
9	ФАКТОРИ, ОБУСЛАВЯЩИ ОГНЕУСТОЙЧИВОСТТА НА ТУНЕЛИ СЪС СТОМАНОБЕТОННА ОБЛИЦОВКА	49
	Николай Жечев, Хрисимир Христов, Рафаил Рафаилов	
10	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТТА НА СТОМАНОБЕТОННИ ТУНЕЛИ	56
	Николай Жечев, Хрисимир Христов, Рафаил Рафаилов	
11	ГЕОДЕЗИЯТА – РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ	68
	Славейко Господинов, Виктор Савиних, Виктор Цветков	

12	ОТНОСНО СЪЗДАВАНЕТО НА СПЕЦИАЛИЗИРАНИ КАРТИ ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА НАХОДИЩА	72
	Милена Бегновска, Радослав Сираков	
13	АНАЛИЗ НА ВРЕМЕВО ОБУСЛОВЕНИТЕ ПРЕМЕСТВАНИЯ НА ДИСКРЕТНИ ТОЧКИ ОТ СТЕНАТА НА ЯЗ. „ЗЛАТОГРАД“	81
	Кремена Щерева, Иван Пеев, Марко Марков	
14	МАРКШАЙДЕРСКО ОСИГУРЯВАНЕ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ВЕРТИКАЛНА ШАХТА „ВЪРБА-1“, РУДНИК „ВЪРБА-БАТАНЦИ“, „ГОРУБСО – МАДАН“ АД	88
	Ива Чавдарова, Десислава Атанасова - Венкова, Александър Цонков	
15	ИЗГРАЖДАНЕ И НАБЛЮДЕНИЕ НА КОНТРОЛНО-ИЗМЕРВАТЕЛНА СТАНЦИЯ В ГЛАВНА ИЗВОЗНА ГАЛЕРИЯ В У-К „КРУШЕВ ДОЛ“, „ГОРУБСО-МАДАН“ АД	97
	Десислава Атанасова-Венкова	
16	НЯКОИ РЕЗУЛТАТИ ОТ АНАЛИЗ НА НОРМАТИВИТЕ ЗА МАРКШАЙДЕРСКО ОСИГУРЯВАНЕ В Р-К „ЧЕЛОПЕЧ“	103
	Сергей Михалев, Станислав Топалов	
17	ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА ДОПЪЛВАЩА МЕТОДИКА ЗА ИЗМЕРВАНЕ, ОПРЕДЕЛЯНЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ДАННИТЕ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННИ ИЗМЕНЕНИЯ НА ЗЕМНО-НАСИПНА СТЕНА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ	110
	Недко Тодоров	
18	МОНИТОРИНГ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ ПРИ КАРИЕРИ В БЛИЗОСТ ДО ИНФРАСТРУКТУРА	118
	Николай Жечев, Хрисимир Христов, Стоян Джамбазов, Рафаил Рафаилов	

СОФТУЕР ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА РУДНИТЕ ЗАПАСИ В РУДНИК „ЧЕЛОПЕЧ“

инж. Георги Лисев

Дънди Прешъс Металс Челопеч, България, georgi.lisev@dundeeprecious.com

ABSTRACT

The paper offers a brief definition of the concept of using „Mineable Shape Optimizer“ and presents the basic requirements, parameters and controls to improve the quality of the results. It is also, focused on the type of main output data and the effect to the long-term planning and mining works in Dundee Precious Metals Chelopech EAD.

I. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Цените на металите се движат с различна динамика. Всяко значително, шоково събитие влияе на пазарите. Такъв е и случаят със ситуацията в Украйна от края на февруари 2022г. Причината за скока на цените на металите бе в презапасаването с метали. Прогнозите за срив в предлагането не се оправдаха и се стигна до връщане на цените обратно до нива от преди конфликта.[2]

Всички тези събития се отразяват пряко върху работата на миннодобивните компании, което налага те да извършват бързи и адекватни корекции на своите прогнози за развитието на минните работи и финансовото си състояние. Вземането на стратегически решения изисква бърза и точна оценка на рудните запаси, с които компаниите разполагат.

Цените на металите пряко се отразяват на икономическите граници и обеми на рудните тела, което налага актуализация на запасите и дългосрочните прогнози.

Моделирането на запасите в рудник „Челопеч“ е сложен процес, който се основава на информацията от геоложкия блоков модел, системата на разработване на находището, геомеханичните характеристики на добивните блокове, актуалното състояние на минните работи, правилата за безопасност и стратегическите цели на компанията.

Бързото обработване на информацията налага използването на софтуерни решения за автоматично моделиране и оптимизиране на добивните камери.

II. СОФТУЕРНО ОПТИМИЗИРАНЕ НА ФОРМАТА НА ДОБИВНИТЕ КАМЕРИ

Дигитализацията на процесите на планиране на минните работи и повишената производителност, и капацитет за компютърна обработка направиха инструментите за компютърно планиране по-достъпни и използвани, което дава възможност за оценка на повече сценарии и подкрепя избора на дизайн избран от инженера.

В края на 2021г. беше въведен минният софтуер Mineable Shape Optimizer (MSO) за автоматично оптимизиране на добивните камери при изготвянето на запасите в рудник „Челопеч“. MSO е широко признат, като стандартния за индустрията софтуерен инструмент за генериране на оптимизирани добивни камери. Софтуерът в момента се разпространява чрез Datamine, Deswik и Maptek доставчици на минни софтуери. Произходът му обаче е в алгоритъма „Stope Shape Optimiser“, разработен от Alford Mining Systems (AMS), които за първи път са комерсиализирали софтуера през 2011 г. AMS описва MSO като "стратегически инструмент за планиране на рудници, който автоматизира дизайна на добивните камери и има голям набор от минни методи за разработване на полезни изкопаеми. Използването на ограничения, като минни методи и дизайн параметри MSO осигурява оптималната форма на добивните камери за максимално увеличаване на икономическата стойност на изземваните рудни тела.

Използването на MSO оказва забележително въздействие върху процеса на планиране на минните дейности, като предоставя значителни възможности за подобряване на стойността на продукцията. Дава възможност за оценка на рентабилността на незначителни към даден момент проекти и набелязване на бъдещи минни зони, към които да се насочват проучвателните дейности и минните работи.

Геоложкият блоков модел на минералните ресурси е основният източник на данни, който MSO софтуера използва. Въпреки това се изискват няколко други технически и икономически параметъра, и те обикновено се нуждаят от предварителна подготовка/обработка, за да се гарантира, че са достатъчно надеждни за използване в процеса на оптимизиране. (фиг.1)



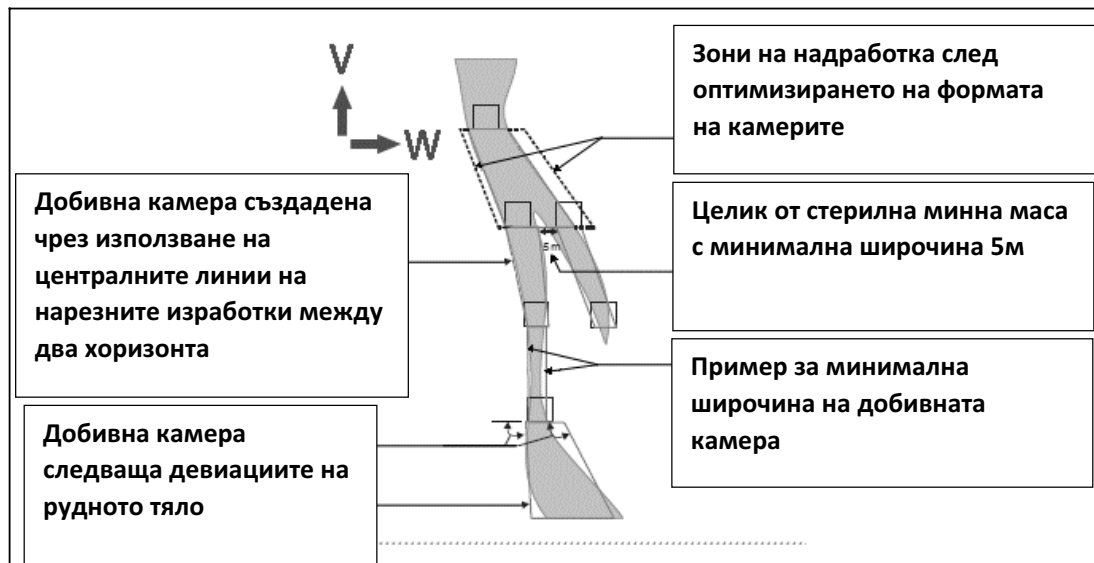
Фиг.1 Геоложки блоков модел

Ключовите входни данни са свързани с геометрията на камерите, произтичащи от геомеханичните условия и оценка, планираните загуби и обедняване, бортово съдържание и стойности, като нетни приходи (Net smelter return-NSR).

Изготвянето и оценката на тези параметри изисква известно време и се нуждае от тясно взаимодействие с други технически отдели, като например структурни и ресурсни геолози, геомеханици, финансови и други корпоративни екипи с цел интегриране на информацията за разходите, приходите и стратегическите цели на компанията.

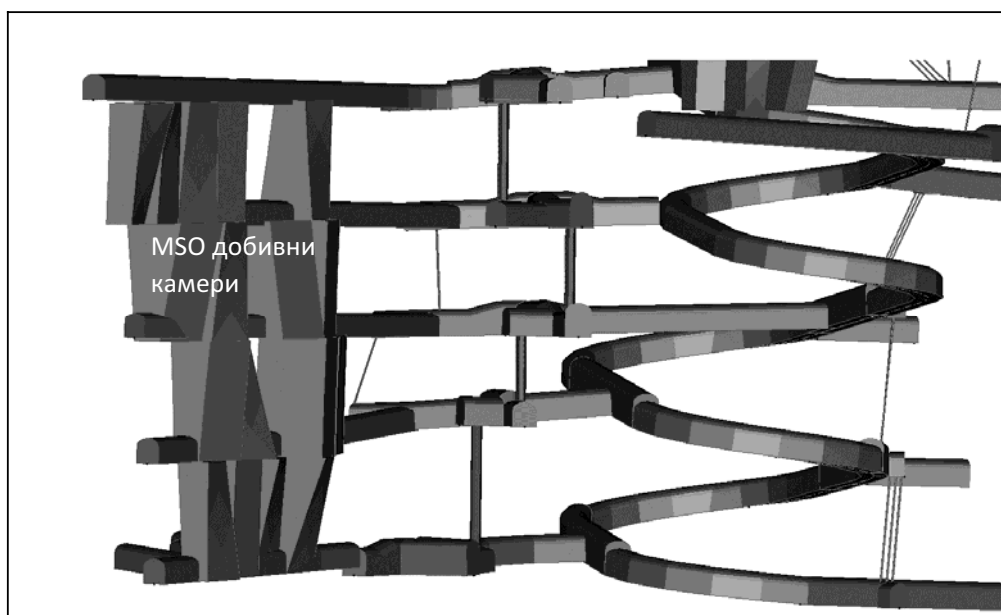
Макар и сравнително лесен за настройка, и получаване на бързи резултати, опитът на минните инженери, работещи с този инструмент за планиране, винаги е от първостепенна важност.

Генерираните от MSO изходните данни са оптимизирани триизмерни обекти на добивните камери, специфични напречни разреза на камерите във формата на затворени линии и доклади за обемите и съдържанията на полезен компонент, както и специфични данни за всеки един сценарий. Тези резултати предоставят ценна информация за минния инженер и съдействат за разбирането на оптималните и икономически размери на добивните камери в дадено рудно тяло за по-малко време и с по-голяма точност в сравнение с ръчното проектиране на добивните камери. (фиг.2).



Фиг.2 Форма на камерите след процеса по оптимизация. Изходни данни. [4]

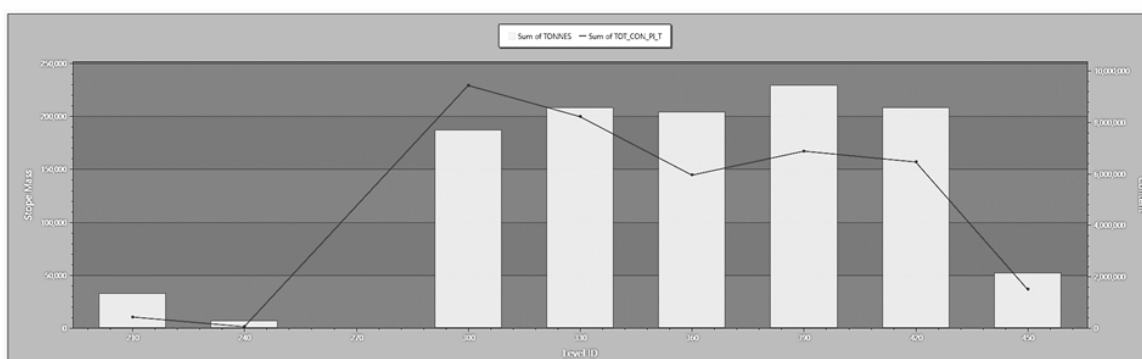
Обикновено се констатира, че лошото качество на изходните данни са резултат от качеството на входящите данни и избора на неподходящ дизайн, и ограничаващи параметри. Особено внимание следва да се обърне на параметрите на геоложкия ресурсен блоков модел, като размер на клетките и подклетките, завъртане по оста (ако има такова) и методите за оценка. Размерите на клетките и подклетките на блоковия модел трябва да бъдат съобразени с променливата дебелина на рудните тела, минимална ширина на добив и ориентацията на нарезните изработки за да се осигури адекватна и практически изпълнима форма на добивните камери. Това е баланс между използваемостта и точността на процеса на оптимизиране. По-малките размери на клетките и подклетките създават много големи файлове, които могат да затруднят работата на програмата. При по-големите блокови модели използването на голям брой подклетки може да не осигурява непременно по-голяма точност и това може да окаже въздействие върху нивото на достоверност, което изследването има за цел да постигне.



Фиг.3 Добивни камери генерирани с MSO.

Създадените от MSO триизмерни обекти представляват добивните камери, които отговарят на всички входни критерии и са над зададеното бортово съдържание. Чрез оценката на алтернативни сценарии се определят зони за възможен добив при различни бортови съдържания и техният икономически потенциал. Тези добивни камери се използват, като основа във всички фази на планирането – от етап проучване (концепция, осъществимост) до операции, като подробен дизайн на рудника, стратегическо (дългосрочно) планиране, както и предоставяне на информация за краткосрочното планиране на производството. (фиг. 3)[1].

MSO дава възможност за представяне на разумна икономическа перспектива за добивните работи, като критерий за оценки на минералните ресурси, възможности за подобрение на експлоатационните блокови модели за контрол на съдържанието, подпомага надлежната проверка на рудните запаси, както и оценка на въздействията от обедняването на рудата (фиг.4).



Фиг.4 Примерни резултати за разпределението на запасите по хоризонти в добивен блок

Във всички случаи се изисква "опитно око" за преглед на изходните данни от MSO, за да се гарантира, че са осигурени практически и съдържателни тълкувания, които добавят стойност и точност към процесите на планиране и оценка.[3]

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

MSO е доказано ценен инструмент за планиране, който може да подпомогне минните инженери да създадат оптимизирани планове на минните проекти и да допринесат за ефикасния напредък на минните проучвания чрез бързо определяне на формата на добивните камери. Софтуерът може да се използва и за бърза оценка на потенциалните въздействия върху производството при промяна на предположенията в минните планове и за тестване чувствителността и достоверността на дадена операция или проект при всякакви сценарии.

Библиография:

1. Howard L. Hartman -SME Mining Engineering Handbook-Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado – 1992
2. www.bloombergtv.bg- Цени на металите.
3. www.srk.com - Nuno Castanho -MSO.
4. Datamine- MSO service manual- MSO - Key Geometry Parameters.

ПОДЗЕМЕН ДОБИВ НА СКАЛНО-ОБЛИЦОВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

Надежда Стойчева¹, Петър Шишков²

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

²Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София
peter.shishkov@mgu.bg ; n.stoycheva@mgu.bg

РЕЗЮМЕ

За традициите в подземният добив на оразмерени каменни блокове свидетелстват редица исторически документи, както и намерени древни добивни изработки по различни точки на света. Безспорен факт е, че към днешна дата откритият способ е най-популярната практика за добиване на скално-облицовъчни материали. Една от основните причини за това е свързана с по-ниските производствени разходи при открита експлоатация отколкото при подземна. За по-ниската стойност допринася комбинация от геоложки и технически фактори – относително малката мощност на пластовете разкривка и преимущественото развитие на технологии, които често могат да се използват само на открито. Понастоящем, общите разходи за добивни дейности следва да бъдат преразгледани, поради нарастващия брой и видове ограничения през последните години. Във все повече държави възниква натиск, породен от екологичните и от техническите ограничения за намаляване броя на откритите кариери и за насърчаване на подземната експлоатация.

Ключови думи: добив на декоративен камък, подземен добив, скално-облицовъчни материали, каменорезни машини, прецизни взривни работи.

UNDERGROUND EXCAVATION OF ROCK-CLADDING MATERIALS

Nadezhda Stoycheva¹, Petar Shishkov²

¹University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; n.stoycheva@mgu.bg

²University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; peter.shishkov@mgu.bg

ABSTRACT

A number of historical documents, as well as ancient excavations found in different parts of the world, testify to the traditions in the underground extraction of dimension stone blocks. It is an indisputable fact that currently the open pit method is the most popular practice for extracting rock facing materials. One of the main reasons for this is related to the lower production costs in open pit operation than in underground. A combination of geological and technical factors contributes to the lower value - the relatively low thickness of the overburden layers and the predominant development of technologies that can often only be used outdoors. Currently, the total cost of mining activities needs to be reviewed due to the growing number and types of constraints in recent years. In more and more countries, pressure is arising from environmental and technical constraints to reduce the number of open pits and to promote underground mining.

Key words: mining of decorative stone, underground mining, rock facing materials, stone cutting machines, precision blasting.

1. Общи аспекти

Подземната експлоатация на оразмерени камъни има древен произход. Открити са доказателства за такава дейност повече от хиляда години преди Христа - в някои египетски кариери, монументален мрамор на остров Парос в Гърция, подземни кариери в италианските карстови варовици от римската епоха и др. Вероятно липсата на технически възможности при древните каменоломни за премахване на дебели откритни слоеве е предопредила в тези ситуации скалните участъци с най-добри качества буквално да се изземват в дълбочина „по жилата“. Днес, въпреки техническите затруднения и по-високите първоначални разходи (Таблица 1), може да се изтъкнат много причини за преориентиране към подземен добив на скално-облицовъчни материали (СОМ). На първо място, структурното състояние на скалното тяло може да направи дадена открита кариера проблемна, поради високото

повърхностно раздробяване или поради появата на неизползваеми слоеве, покриващи обработваемата част. Ако общото състояние на скалната маса е подходящо, селективната експлоатация позволява да се добиват предимно най-здравите материали с по-висок общ добив на блокове [Копрев 2016]. Понякога откритата кариера може да създаде и проблеми, свързани с рационалната експлоатация на скалното находище, което е ценен и ограничен природен ресурс. Например, когато свободните площи са малко и разрешените места за добив са строго определени, откритите изкопи могат да доведат до неприемливи ситуации, както от техническа гледна точка, така и от гледна точка на безопасност - твърде дълбоки котловани и потенциално нестабилни откоси. Елиминирането на разходите, свързани с отстраняването на откритката и общото намаляване на материалите, които се депонират в отпадъчните насипища, със сигурност са положителни аспекти, към които трябва да се добавят и редуцираните въздействия върху ландшафта и околната среда в района. [Павлов П., Банов М.]. Важно предимство е, че подземните операции могат да се извършват независимо от метеорологичните условия, като се избягват непродуктивни спирания. Създадените при изземването на суровината широки камери е икономически целесъобразно да бъдат запълнени с отпадъчните скали в края на експлоатацията. Такава операция би могла да помогне за дългосрочната стабилност на минните изработки и да допринесе за драстично намаляване на визуалното въздействие на насипите около кариерите.

При прилагането на подземния добив, следва да се вземат предвид различните обременяващи аспекти при прокарването и мониторинга на изработките. Очевидно трябва да се гарантира дългосрочна стабилност на изработките, изискваща подходящи геомеханични проучвания и проектиране, наблюдение и намеса в хода на дейностите, които не могат да бъдат обвързани само с опита (или понякога безотговорността) на работниците. По-високите разходи в ранните етапи на отварянето трябва да бъдат оценени, като се има предвид също, че част от потенциално експлоатируемия материал трябва да бъде оставена в целици (стълбове). Освен това не трябва да се пренебрегва необходимостта от осветителни и вентилационни системи в подземните рудници, в зависимост от проблемите с безопасността и здравето, които обикновено се усложняват при работа в затворени пространства [Vasileva, T, Mitev, I, Balev, V., 2021].

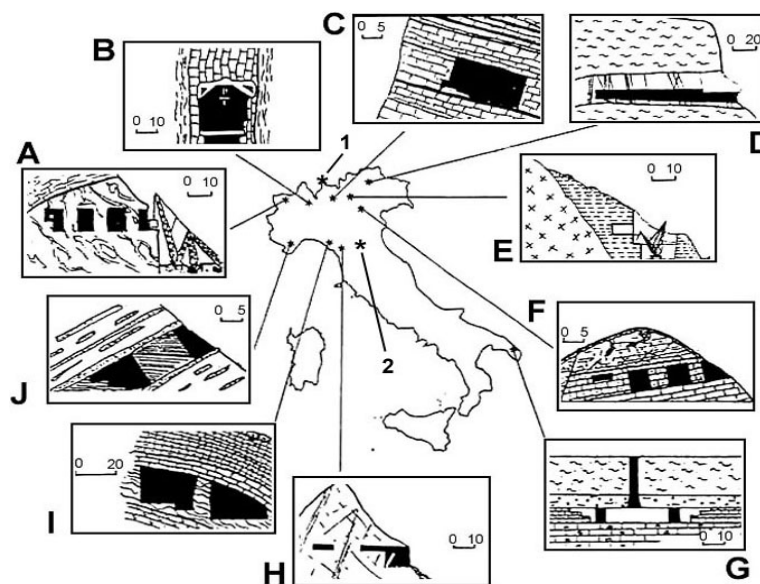
Таблица 1. Основни предимства и недостатъци при подземния добив на каменни блокове за скално-облицовъчни цели.

Мотиви	Положителни аспекти	Отрицателни аспекти
<i>Характеристики на скалното тяло</i>	- възможности за по-лесно изпълнение на селективен добив; - при невъзможност за открит добив	- по-точно проучване и геотехнически изследвания; - затруднения при характеризиране на скалното тяло; - възможни усложнения по време на експлоатацията на находището (наличия на разломни зони, подпочвени води, и т.н.)
<i>Технически и оперативни</i>	- липса на проблеми със стабилитета на откосите; - възможност за работа независимо от метеорологичните условия	- подробни предварителни проучвания; - анализ на устойчивостта на изработките и оразмеряване на крепежите; - нужда от квалифициран ръководен състав с подземен опит.
<i>Икономически</i>	- избягва се отстраняването на разкривката - намаляване количеството на отпадъчния материал – възможност за депонирането му в изчерпаните забои; - понижаване на рехабилитационните разходи; - възможност за икономии при повторната употреба на старите изработки; - почти непроменено състояние на повърхностния почвен слой.	- по-висока цена на проекта; - по-висока себестойност и по-слаба продуктивност в началните етапи на добива; - по-големи инвестиции; - разходи за възможни системни мероприятия по крепене на изработките.
<i>Екологични</i>	- по-малко визуално въздействие; - понижаване на количествата скална маса за депониране; - възможност за добив дори в защитени зони;	- възможни проблеми на стабилитета в дългосрочен план - възможно пресичане на подпочвени води

2. Примери от чуждестранния опит в подземния добив на СОМ.

Вследствие както на екологичните, така и на техническите ограничения, натискът върху индустрията за намаляване на откритите кариери и за насърчаване на подземната експлоатация в развитите страни ще става все по-голям. Към настоящият момент, подземния добив е приложим основно за „меки скали“ като мрамор, варовик и шисти. За да стане икономически приемлив при „твърдите скали“, са необходими серия от технологични подобрения [Mancini et al. 2001]. Известно е, че към днешна дата в Европа се добиват различни относително меки скали: розови мрамори и кафяви варовици в Португалия, шисти в Обединеното кралство, Франция и Италия, жълти варовици в Хърватия. В Италия по подземен способ се добиват различни лито типове (Фигура 1). Възприетите технологии са с верижни каменорези и с диамантено-въжени резачки.

Понастоящем се открива информация само за няколко експериментални подземни кариери в твърди скали. В тях са приети различни технологични решения, като например една гранитна кариера в Япония е разработена посредством резачки с водна струя и диамантени въжета [Agus et al. 2000]. Подземната кариера за син кварцит в Бразилия използва само диамантено-въжени резачки. Кариерата за подземен добив на зелен кварцит в Италия експериментира диамантено-въжени резачки, комбинирани с динамично разцепване чрез взривяване. В Швейцария има подземна кариера за гнайс, която използва само експлозиви.



Фиг. 1. Основни италиански подземни кариери за добив на скални блокове за декоративно-облицовъчни и монументални цели (Fornaro, Lovera): А) Зелен офикацит от долината Аоста; В) Кардолия розов мрамор; С) Бреча Оробика; D) Ласа бял мрамор; Е) Конгломерат от езерото Изео; F) Арезен варовик от Виченца; G) Туфов варовик от Лече; H) Мраморни и каменни басейни от Карара и Кардозо; I) Порторо черен мрамор; J) Шисти от Лигурия. Локацията на двата казуса е обозначена със звездичка: 1) Зелен кварцит от долината Сплуга; 2) Пиетра Серена от Фиренцуола.

3. Подземен добив на скално-облицовъчни материали в България

Към настоящия момент единственият подземен рудник с валидна концесия за добив на оразмерени скални блокове за декоративно-облицовъчни и монументални цели “Изгорелица” се намира на около 1,2 km югозападно от село Басарбово, общ. Русе. Находището за добив на известният русенски варовик е разположено в едноименната местност и е в непосредствена близост до долното течение на река Русенски Лом. То се разработва от дружеството “Скални материали” АД. Районът на местонахождението се намира в Североизточна България и се отнася към Мизийската платформа. Установените най-стари по възраст скали са отложения на долната креда, барема и апта. В района на Басарбово се наблюдават само най-горните хоризонти на апта. Пълен профил на тези хоризонти е разкрит от двата бряга на река Русенски Лом.



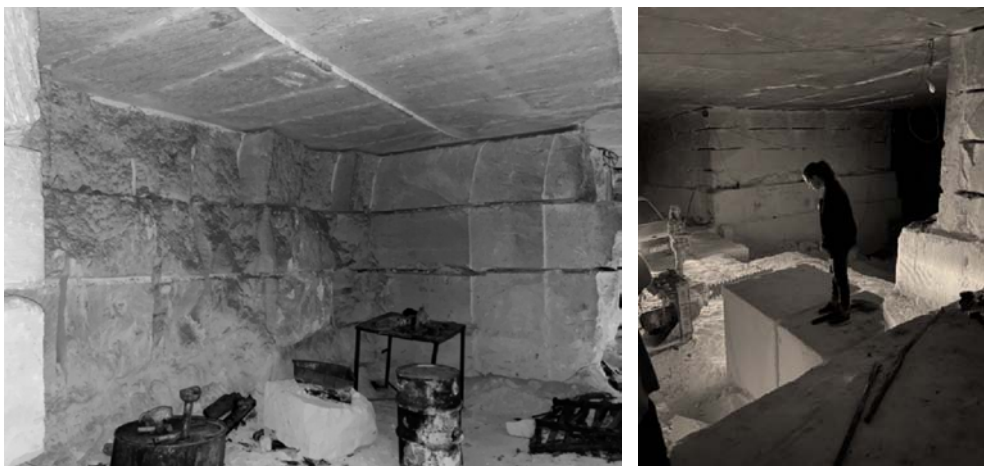
Фиг. 2. Входа на подземният рудник за добив на скални блокове "Изгорелица"

Геологопроучвателните работи за рудника са проведени през 1971-1976 г. През 1984 г. се прави допроучване на находище Басарбово - участък Югозападен, с което се доказват запаси от 7359,2 хил. m^3 и вероятни запаси около 1746,00 хил. m^3 от меки органиогенни варовици. Твърдостта на варовика е 3 по класификация на МООС. Якостта на натиск във въздушно сухо състояние се движи от 86 до 125 kg/cm^2 . Горнището е устойчиво – представено е от твърди органиогенни варовици. Промисленият пласт, в който се извършват добивните работи е предоставен от дребнодолинен бял до кремаво-бял варовик, който е твърде мек, лесно се реже с трион и е широко известен у нас, като материал за външна облицовка. Мощността на експлоатирания пласт варира от 2 до 13 m (средна мощност 6 m). Той се намира на 50 – 60 m под повърхността и естествено и е естествено разкрит от левия бряг на река Русенски Лом (фиг. 2). Над него заляга едрочерупчест варовик, който се явява като маркиращ хоризонт при експлоатацията на полезното изкопаемо.



Фиг. 3. Щолнята на рудник за добив на скални блокове "Изгорелица" с гатерното отделение и водохранилище – утаител за технологична вода

В промисления пласт е прокарана щолня, която служи за транспорт на готова продукция, доставка на машини и материали на забоите, и вентилация (фиг. 3). Тя е с максимална широчина 11 m по направление и дължина до границата на промисления пласт. Напречно на щолнята са прокарани добивните камери с ширина до 11 m. Разположени са шахматно с регулярни целици. Дължината им е до завършване на промисления варовик.



Фиг. 4. Общ вид на подземните забои за добив на скални блокове в рудник “Изгорелица”

При разработването на находището е приета камерно-стълбова система, с оставяне на опорни целици от полезното изкопаемо. Камерите се прокарват с ширина от 5,5 до 11 m в зависимост от минно-геоложките особености на месторождението и височината 3,2 - 3,5 m - съобразно габаритите на каменорезните машини.



Фиг. 5. Каменорезни машини “Корфман” СТ 100 в добивните камери на подземния рудник за русенски варовик

Добива на блокове русенски варовик се извършва с комплект каменорезни машини “Корфман”: 1 бр. СТ – 100 хоризонтал, 1 бр. СТ – 100 вертикал и една машина СТ – 55 (фиг. 5). Обикновено се нарязват пет хоризонтални и седем вертикални ряза. При това положение блоковете са с освободени повърхности от пет страни и се държат само със задната си страна откъм забоя. Отбиването на така нарязаните блокове става с хидравлична ръчна помпа. Помпата се поставя в сръза между тавана и най-горния блок и се нагнетява. При достатъчно голямо налягане се откътва блок от най-горния ред. Той от своя страна действа с тежестта си върху останалите блокове под него, които също се откътват. При разчет за годишната производителност по добив на блокове 462 m³, дневната е 1,8 m³.

Рандеманът при добива на блокове русенски варовик е 65 %. Загубите, които са 35 %, се разпределят, както следва:

-14 % - са технологични. Получават се при рязане на блоковете с каменорезни машини. Тези загуби са постоянна величина.

-21 % - от загубите са по геоложки причини, така наречените “геоложки изненади”. Тази загуба е променлива величина.

Загубите в целици, които не са включени в горепосочените са около 28 % [Презентация на „Скални материали” АД – Русе, 2022]



Фиг. 6. Подземен сектор за преработка и гатерно отделение на рудник “Изгорелица”

Характерна особеност на този рудник е, че преработката на добитите блокове до готови продукти за експедиция към клиентите се извършва в подземни условия (в старите изработки). По този начин се избягват вредни шумови и прахови емисии към околната среда и близките населени места. Спестяват се транспортни разходи от находището до външни преработвателни площадки. Биченето и обрязването на блоковете варовик се извършва в гатерното отделение на рудника и върху дискова каменорезна поточна линия. При производството на заготовки за облицовачни плочи и масиви се използват два броя гатер-чаркове собствено производство (фиг. 6), оборудвани с триони. Двата гатера работят с 2 -16 триона. Зъбите на трионите са армирани с видии. Превоза на блоковете от забоя до гатерното отделение се извършва с челен товарач. Натоварването на блоковете върху плота на гатерите става с телферен кран вътре в отделението и с ход на площадката пред него.

Рудник „Изгорелица” разполага с подземно водохранилище (фиг. 3), в което от технологичната вода се утаяват фините варовикови частици вследствие на рязането на блоковете в гатерното отделение. След изземването на суровината добивните камери се запълват с отпадъчните скали и утаените фини фракции след преработването на суровината до крайни продукти (фиг. 7). От една страна това допринася за дългосрочната стабилност на минните изработки, а от друга - води до драстично намаляване на вредните въздействия от откритите депа върху екологичните системи в района.



Фиг. 7. Процес на запълване на изчерпаните добивни камери с отпадъци от преработката на блоковете русенски варовик до готови продукти

4. Технически и технологични особености

Много аспекти оказват силно влияние върху проектирането и развитието на подземните каменни кариери. Някои от тях са следствие от геоложки и геомеханични характеристики - вида на скалата, структурата на скалната маса, топографската повърхност. Други зависят от производствени и икономически усложнения - големи размери на изработките, параметри на крепежите и др. Дефинирането на геоложкия и геотехнически набор от характеристики на района, където се предполага да се разработи находището, трябва да се основава на поредица от проучвания, които включват: повърхностно проучване на обекта, проучване на структурата на скалния масив, измерване на естественото (първично) напрегнато състояние на масива, геофизични проучвания, лабораторни изпитвания на ядрови проби. Коректно събраните данни в достатъчен обем и правилното класифициране на скалните разновидности в етапа на проучване водят до по-качествено и точно проектно решение при реализирането на добива с минимализиран риск и с минимална нужда от изменения в процеса на работа. Добрата практика изисква проучвателни дейности да продължат по време на експлоатацията и да се допълнят от система за мониторинг на скалния масив и крепежните конструкции. Такава система може да работи и след приключване на дейностите за добив, за да обезпечи общата стабилност на изработките. Приетият геомеханичен модел на подземните изработки трябва да се потвърди чрез проучване на база на сондиране и геофизични методи. Особено важно е да се проведе добре планирана серия от сондиране за взимане на ядки (с минимален диаметър 54 mm). Това позволява да се събере важна информация за структурата на масива – например вида, обема и геометрията на нарушеностите, ако има такива. Тази информация позволява геотехнологична класификация на масива по различните показатели (RQD, Is, L-Hammer), които обобщават механичните свойства на скалите. Тези данни ни позволяват да използваме и методите за проектиране, които се основават на геотехнологичните класификации на скалните масиви (Q-System, RMR).

Така или иначе лабораторният анализ на обемите на пробите не може да даде прогноза за естественото поле на напреженията. Измерването му е важно в етапа на проектиране за оценка на състоянието на устойчивостта на изработката и по време на добива за проверка на вариацията на вторичните напрежения, предизвикани от дейността. Състоянието на напреженията може да бъде оценено чрез тестове за натоварване (натискомери, пресиометри, екстензометри). В противен случай се използват контролни сондажи, в които се разполагат датчиците на измервателното оборудване (цилиндрични клетки за натиск, измервателни уреди за деформация на сондаж, дву/триаксиални деформационни клетки, тензиометри). Напрежението винаги се измерва индиректно, извлечено от физически величини (премествания, деформации и др.). След като структурата на скалния масив и характеристиките на скалната матрица са правилно охарактеризирани, статичното поведение на подземните изработки може да бъде изследвано с различни методи (аналитични или числени), базирани на различни теоретични модели – на прекъсната или непрекъсната среда. Първият подход описва добре реалното поведение на скалния масив с наличието на прекъсвания (пукнатини, разломи и т.н.), които са представени от обеми в същия порядък на разглежданите. Вторият метод се използва за моделиране на ненарушени масиви, при които връзката между деформация-напрежение е непрекъсната, което позволява да се използва предпоставка за хомогенност и непрекъснатост на масива. Аналитичните методи се прилагат предимно при регулярно залягане на геоложките структури и опростена топология или за оценка на местна устойчивост на скалния масив. Числените методи се препоръчват при по-сложни случаи – да се оцени взаимодействието масив – крепеж, бързо изменящи се геоложки условия в разглежданите участъци, като позволяват да се изследва по-комплексно деформираното и напрегнато състояние на масива. Популярни числени методи са метод на крайните елементи (FEM), метод на граничните елементи (BEM), които са разработени за непрекъсната среда. За непрекъсната среда се използва Distinct Elements Methods - DEM [Oggeri 2002]. В процеса на моделиране на една и съща задача може да се използват няколко различни метода по целесъобразност. Например в предварителния етап на оценка за дадена изработка може да се използва метода на граничните елементи за определяне на промените в напрегнатото и деформирано

състояние на масива при прокарване на изработката, което да ни покаже и зоната на влияние, което ще окаже [Балев, Дачев, Митев, 2016]. След събиране на достатъчно данни за масива се създава по-детайлен модел, който се базира на метода на крайните елементи. Чрез него се прави валидация на избрания подход на прокарване и крепене [Балев, В., 2018]. Без значение от избрания метод, впоследствие моделът трябва да се валидира чрез събрания набор от измервания – да се извърши обратен анализ. Обратният анализ е необходим, за да потвърдим верността на предпоставките на модела и да имаме по-точна оценка за устойчивостта и риска. Измерванията се извършват на база на създадена система за мониторинг в зоната на подземния добив и на повърхността [Павлов П., Митев Ив., Тотев Л.]. Подобна система определя местата и вида на измерванията, които са необходими. Също така се задава и честотата и точността, с която те трябва да бъдат извършвани. Инструментите и уреди, които се използват, следят деформации, ротации (чрез геодезически методи с репери, едноточкови или многоточкови екстензометри и др.), напрегнато и деформирано състояние в масива (пресиометри, тензометрични датчици, клетки за напрегнато състояние). Тези инструменти се монтират на характерни места, които ще позволят обратен анализ, и в проблемни зони, при които мониторингът гарантира сигурност. Такива зони са силно напукани части от масива, разломни зони, портали, целици. Някои автори предлагат и иновативни методи за измерване, които се основават на акустично излъчване, рефлектометрия във времева и оптична област, интерферометрия с ниска кохерентност, както и радар [Ferrero, Iabichino, 2003].

5. Заключение бележки

Проблемите с въздействието върху околната среда създават потенциални предпоставки за изискване на допълнителни разрешения от властите за разкриване на нови находища и за усложняване на нормативната уредба за открит добив. Тенденцията в световен мащаб е под натиска на еколозите и природозащитните организации, отговорните инстанции все повече да настояват за преминаване към подземни добивни дейности. От съществено значение е да се създаде научна методология, основана на методически наблюдения и експериментални задачи, за изследване на физическите явления, свързани с откриването и управлението на каменна кариера. Целите са минимизиране на въздействието върху околната среда и на геоложкия риск, максимизиране на производствените резултати при най-ниска цена. Тясното сътрудничество между експертите по геоложки науки и минните инженери е база за устойчивото бъдеще на подземния добив на скално-облицовъчни материали.

6. Използвана литература

1. Agus. M., Bortolussi A., Ciccu R., Cuccu W., Grosso B. (2000) L'estrazione in sotterraneo dei blocchi di granito con tecnologie avanzate. In: Le cave di pietre ornamentali, GEAM, Torino, pp. 185-192.
2. Ferrero A.M., Iabichino G. (2003) Control and monitoring of stability conditions in dimension stone exploitation: methods and instruments. In: Terezopoulos N., Paspaliaris I (eds) Dimension stone quarrying in Europe and stability of quarrying operations. OSNET, Athens, pp. 61-159.
3. Fornaro M., Bosticco L. (1999) La coltivazione in sotterraneo delle rocce ornamentali. Quaderno n. 22, GEAM, Torino.
4. Fornaro M., Enrico Lovera. (2004) Geological-Technical and Geo-engineering Aspects of Dimensional Stone Underground Quarrying. Robert Hack, Rafiq Azzam, and Robert Charlier (Eds.): LNES 104, pp. 574–584. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
5. Mancini R., Cardu M., Fornaro M., Lovera E. (2001). Technological and Economic Evolution of Diamond Wire Use in Granite or Similar Stone Quarries. In: 17th Mining International Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, pp.543-548.
6. Oggeri C. (2002) Design methods and monitoring in ornamental stone underground quarrying. In: Baldassarre G., Fornaro M. (eds) Controllo ambientale delle attività di cava per lapidei ornamentali in importanti bacini estrattivi. GEAM, Torino, pp. 85-90.

7. Teodora Vassileva Hristova, Ivan Mitev, Veselin Balev, MONITORING OF GEOTECHNICAL FACILITIES THROUGH DLT SOLUTION, ESSAYS OF MINING SCIENCE AND PRACTICE III IOPscience <https://rmget.com> <https://rmget.com/index.php/keynote-lectures.html>, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, ISSN:1755-1307E-ISSN:1755-1315.
8. Веселин Балеv, Георги Дачев, Иван Митев, "Сравнителен анализ при определяне на едноосов натиск на скални образци чрез съпоставяне на лабораторни и „IN SITU" методи", VII International Geomechanics Conference Varna, 2016 ISSN 1314-6467
9. Веселин Балеv, "3D СИМУЛАЦИЯ ПРИ ПРОКАРВАНЕ НА ТУНЕЛ С ПОМОЩТА НА 2D СОФТУЕР ПО МЕТОД НА КРАЙНИ ЕЛЕМЕНТИ" списание „Минно Дело и Геология“ ISSN 0861-5713 ISSN 2603-4549 (online) бр. 5-6/2018.
10. Копрев И., Технология на добива на скално-облицовъчни материали. ИК „Авангард прима“ София 2016. ISBN 978-619-160-597-2
11. Павлов П., Банов М. Нарушения на околната среда, предизвикани от подземен добив на полезни изкопаеми. Списание „Минно дело и геология“ бр. 7-8/2014. ISSN 0861-5713. с. 48-51.
12. Павлов П., Митев Ив., Тотев Л. Определяне на еластичен и деформационен модул при строителство с натискова плоча. Сборник доклади по проект „Rifren“. ISBN 978-954-353-083-0. Издателска къща „Св. Иван Рилски“. Sofia 2007, с. 79÷83.
13. Презентация на „Скални материали“ АД – Русе, (2022)

УСВОЯВАНЕ НА ПЛАНЕТАРНИ И АСТЕРОИДНИ РЕСУРСИ

Кръстю Дерменджиев, e-mail: krderm@mgu.bg
University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria
Георги Стоянчев, e-mail: g.stoyanchev@mail.bg
University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

The report examines the need to organize and create specialized training in extraplanetary mining of mineral resources. It is proposed that this be done at University of mining and geology "St. Ivan Rilski", Bulgaria, with the involvement of specialists from the field of space sciences.

В книгата на К. Мансфиилд "Бъдещето накратко. 200 футуристични концепции и технологии, които ще променят света" [1], освен въпросите свързани с бъдещето на човечеството и тези свързани с космоса, се разглежда необходимостта и възможностите за овладяването на ресурси в космоса. Обект на разглеждане са важни въпроси, свързани с това като: пътуване в космоса и космически колонии и се констатира, че бъдещето не включва непременно човешки мисии в космоса. Космическите пътувания са скъпи и опасни, но ако не напуснем Земята неизбежно ще загинем. Без значение дали причината ще бъде астероид, супервулкан, ядрена война или просто поглъщането на Земята от Слънцето. В бъдеще се очакват събития, които не можем да предотвратим. Много философи вярват, че голямото добро може да се постигне чрез максимална реализация на човешкия потенциал из Вселената, което превръща колонизирането на открития Космос в основния императив на нашето време. По тази причина се провеждат и комерсиалните космически полети и разработки на НАСА, Европейската агенция, Русия, Китай, Япония, Индия и др.

Особено активна е дейността по създаване и използване на транспортни системи и по-точно космически апарати за многократно използване. Постигнатите резултати от „Спейс екс“ и „Ню Глен“ на Блу ОРИНДЖ са обнадеждаващи. Полетите в Космоса вече са несравнимо по-икономични.

Сериозно се разглежда възможността да планетарен и астероиден добив на минерални ресурси. Предстои надпревара сред фирми за рудодобив в Космоса. Пример за това е фирмата подкрепена от Люксембург „Планетари Рисорсис“. Ресурсите в Космоса са почти неограничени. Развива се и космическия туризъм. Вече сме свидетели на първите туристически мисии в Космоса /Брансън, Безос, филмови снимачни екипи /.

Китай и Русия са се договорили за създаване на база на Луната. Подобен план има и САЩ. В момента Китай строи модулна орбитална станция, а в централния ѝ модул ще извършват работа, в продължение на 3 месеца китайски астронавти, /Chinas Tianing Space/. Предвижда се да бъде изградена „мегаструктура“ в орбита на Земята, която да включва слънчеви електроцентрали, туристически комплекси, зарядни станции и дори съоръжения за добив от астероиди. Слънчевата електроцентрала ще изпраща енергия на Земята. Създават се свръхлеки метали, минерали и материали. По всяка вероятност ще минат десетилетия докато Китайските грандиозни планове се превърнат в реалност, но това ще стане.

През м. октомври 2021г. НАСА изстреля роботизираният апарат „Луסי“ на 12 годишна мисия до 8 астероида около Юпитер. Задачата е изследване за формирането на Слънчевата система. Около 2025 г. тя ще прелети над главния астероиден пояс между Марс и Юпитер.

Достигането, а впоследствие колонизирането на Марс е една от основните цели не само на космическите агенции и милиардерите като Мъск, Безос и Брандън, а и пред човечеството като цяло. За постигането на тези цели на земята в пустинята „Негев“ се създават симулирани условия за подготовка на астронавти, проект АМАДЕЕ-20.

Най-вероятно трайното колонизиране на планетите извън Земята, със среда различна от земната ще става най-напред чрез минно строителство. Посредством минна техника и технологии ще се усвоява подповърхностното пространство /минния масив/ за строителство, оборудване и

използване на тези пространства за безопасно жилищно, социално и производствено-управленски и други цели. Това ще стане така, защото тези подповърхностни пространства позволяват по-лесно да бъдат оборудвани и съоръжени за създаване на подходящи условия за живот на земляните, близки до тези на Земята. По аналог с древния път на човечеството / Кападокия и подземните жилищни комплекси/ за усвояване на подземните масиви за различни цели. При успешно „Тераформиране“ на условията на обекта ще се извършва впоследствие и повърхностно строителство и добив на минерални суровини.

По такъв начин с подповърхностното и комбинирано строителство ще се създава необходимата инфраструктура, с която да се осигурява усвояването на другопланетната среда.

Всички тези намерения изискват развитието и усъвършенстването на минната техника и технологии, специфичният тренинг на работническия и управленски състав, неговото оборудване и осигуряването на техническа безопасност.

Дори и сега компаниите, създаващи минно оборудване за открит, подводен и подземен добив и минно и гражданско строителство, работят върху усъвършенстването и разширяването на възможностите на съществуващото оборудване. Създадени са минни комбайни за прокарване на изработки в изключително здрави масиви, роботизирани товаро-транспортни машини и такива за крепене с анкерни крепежи. Създават се и се използват висококачествени и износоустойчиви инструменти и материали с изключителни свойства.

Възможно е при усвояването на другопланетното пространство и минно-промишлена дейност, на тях да бъдат създавани и нови материални ресурси.

Запознавайки се със съвременните постижения на космонавтиката и планетите на големите държави в това направление, се връщаме към двете статии под заглавието „Минерални ресурси от космоса: фантазия граничеща с реалност“ публикувани в списание „Минно дело и геология“ през 2006 г. [2,3].

В статиите бяха представени перспективите пред човечеството за овладяване на ресурсите на луната и междупланетните пространства и планетите от слънчевата система. Някои от прогнозите залегнали в статиите не се сбъднаха, но пък не бяха засегнати възможностите на частните компании, които бяха създадени в периода 2006-2020 г., със значителен финансов ресурс и технически решения, които отварят нови възможности за усвояване на планетите и междупланетните пространства. Създадени са соваките, ракетите за многократно използване, платформи за кацане и летяха хора с туристически цели. Разшири се международната космическа станция и се комплектуват нови такива. Разширява се броят на участниците в този процес. НАСА за първи път ще изследва астероидите на Юпитер с роботизирания апарат „Луси“, изпратен на 12 годишна мисия към Юпитер. Русия обяви, че е създала ядрения буксир „Зевс“ и се цели да създаде база на Марс. Китай строи собствена космическа станция и се цели да създаде база на Луната. Амбиции към изследване и усвояване на космическото пространство проявяват Япония, ЕС и Индия.

На базата на тези постижения и очакванията на човечеството в бъдеще си струва да се съгласим с „фантазията граничеща с реалност“ [2,3] и да си зададем въпросът: Струва ли си да обсъждаме въпросите свързани с усвояването на планетарните и астероидни минерални ресурси и с какви технически средства и технологии ще може да става това ? [1].

В бъдеще не трябва да зависим единствено от ресурсите на планетата ни. Астероидното миньорство ще стане бурно развиваща се индустрия през 30-те години на века. Това ще доведе до индустриализацията на Космоса и индустриализацията на Земята. Така до голяма степен ще намалее проблемът с „недостигът“ на родната ни планета. За сега можем да продължим интензивно да експлоатираме земните природни богатства, като двигател на икономическия и технологичен прогрес но само, ако овладеем космоса. Еколози към ООН прогнозира, че към 2050г. човечеството ще използва три пъти повече минерални ресурси в сравнение с 2010 г.

Човечеството неминуемо ще разчита на ресурсите на Космоса. За да ги придобие и използва то трябва да разработи съвършено нови технически средства. Те и в момента се разработват, но още може да се зададе въпросът: На какъв етап и период ще започне разработването на нужните

технически средства и добивни технологии? Сега или в бъдеще и как ще стане това?. [1]. Ако се надяваме на бъдещето на човечеството и приемаме, че ще се случат : „Изкуственият интелект“; „Свърхизкуствения интелект“; „Сингулярността“ и другите предвиждани събития от футуристите, това ще бъде рожба на бъдещето. От друга страна , като имаме предвид и нашето съдействие при създаването на гарепосочените събития, при очакваното последователно- еволюционно и революционно развитие на човечеството, ще се убедим, че е необходимо и на този етап да изследваме Космическите „природни условия“ и възможностите за усвояване на съществуващите минерални ресурси със съвременни минни технически средства и минни технологии.

На този етап изследванията и проектите по създаване на космически минни средства и технологии се базират на съществуващия опит при изследване на космическото пространство, планетите на слънчевата система, спътниците на планетите и многобройните малки и големи астероиди. На постиженията на НАСА, SpaceX, Blue Origin, Китай, Европейския съюз и Русия.

Като част от мисията „Артемис“ до 2025 г. НАСА обяви конкурс за създаване на енергиен източник, работещ ефективно в лунни условия и установяване на дълготрайно човешко присъствие. Затова неминуемо ще последва и необходимостта от създаване на средства и методи за геоложки и миннотехнически проучвания, а след това и средства и технологии за минни дейности в тези условия.

Поради това считаме, че в рамките на Мино геоложкият университет и в сътрудничеството с други университети, изпреварващо трябва да започне обучение на специалисти от областта на космическия майнинг, Космическо инженерство.

МГУ е подходяща среда за организиране и провеждане на изследване и проектиране на техники и технологии за космически добив /space mining/, защото разполага със съответните специалисти и млади хора-студенти за това. Има кадри и специалисти по Техника и технология на сондиране / ТТС/, геолози за идентифициране на средата, инженер-геолози , геомеханици, минни строители и специалисти по минни технологии. Асоциирани към тази комплексна тематика може да бъдат специалистите по минна електромеханика. Затова е съвсем естествено в рамките на МГУ да се инициира тематика по това комплексно и перспективно направление и да се търси съответното финансиране. При получаване на финансиране ще се създаде възможност да се привлекат специалисти в областта на астрономията, астрофизиката и специалисти от други институти като НАСА, Евроспейс, Мъск и др. свързани с усвояването на космическото пространство и ресурсите извън нашата планета.

При работата по отделните задачи от комплексната програма ще може да се привличат млади хора, учащи в различни специалности с афинитет към бъдещето на човечеството и възможността за усвояване на космическите ресурси, /space engineering /.

В процеса на работа може да бъдат постигнати много целеви резултати в областта на техниката и технологиите в екстремални условия, които да бъдат реализирани и при усвояване на различни подземни богатства на земята, както и при разширяване на обема на ресурсите на земята, разглеждани като некондиционни до този етап. Ще се проучи, анализира и използва досегашният опит при усвояване на космическото пространство, като: транспортни средства; ракети; космически станции; космически апарати; космическа техника и др.

Литература

1. Мансфийлд К., Бъдещето накратко. 200 футуристични концепции и технологии, които ще променят света. С. Изд. Книгомания ЕООД, 2021, 416стр.
2. Козловски Е., Ю. Малютин, инерални ресурси от Космоса: фантазия граничеща с реалност., „Минно дело и геология“, 2006/6.
3. Козловски Е., Ю. Малютин, инерални ресурси от Космоса: фантазия граничеща с реалност., „Минно дело и геология“, 2006/7.

БЪДЕЩЕ ЗА РУДНИК „ЧЕЛОПЕЧ“.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА РУДНИЧНАТА ИНФРАСТРУКТУРА ЗА ДРУГИ ДЕЙНОСТИ

Кръстю Дерменджиев, e-mail: krderm@mgu.bg
University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria
Георги Стоянчев, e-mail: g.stoyanchev@mail.bg
University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria
Милчо Милчев, e-mail: mil_milchev@abv.bg
ЕТ „Геопроектинженеринг“- Милчо Милчев

РЕЗЮМЕ

За цялостния ефект от миннодобивната дейност, но не само от нея, са от особена важност решенията за напускането, ликвидацията и утилизацията на минната инфраструктура и концесионната площ. В тази връзка за условията на р-к „Челопеч“ се разглеждат и оценяват някои възможности за използване на рудничната инфраструктура и площи за други полезни за обществото и природата дейности.

ABSTRACT

For the overall effect of mining activity, but not limited to it, decisions on leaving, winding up and utilization of mining infrastructure and concession area are of particular importance. In this regard, the conditions of Chelopech Are considered and evaluated some possibilities for the use of the ore infrastructure volumes and areas for other activities useful for society and nature.

В цялостните проекти на кариери, мини и рудници, освен проектните решения за миннодобивната и преработвателната дейности, се посочват и предварителни решения за напускане на минния обект и концесионната площ. Тези решения обикновено претърпяват изменения, тъй като концесията е дългосрочна и във времето се променят техниката, технологията, условията на работа и особено социалноикономическите условия. В тази връзка е особено важно, при променящите се условия да се търсят онези решения, които дават възможност да се увеличи, както ефектът от основната дейност, така и ефекта от прекратяването ѝ, чрез едновременно или последователно използване на концесионната площ и минната инфраструктура за други дейности полезни за природата и обществото.

Рудничната инфраструктура, в това число и на р-к „Челопеч“ основно се използва за добив и преработка на подземни природни богатства. В рамките на подземния рудник тя включва наземна и подземна части. Наземната част, снимки 1 и 2, се състои от сгради и съоръжения, складови сгради и напипищни площи, пътища, електропреносна и съобщителна мрежи и др., за осигуряване на приемно-отправните функции в рудника за всички товаропотоци, осигуряването на обслужването и управлението на работната ръка.

Подземната инфраструктура включва цялата мрежа от подземни изработки, добивни и подготвителни участъци, рудничната подемно-транспортна система, системите за електроснабдяване, вентилация, комуникация и контрол.

За нормалната работа на рудниците, цялата инфраструктура е предназначена за осигуряване на дейността им: добив и първична преработка на определени количества и качества полезни изкопаеми с помощта на различни технически средства и работна ръка, за определени системи и добивни технологии; организация и контрол на минните дейности.

Рудникът е динамична система, в която подземната инфраструктура непрекъснато се променя. Подземните минни изработки непрекъснато се ликвидират и обновяват, като в рамките на рудничното поле се разработват различни участъци, в които на мястото на подготвените и добивани запаси от полезни изкопаеми в участъка, по площ и височина се формират иззети пространства. При тази трансформация се извършва целенасочено управление на състоянието на иззетите пространства и

скалния натиск. В минната практика крайното състояние на иззетите пространства може да бъде: празно; обрушено; запълнено и комбинирано.



сн.1



сн.2

Празните иззети пространства в мините се формират най-често под формата на камери различно ориентирани в рудничното пространство в блокове, етажи, панели и хоризонти. Такива пространства може да бъдат формирани при определена геоложка среда – здрави и устойчиви минни масиви, на базата на специални минно-геометрични решения и управления на скалния натиск. Тези пространства в действащите или закрити подземни минни обекти представляват определен интерес за други дейности.

С цел осигуряване на устойчиво – безопасно и екосъобразно състояние на рудника с празни-иззети пространства се прилага управление на състоянието на тези пространства със запълване. Всички иззети пространства при водене на минните работи се запълват. За запълване се използват различни материали като: пясък; чакъл; скална маса; пепелини; шлаки; дешламирани продукти от обогатяването и др. В специални случаи и отпадъчни продукти. В р-к „Челопеч“ се прилага пастово запълнение.

При управление състоянието на иззетото пространство с обрушаване, след добивните работи иззетите пространства се самообрушават и се самозапълват със самообрушилите се вместващи скали, главно от горнището. Обрушаването може да бъде и принудително. В крайното си състояние рудникът представлява рядка мрежа от коридорни минни изработки и иззети-обрушени пространства.

Коридорните изработки може, но иззетите пространства не може да бъдат използвани за други цели и дейности.

В определени условия може да бъдат прилагани схеми, при които управлението на състоянието на иззетите пространства е комбинирано: открити добивни пространства и запълване; обрушаване и запълване; плавно слягане на горнището и др.

На базата на това кратко описание на динамиката на подземния рудник, може да се търсят възможности за използване на рудничната инфраструктура по място и направление за други дейности. Такива може да бъдат : складиране, съхранение и управление на газови потоци; складиране, и управление на нефт и нефтопродукти; складиране и съхранение на радиоактивни и промишлени отпадъци; складови, производствени и логистични дейности. Изборът, на която и да е неспецифична дейност, свързана с рудничните условия, трябва да е съобразена с техните специфични действащи технически и нормативни изисквания.

Тези дейности по време може да бъдат осъществявани по два организационни варианта: едновременно-паралелно и последователно. При първият вариант миннодобивната дейност в рудника се осъществява заедно-паралелно с друга неспецифична дейност, използваща рудничната инфраструктура или части от нея. При вторият вариант - използването на остатъчната руднична инфраструктура за друга дейност, става след приключване на минно-добивните работи в рудника. Изборът на единия или другия варианти е сложна задача.

На базата на анализа и оценката на съществуващата и развиващата се във времето руднична технологична схема на р-к „Челопеч“ [1,2,3,5], нека да разгледаме и оценим някои възможности за нейното използване за други дейности, с които да се даде ново бъдеще на рудника. Например за хранилище на нефт и нефтопродукти.

При световни икономически кризи силно намаляват, а впоследствие и силно нарастват цените на газа, петрола и петролните продукти. Успоредно с това, поради нарастващите покупки пространствата за съхранение на тези продукти се изчерпват и силно нараства необходимостта от нови складови пространства. Например, при кризата с COVID 19, към края на месец април светът се е нуждаел от складови пространства за над 32 млн. барела нефт и нефтени продукти. За частично решаване на този проблем, като временни складови пространства са използвани много танкери с капацитет от над 100 хил.t. Посочените по-горе факти показват, че подземните складови пространства играят много важна роля при пазара на газ, петрол, петролната икономика и националната сигурност на страната.

Проучването по отношение на съществуването, позиционирането, и условията за изграждане на подземни хранилища на газ, нефт и нефтопродукти показва, че съществува сериозна мрежа от подземни хранилища в повече от 35 страни по света. Действащи са над 650 подземни хранилища с активен обем от над 340 млрд. m³.

Към ситуирането на хранилищата има изискване те да бъдат разположени в подходящи геоложки формации , като: солни тела; варовици; мергели и глинни; здрави плътни и непроницаеви сухи скални формации; гранити, диабаз и др.

Повечето от подземните хранилища са специално проектирани и изградени в съответствие с определени изисквания. Много рядко съществуват хранилища, главно на нефт и нефтопродукти в ликвидирани или с преустановена дейност мини и рудници. Възможно ли е след приключване или още сега да бъдат предприети дейности по проучването и превръщането на р-к „Челопеч“ в хранилище на нефт и продукти от преработката им? Анализът на материалите по този въпрос и заложените параметри в СНиП 34.02-99 „Подземные хранилища газа, нефти и продуктов их переработки“ дават основание за по-сериозно изучаване и анализиране на състоянието на рудника, включително и допълнителна изпреварваща реконструкция за превръщането му в подземно хранилище на нефт и нефтопродукти.

По отношение на съхранение на газ в рудника , становището на този етап е отрицателно, тъй като не е възможно осигуряване на необходимата херметичност на подземните минни пространства.

За увеличаване на резервоарните пространства в рудника е възможно в иззетите пространства – камери да бъдат изградени метални и железобетонни цистерни с големи обеми. Чрез подходящо позициониране на тези резервоари по площ и нива, ще може да се изгради рационална система за приемане, разполагане и експедиране на всички нефтопродукти на съхранение в рудника – хранилище на нефт и нефтопродукти. При такива изградени съоръжения ще може да се съхраняват и големи количества газ, да се изгради и подземно газохранилище.

По отношение на съхраняването на радиоактивни отпадъци /РАО/, с ниска радиоактивност в р-к „Челореч“ има добри възможности [5]. При наложителни технически подобрения на основната и спомагателната инфраструктура, има възможност рудника да се превърне в едно голямо хранилище на посочения тип РАО, и разширение на възможностите на хранилището в Нови хан, което е от приповърхностен тип.

Превръщането на р-к „Челопеч“ в хранилище на РАО с висока и средна радиоактивност е проблемно, тъй като позицията на рудника е неподходяща. Освен това подземната и наземната инфраструктура ще се нуждае от скъпи технически мероприятия за адаптиране и подобряване на съществуващата инфраструктура за удовлетворяване на изискванията и критериите към този тип хранилища.

Наземната инфраструктура на р-к „Челопеч“ е позиционирана много добре географски и транспортно и може да бъде използвана за производствени и логистични цели. Добре е да се направят необходимите проучвания и оценки за потвърждаване или отхвърляне на подобни идеи, много преди да бъдат обсъждани проектните решения за закриване и ликвидиране на минното предприятие.

Литература

1. Георгиев Н., Г. Лисев, Подобрения в концепцията на прилаганата в рудник „Челопеч“ камерно целикова система на разработване със запълване. Сб. докл. VI Нац. научно-техн.конференция с межд. участие, Девин, 2018,с.82.
2. Йоргакиев Г., Д. Делчев, Ив. Аврамов, Др. Стефанов, Последователност на изземване на запасите в граничния целик в бл.151. . Сб. докл. VI Нац. научно-техн.конференция с межд. участие, Девин, 2018,с.117-124.
3. Борисов Г., Г. Фелоус, Прокарване на наклонена шахта „Вяра“ в рудник „Челопеч“, Сб. докл. VI Нац. научно-техн.конференция с межд. участие, 07-10 октомври, Девин, 2010, с.21-29
4. Гърков Ил., Н. Георгиев, Прилагани технологии на запълнение в рудник „Челопеч“ Сб. докл. VI Нац. научно-техн.конференция с межд. участие, 07-10 октомври, Девин, 2010, с.36-43
5. Милчев М. и др. Предпроектно /прединвестиционно/ проучване за изграждане на Национално хранилище за ниско и средно радиоактивни отпадъци /НХРАО/, Позиция 3; Етап: ЕО-1; от проект по дог.№ 208037/17.07.2000г., Архив на „Минпроект“ ЕАД.

СПИРАЧНИ УСТРОЙСТВА ЗА РУДНИЧНИ ПОДЕМНИ УРЕДБИ

д-р Живко Илиев
МГУ "Св. Иван Рилски"

BRAKING DEVICES OF MINING WINDERS

Zhivko Iliev, PhD
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Prof. Boyan Kamenov St.
Department of Mining Mechanization
1700 Sofia, E-mail: halkopirit@mail.bg

ABSTRACT

Are summarized main constructive solutions of braking devices of mining winders. Are considered schemes of work of hydraulic disc brakes. Are described types of main pneumatic braking devices. Has been made assessment of advantages and shortcomings separate constructions decisions.

Key words: braking devices; mining winders.

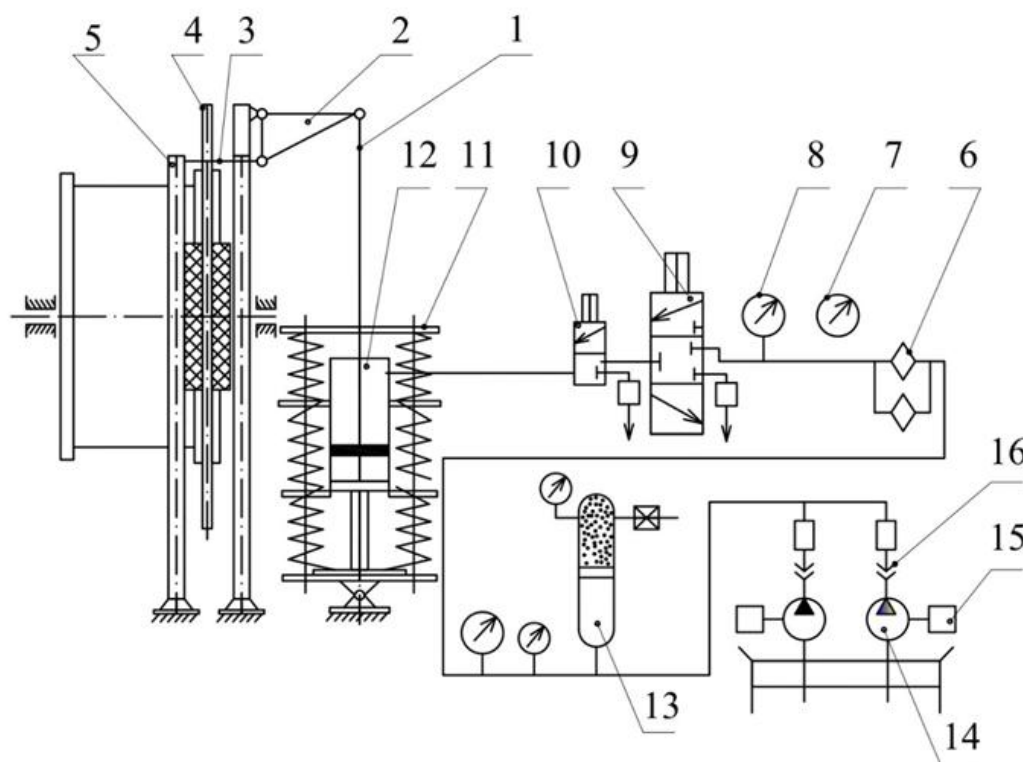
1. Предназначение на спирачните устройства [1, 2, 3, 4, 6].

Според изискванията на ПБТ всяка руднична подемна машина трябва да има спирачни устройства. Едни от най-отговорните агрегати на рудничната подемна уредба са спирачните устройства. Спирачните устройства трябва да изпълняват следните задачи: 1 - управление на подемната машина през периода на закъснителното движение; 2 – участие при управлението на подемната машина при спускането на товар; 3 – застопоряване на подемната машина в неподвижно състояние по време на паузите; 4 – аварийно спиране при нарушаване на приетия режим на работа. Според задачите, които изпълняват спирачните устройства се делят на работни и предпазни спирачки. Всяка подемна машина трябва да има работна и предпазна спирачка с независимо включване. Изпълнителния орган на двете спирачки може да бъде общ. Предпазното спиране се осъществява автоматично при задействане на защитната апаратура или от машиниста при необходимост.

2. Устройство и принцип на работа на хидравлични дискови спирачни устройства [1, 5, 8].

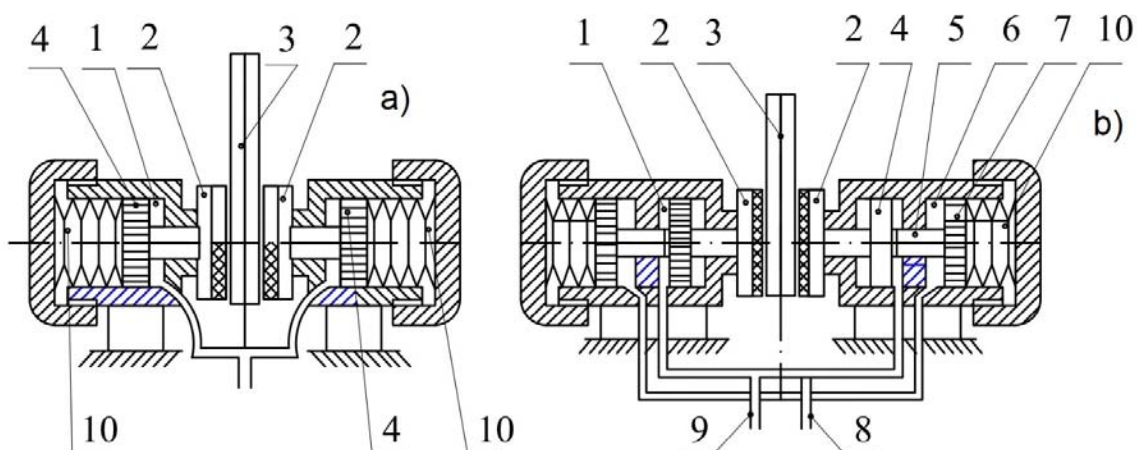
На *фигура 1* е показана схема на дисково спирачно устройство със следните елементи: 1 – вертикална щанга; 2 – двураменен лост; 3 - съединителна щанга ; 4 – спирачен диск; 5 – вертикална стойка; 6 – филтър; 7 - контактен манометър; 8 - манометър; 9 - регулатор на налягане; 10 – електрохидравличен предпазен клапан; 11 – спирачна пружина; 12 – спирачен хидроцилиндър; 13 – пневмоакумулатор; 14 - маслена помпа; 15 – двигател; 16 – обратен клапан. Работното спиране се осъществява чрез регулатора на налягане(9), който изпуска масло от спирачния хидроцилиндър(12), при което свитите пружини се освобождават и притискат накладките към диска. При предпазно спиране електрохидравличния клапан(10) се задейства и става изтичане на масло от спирачния цилиндър към резервоара, при което пружините се разпъват и включват спирачките.

На *фигура 2* са дадени схеми на задвижващи елементи на дискова спирачка със следните елементи: 1 - цилиндър на работната спирачка; 2 – спирачни накладки; 3 – спирачен диск; 4 – бутало на работната спирачка; 5 – бутален прът; 6 - цилиндър на предпазната спирачка; 7 – бутало на предпазната спирачка; 8, 9 – тръбопровода; 10 – пружини.



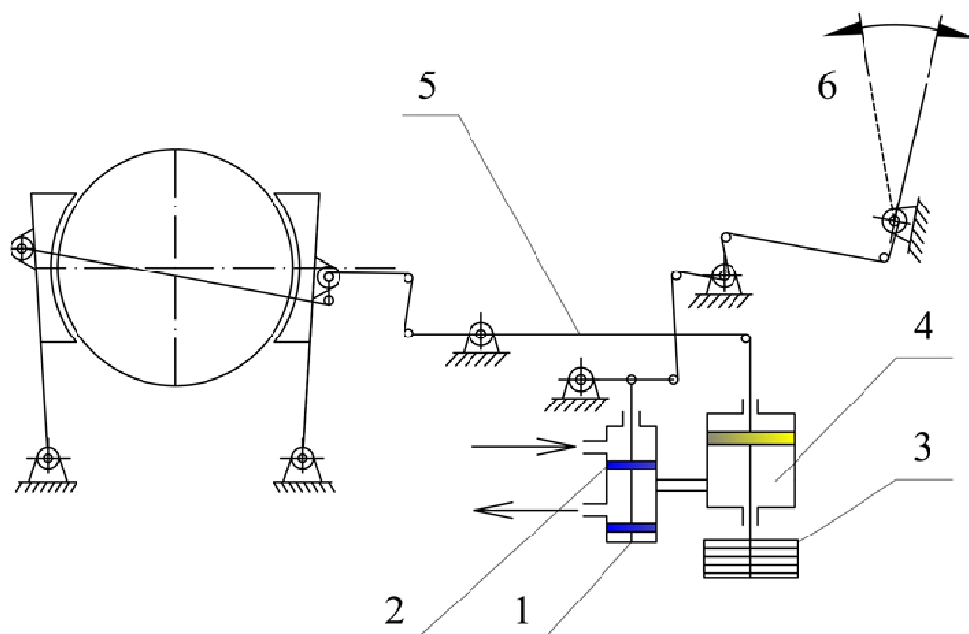
Фигура 1.

На *фигура 2 а)* е дадена схема на задвижващ елемент на дисково спирачно устройство, при което става изпускане на масло при работно и предпазно спиране. При него спирачната сила се създава от предварително свитите пружини, които чрез буталото 4 въздействат на спирачките. На *фигура 2 б)* е дадена схема на задвижващ елемент на дисково спирачно устройство работещо на изпускане на масло при предпазно спиране и постъпване на масло при работно спиране. При работно спиране масло под налягане се подава към спирачния цилиндър(1) и чрез буталото се притискат накладките. При предпазно спиране масло от цилиндъра на предпазните спирачки изтича и освободените пружини чрез елементите 4, 5 и 7 притискат накладките към спирачния диск.



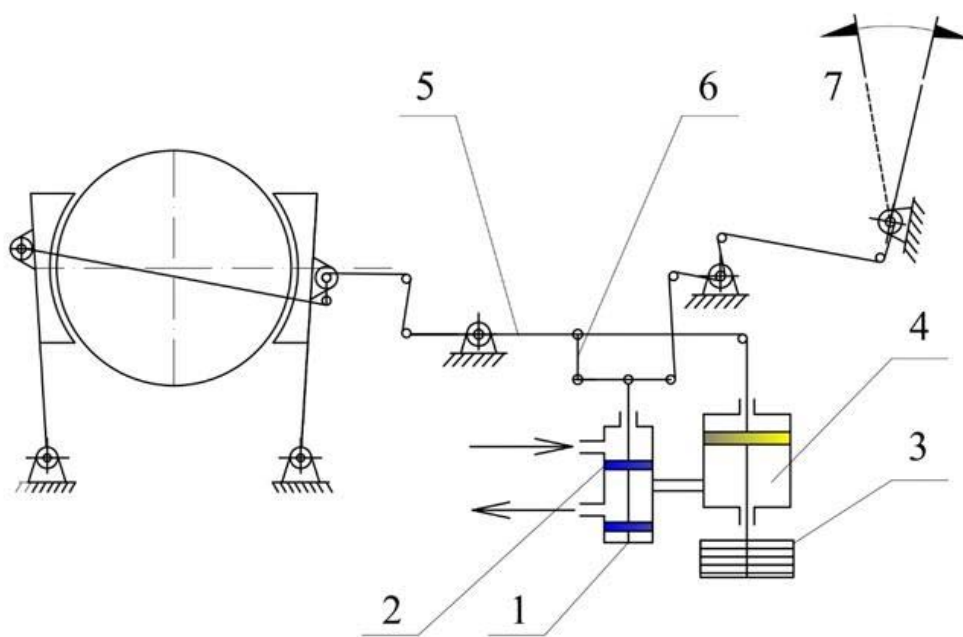
Фигура 2.

3. Регулиране на спирачния момент при работно спирание [1].



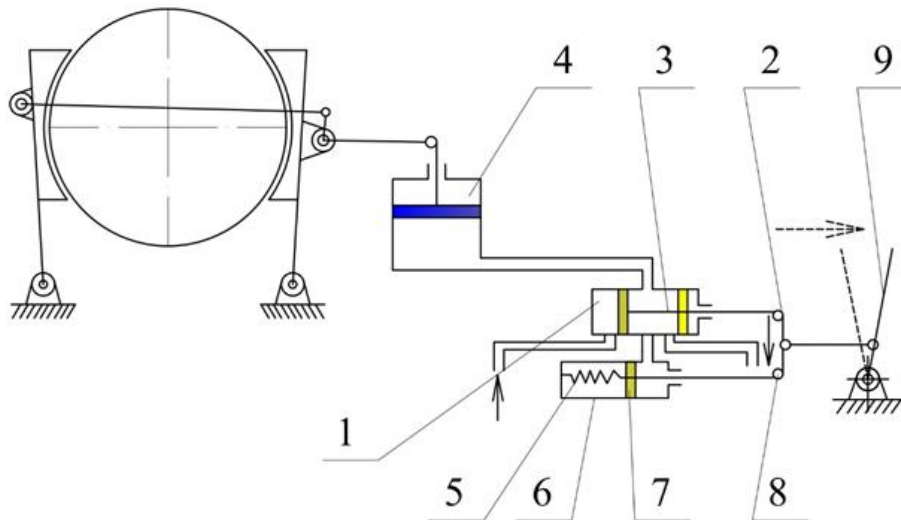
Фигура 3.

На *фигура 3* е дадена схема на регулиране на спирачния момент (с работен флуид - въздух) директно чрез ръкохватката на спирачното устройство. На схемата са изобразени следните позиции: 1 - триходов кран; 2 - бутало; 3 - спирачна тежест; 4 – спирачен цилиндър; 5 - спирачен лост; 6 - ръкохватка. Управлението се извършва с помощта на триходовия кран, като буталото му е свързано с ръкохватката за управление. В зависимост от положението на буталото в спирачния цилиндър, спирачната тежест се премества нагоре или надолу и определя големината на спирачния момент.



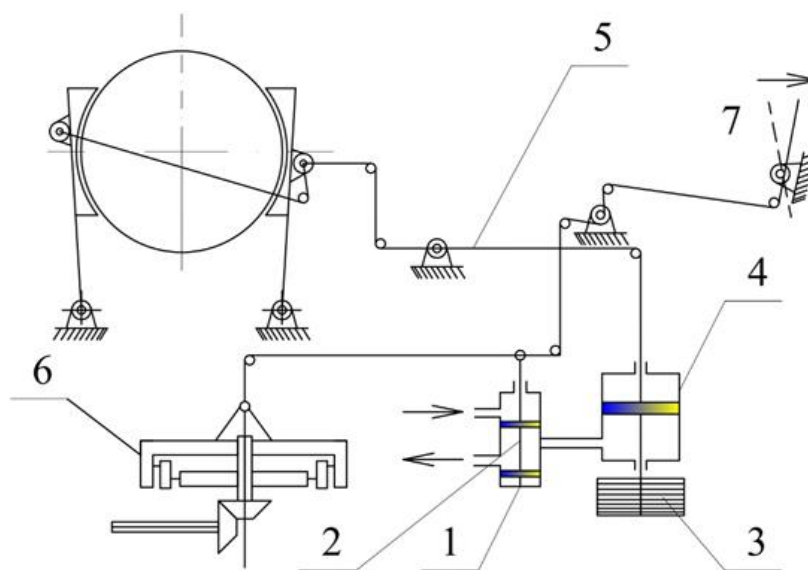
Фигура 4.

На *фигура 4* е дадена схема на регулиране на спирачния момент (с работен флуид - масло) чрез спирачния лост. На схемата са изобразени следните позиции: 1 - триходов кран; 2 - бутало; 3 - спирачна тежест; 4 – спирачен цилиндър; 5 - спирачен лост; 6 – диференциален лост, 7 - ръкохватка. При тази схема съществува твърда обратна връзка между буталото (2) и спирачния лост (5) чрез диференциалния лост (6). Обратното връщане на буталото в триходовия кран се осъществява без намесата на машиниста.



Фигура 5.

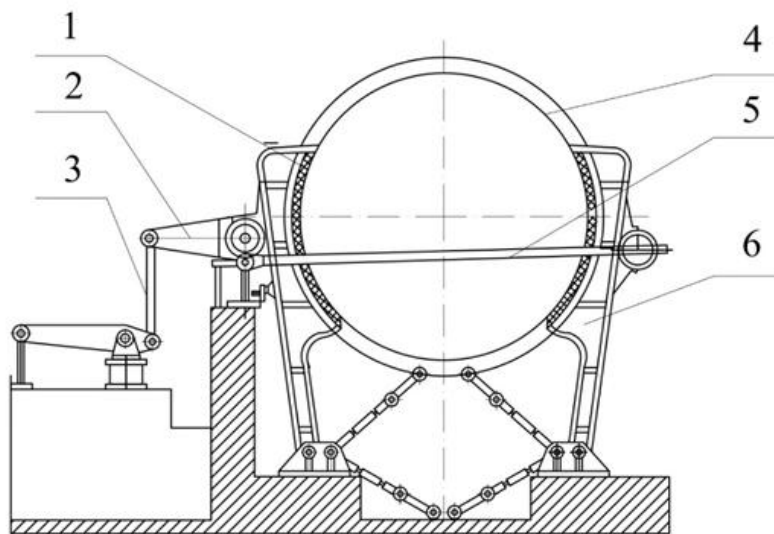
На *фигура 5* е дадена схема на регулиране на спирачния момент (с работен флуид - въздух) чрез индикатор на налягане. На схемата са изобразени следните позиции: 1 - триходов кран; 2 и 8 - диференциален лост; 3 - бутало; 4 - спирачен цилиндър; 5 – пружина; 6 – индикатор на налягане; 7 - бутало на индикатора; 9 - ръкохватка. При преместване на ръкохватката диференциалния лост се завърта така, че буталото на триходовия кран се придвижва и постъпва въздух под налягане от въздухосборника в работния цилиндър. При изменение на налягането в спирачния цилиндър се изменя и положението на буталото на индикатора, което завърта диференциалния лост и връща обратно буталото на триходовия кран.



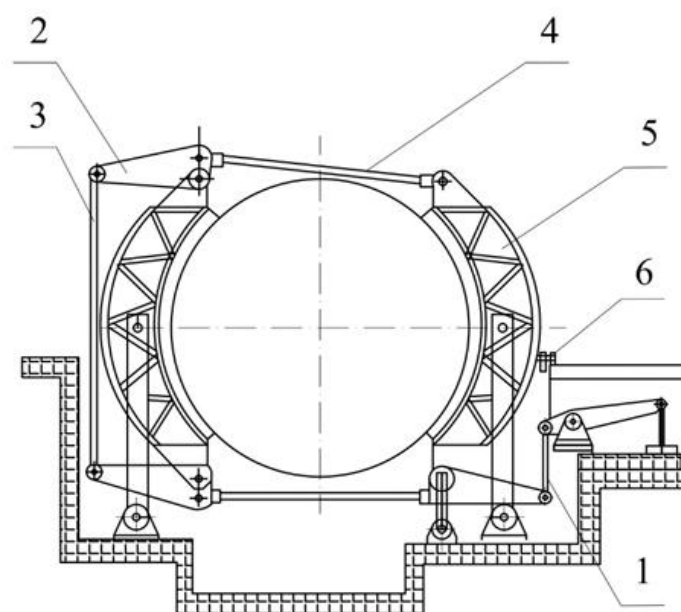
Фигура 6.

На *фигура 6* е дадена схема на регулиране на спирачния момент (с работен флуид - масло) чрез индикатор на закъснение. На схемата са изобразени следните позиции: 1 – триходов кран; 2 – бутало; 3 – спирачна тежест; 4 – спирачен цилиндър; 5 – спирачен лост; 6 – индикатор на закъснение; 7 – ръкохватка. Чрез ръкохватката при спиране буталото на триходовия кран се премества и от спирачния цилиндър изтича масло, а спирачната тежест се премества надолу. Буталото на триходовия кран е свързан чрез лостова система с индикатора на закъснение. Изтичането на масло от цилиндъра продължава, докато буталото на триходовия кран не се върне в неутрално положение, като това се случва при достигане на необходимото закъснение.

4. Устройство и принцип на работа на челюстни спирачни устройства [1,5,7].



Фигура 7.



Фигура 8.

На *фигура 7* е дадена схема на изпълнителен орган на спирачка с ъглово преместване на челюстите със следните позиции: 1- накладки на спирачните челюсти; 2 –двухраменен спирачен лост; 3 – вертикална щанга; 4 – спирачна шайба; 5 - съединителна щанга; 6 – стойка.

На *фигура 8* е дадена схема на изпълнителен орган на спирачки с паралелно преместване на челюстите със следните позиции: 1 - вертикална щанга ; 2 –двухраменен спирачен лост; 3 – съединителни щанги ; 4 – съединителна щанга; 5 – спирачна челюст; 6 – ограничител за регулиране.

Челюстните спирачки с ъглово преместване на челюстите имат проста конструкция с малък брой шарнирни връзки, което улеснява монтирането и регулирането им.

Челюстните спирачки с паралелно преместване на челюстите създават по-голям спирачен момент и за това се използват при големите подежни машини.

Литература:

1. Федорова З. „Руднични подежни установки“, Москва, 1966г.
2. Йочев. И. Щ. „Изследване на състоянието и избор на решение за модернизация на рудничните подежни уредби в мини „Горубсо“. Дисертация за ОНС „Доктор“, МГУ „Св. Иван Рилски“,2002.
3. Илиев Ж. „Изследване режима на работа и обосноваване на рационални параметри на ролкови направляващи устройства на подежни съдове за руднични клеткови подежни уредби“ Дисертация за ОНС „Доктор“, МГУ „Св. Иван Рилски“,2015.
4. Кърцелин Е. Р. „Математически модели на руднични подежни уредби (монография)“, С. Изд. Къща „Св. Иван Рилски“, 2010г.
5. Петухов А. „Горная механика“, Москва, 1965г.
6. Ковачев В. Руднични подежни уредби, София, 1990г.
7. Димашко А.Д. и др. „Справочник шахтные электрические лебедки и подъемные машины“, Москва 1973г.
8. Калиш С, „Машинист шахтной подежной машины“, София, 1962г.

СЪВРЕМЕННИ ПОДХОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ГРАНИЦИТЕ НА ПОДЗЕМНИ РУДНИЦИ

гл. ас. д-р Кирил Куцаров, МГУ „Св. Иван Рилски“, k.kutsarov@mgu.bg
ас. Димитър Кайков, МГУ „Св. Иван Рилски“, dimitar.kaykov@mgu.bg
ас. Данаил Терзийски, МГУ „Св. Иван Рилски“, d.terziyski@mgu.bg

ABSTRACT

Based on the leading experience from around the world the methods and algorithms for establishing the depth and the design parameters of the ultimate underground mine layout have been discussed. Different methods and algorithms have been classified according to the following criteria: 1) the choice of underground mining technology, 2) the method used for graph traversal (in respect to design alternatives) and 3) optimisation problem target parameters. Based on the classification of different methods the perspective for future research has been discussed. In addition, practical guidelines have been established for future utilisation of the discussed methods.

Въведение

Подземният добив на полезни изкопаеми представлява основен способ за разработване на находища, намиращи се на голяма дълбочина. За разлика от открития способ на разработване, при него съществуват редица специфични ограничения, свързани с поддържането на безопасни и здравословни условия на труд. Поради тази причина, в сравнение с открития добив, подземният способ на разработване притежава ниско ниво на гъвкавост на технологичните операции, което води до по-трайни последици на взетите решения, свързани с планирането и извършването на минните работи. Освен изброените ограничения, от изключителна важност е разглеждането и на проблема за рентабилността на минно-добивните работи и проблемът за качеството на продукцията, от гледна точка на експлоатационно-потребителските свойства на добиваната руда. Именно поради тази причина планирането, оптимизирането на производствените дейности и създаването на рационален производствен график на минните работи са с най-голямо значение за осигуряването на рационално извършване на минните работи и влагане на производствените ресурси, което на практика намалява производствените разходи. С цел да се увеличи максимално рентабилността на производството, е необходимо въвеждането на рационален режим на минните работи, както и създаването на рационални оперативни планове. Освен изброените аспекти на подземния добив, важно е да се засегне и въпросът за екологичния отпечатък на минните работи. Именно поради тази причина изготвянето на рационален стратегически или оперативен план при подземния добив се базира на аргументирано решение, което трябва да бъде съобразено с редица ограничения, включващи границите за технологично възможната посока на минните работи, ограничения, произтичащи с икономическия характер на дейността и не на последно място поддържането на безопасността в рудника и намаляването на въздействието върху околната среда на дейностите при добива и преработката на суровината.

Съвременно разбиране за планирането на минните работи при подземния рудодобив и определянето на границите на подземния рудник

Планирането на подземния добив от стратегическо до оперативен ниво е сложен процес, като на негова база авторските колективи, работили по тези проблеми се съсредоточават върху различни аспекти от самия добив или проектирането на подземния рудник. Според Kuchta et al. (2004) цялостният процес по планирането на развитието на даден минен обект се състои в 5 етапа: 1) определяне на пространствените и качествените характеристики на рудата, 2) избор на система на разработване, 3) проектиране на минните изработки, осигуряващи ефективна експлоатация на рудата, 4) определяне на технологията за добив и преработка на рудата, и 5) планиране на мероприятията за извеждане от експлоатация на обекта. Г. Михайлов (2021) разглежда планирането на минните работи в

по-общ случай, а именно при комбинираното разработване на дадено находище по открит и подземен способ. Според него то се състои в последователното решаване на 5 оптимизационни задачи: 1) изучаване на напрегнатото и деформирано състояние на масива около минните изработки, 2) влияние на структурната нарушеност на масива при избор на технологично решение, 3) (избор на) добивна технология за подземната част на комбинираната схема на изземване, 4) разкриване на рудничното поле, 5) технико-икономически оценка в натурално и стойностно изражение. От изведените постановки на авторите може да се направи съпоставката, че посочените етапи на планирането според Kuchta et al. (2004) се свързват с последователността на дейностите, на базата на която то се реализира и на базата на различните етапи от живота на рудника. За разлика от това разбиране, петте оптимизационни задачи, изведени от Г. Михайлов (2021), са свързани установяването на комбинация от конструктивни и производствени параметри за подземния рудник, които е необходимо едновременно удовлетворяват условията на всяка от петте задачи по най-рационален начин. Именно двата подхода на разглеждане на проблема водят до необходимостта от прилагането на комплексен подход за планиране на минните работи при подземния рудодобив, като същевременно по този начин се постига резултатът по установяването на границите на подземния рудник. Именно на тази база могат да бъдат планирани отделните производствени дейности в средносрочен и дългосрочен план, т.е. за създаването на производствен график.

Nehring et al. (2012) класифицира планирането на производството в рудниците в две основни категории: 1) дългосрочно планиране и 2) създаване на краткосрочен производствен план. Дългосрочното производствено планиране засяга целия живот на рудника, както и може да засяга период по-голям от 5 години. Краткосрочното производствено планиране изцяло се базира на решенията от дългосрочното производствено планиране, като според периода от време, за който се изготвя то засяга последователността на работни операции, които трябва да бъдат изпълнени при реализирането на минимални отклоненията от предварително зададените параметри на дългосрочния план. Следователно от съществено значение е разглеждането на множество от алтернативи за даден производствен график с цел да се осигури желания икономически резултат от минните работи при спазване на ограниченията от природен и технологичен характер. Поради тази причина е необходимо прилагането на съвременен подход с цел разглеждането на различните алтернативни за конструктивните параметри на подземния рудник, крайните му граници и последователността от минните работи, чрез които те се достигат. Значителното подобрене в изчислителната мощност на компютърната техника, както и създаването на нови алгоритми позволява разработването и сравнението на голям брой полу-автоматично генерирани алтернативи, базирани на комплексни числени модели. Именно използването на подобни модели се оказва ключово и основополагащо при планирането на минните работи в подземния условия. Поради тази причина е необходимо класифицирането на различните методи и алгоритми за дългосрочно планиране на минните работи по отношение на някои по-важни техни характеристики – начин за развиване на алтернативни проектни решения, приложимост при системите на разработване, метод за решаване на оптимизационната задача и вид на целевата функция. На тази база се разграничават два фундаментално различни подхода, които са използвани при стратегическото планиране на минните работи в подземни условия и определянето на границите за подземния рудник. На Таблица 1 е представена обобщена информация за разглежданите видове методи и алгоритми, използвани за целите на дългосрочното планиране на минните работи при подземен добив. Те служат за определяне на границите на подземния рудник както и на неговите подходящи конструктивни параметри.

Таблица 1. Методи за решаване на оптимизационната задача при търсенето на крайните граници на подземния рудник и неговите конструктивни параметри

Вид на използвания метод за развиване на алтернативни проектни решения	Система на разработване	Размерност на пространството	Метод/Алгоритъм за решаваната на оптимизационната задача	Целева функция
Изчерпателно търсене	блоково обрушване	2D	Динамично програмиране	Мах извлекателна печалба
	запълване на изетото пространство	3D	Целочислено програмиране	Мах извлекателно съдържание на полезен компонент
	блоково обрушване	3D	Транспортна мрежа (Network flow)	Мах извлекателна печалба
Евристично и метаевристично търсене	всички	3D	Октодървовидна структура (Octree)	Мах извлекателна печалба
	всички	3D	„Плаващ подземен добивен блок“ (Floating stope)	Мах обем добита руда, Мах извлекателно съдържание на полезен компонент, Мах извлекателна печалба, Min на загубите по полезно изкопаемо
	всички	3D	Съседство с максимална стойност	Мах извлекателна печалба
	всички	3D	Симулирано закаляване	Мах извлекателна печалба

Методи на изчерпателно търсене за определяне на границите на подземен рудник

Методът за динамично програмиране за целите на подземния добив е предложен от Riddle (1977) за извършване на оптимизация на крайните граници на подземния рудник при система на блоково обрушване. Той е разработен като продължение на задачата за определяне на крайния контур на открития рудник, разработен от Johnson и Sharp през 1971 г. Алгоритъмът е разработен на програмния език Fortran и първоначално е приложен на изкуствено създадени икономически блокови модели за целите на изследването. Методът се прилага за множество от двумерни профили за решаването на задачата в двумерното пространство. Това предполага, че подходът не е способен да определи действителните крайни граници на рудника при разглеждането на двумерната апроксимация (Sotoudeh et al., 2017). Независимо от това, начинът, по който функционира метода, се свежда до разглеждането на кандидат за крайно положение на рудника, при което се оценява печалбата в неговите граници. В следващите си стъпки, алгоритъмът следва разделянето дефинираното крайно положение на два подсектора, ако печалбата е по-голяма или равна на получената печалба. Процесът прекратява своето изпълнение, когато са изчерпани рентабилните граници за изследване. Алгоритъмът предоставя строго оптимално решение на проблема, но въпреки това той е ограничен до работата си при система на разработване с блоково обрушване (Ataee-Pour, 2005; Shahriar et al., 2007). Независимо от това, методът е послужил за развитието на някои от методите на евристично търсене (напр. Octree).

Методът на целочисленото оптимизиране е известен метод, който е ефективно използван при решаването на икономически проблеми от различно естество, и по-конкретно с проблеми, свързани с дисциплината изследване на операциите. За нуждите на подземни рудодобив Ovanic и Young (1999) въвеждат модел за целочислено програмиране (MIP), което цели получаването на крайните граници на подземния рудник и неговите конструктивни параметри. Моделът функционира, като локализира оптималните начални и крайни точки за добив в рамките на дадена камера (подземен добивен блок) по

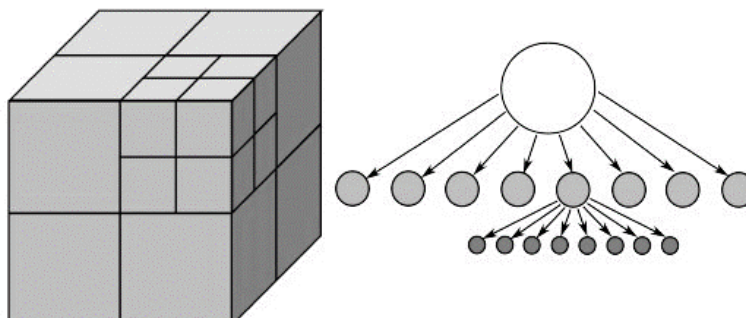
съществуващ геоложки блоков модел и на практика достига до оптималните граници на рудника. За определянето на оптималното начално и крайно местоположение на всяка камера се използват кумулативни функции. Основното предимство на този метод се свежда до това, че не се изисква пространствените характеристики на блока да бъдат правилни или ортогонални. Въпреки това, съществен недостатък е, че алгоритъмът оптимизира границата на рудника по реда от блоковете само в едномерно пространство. Освен това, друг негов съществен недостатък е, че алгоритъмът само частично оптимизира получените крайни граници за рудника (Topal and Sens, 2010). Съществено надграждане на функционалността и приложимостта на модела е разгледано от авторите Grieco and Dimitrakopoulos (2007). При подходът, предложен от тях, рудното тяло първоначално се разделя на слоеве, като всеки слой след това се подразделя на редица панели и всеки панел допълнително се подразделя на серия от „пръстени“. Всеки „пръстен“ присвоява Булева променлива (1 или 0) според това дали се отчита в изчисленията на модела. Целевата функция на задачата е да максимизира съдържанието на метал за даден период от време. Минималния и максималния брой „пръстени“ за добив, и размерите на стълбовете, които трябва да бъдат оставени между тях, са свързани с приетите технологични ограничения за модела. Предимство на използвания метод е, че при него се отчита вероятностния характер на геоложките запаси. Въпреки това той притежава своите недостатъци - тъй като методологията се основава на изкуствено създадени „пръстени“, които са предварително дефинирани по отношение на тяхното местоположение и размер. Именно този подход не позволява поточното изследване на възможностите за създаване на минни изработки в рудното тяло с по-малки размери, както и разглеждането на разположението на добивните камери на различни от определените места. Освен това, въвеждането на Булева променлива за всеки „пръстен“ в модела води до удължаване на времето за получаване на решение, особено в случаите на по-сложна морфология на рудното тяло (Grieco and Dimitrakopoulos, 2007; Topal and Sens, 2010).

Методът на транспортната мрежа, въведен от Bai (2013) за оптимизирането на положението на крайните граници на подземния рудник. Той се базира на теория на графите и е приложен за система с подетажно обрушване посредством прилагането на специализиран алгоритъм. Самият метод се основава на представянето на рудното тяло в цилиндрична координатна система, която е дефинирана около дадена вертикална ос (Bai, 2013). Графиката се конструира с помощта на вертикални дъги за ограниченията по ъгъла на западане на горнището и долнището на запасите. Освен това изборът на параметрите на подземен добивен блок трябва да цели максимизиране на неговата ценност, като е необходимо спазването на две допълнителни ограничения: максималното разстояние на даден блок от шахтата и широчина на хоризонталните минни изработки, необходими за транспортирането на обема руда от най-отдалечения минен блок до дадена шахта. Печалбата на даден подземен добивен блок се оптимизира като функция от местоположението и височината на шахтата и по този начин се определя най-подходящото местоположение за разполагане на шахтите. Сложността на алгоритъма е сравнима с тази на един от евристичните методи („плаващия подземен добивен блок“), като за разлика от него реализира методът на транспортната мрежа дава по-добри резултати на получаваните решения. Въпреки предимствата на метода, неговият недостатък се свежда до ограниченото му ползване при сравнително малки и полегати находища, добивани чрез система на подетажно обрушване (Erdogan et al., 2017).

Въпреки оптималността на получените решения по определените целеви функции за разглежданите методи, те невинаги се оказват приложими за дадена система на разработване, както и в някои формулираните ограничения водят до решаването на неточна апроксимация на проблема. При разглеждането на примерна задача в редица случаи сложността на задачата с усложнява значително, от което следва, че използването на подхода на изчерпателно търсене не винаги е най-подходящо. Поради тази причина е необходимо търсенето на алтернативи за разглеждането на дадена част от множеството на значителния брой проектни алтернативи с цел получаването на рационални решения за приемливо време според практическите нужди на проектантите. Именно на тази база са развити подходите на евристично и метаввристично търсене.

Методи на евристично и метаевристично търсене за определяне на границите на подземен рудник

Един от по-старите, но не по-малко ефективен метод се оказва метода на т. нар. делене по октодървовидна структура (Octree) (Cheimanoff et al. 1989). Техниката първоначално е използвана при моделирането на геоложките запаси при създаването на техен еквивалентен блоков модел. Целта на метода е да се генерира система от правила, която позволява създаването на модел на запасите, съобразен с ограниченията произтичащи от подземния добив. Алгоритъмът служи за разделяне на разглежданото пространство на подобеми, като се цели премахването тези, които не удовлетворяват ограниченията, свързани с минималния размер на блока. Принципно схема на разделянето по октодървовидна структура е показана на Фигура 1.



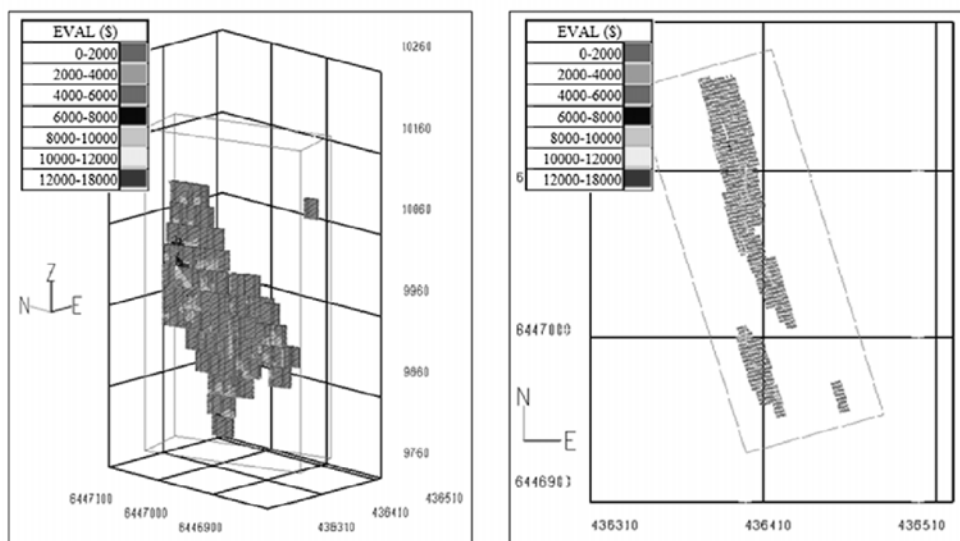
Фигура 1. Схема на разделянето на даден обем по октодърво (Terekhov et al., 2015)

Методът е използван в първоначална версия на софтуерния инструмент BONANZA. За прилагането на модела е необходимо следването на три стъпки. На първо място се събират на данни, включващи данни от геоложки сондажи или проби, морфологията на рудното тяло и резултати от геостатистическото моделиране на пространственото разпределение на качествените показатели на рудата. Тези данни се използват за изграждането на първоначалния пространствен модел на запасите. Втората стъпка включва оконтуряване и отделянето на извлекаемите запаси. В тази стъпка различни алтернативи на производствените фактори се изучават с цел да се определят възможните размери на минните изработки, като се използва наличната геоложка информация. В последната стъпка геоложките запаси се оценяват икономически, за да се определи рентабилността на дадена последователност на минните работи. Важно условие при приложението на метода е, че границите на подземния рудник се определят според спазването на две основни ограничения: 1) ограничения, произтичащи от геометричните размери на минните изработки и 2) ограничения, произтичащи от икономическата страна на проблема. Същността на метода се състои в последователното разделяне на запасите на подобеми, като те се запазват или премахват от модела в зависимост от това дали съдържанието на полезния компонент приема стойности под или над бортовото съдържание.

Методът на „плаващия подземен добивен блок“ (Floating Stope) е разработен от Alford (1995) като инструмент за определяне на оптимална граница на запасите или ограничението на камерите, които са икономически рентабилни за добив при подземното разработване на дадено находище. Методът отново се базира на използването на икономически блоков модел. Подходът използван за приложение на метода е аналогичен на метода на „подвижния конус“, използван при търсенето на краен контур на открития рудник. Основното ограничение при метода на „плаващия подземен добивен блок“ се състои в ограничението на геометричните размери на камерите по трите пространствени оси. Наименованието „плаващ подземен добивен блок“ е получено от проучването на множество варианти на разположението на камерата (подземния добивен блок) около всеки блок от геоложкия модел, с цел локализиране на позицията с най-високо съдържание. Освен това оптимизационната задача, която решава алгоритъмът позволява гъвкавост и може да има друга целева функция като максимизирането на обема добита руда, максимизиране на съдържанието на добитата руда, максимизиране на

икономическия ефект и минимизиране на загубите по полезно изкопаемо. Независимо от избора на целева функция, основната задача, която се решава от метода се свежда до определянето на наличието на блок със съдържание над бортовото, който може да бъде включен към крайните граници на подземния рудник. Въпреки универсалността за приложение на метода, той има и своите недостатъци, които са близки до тези на метода на „подвижния конус“ при открития добив на полезни изкопаеми. В случай, че съществуват два припокриващи се добивни блокове (на ниво алгоритъм) съществува възможността те да бъдат рентабилни при изземването на всеки от тях, но не и когато е необходимо да бъде иззето обединението на двата обема. Следователно методът не гарантира оптималност на полученото решение, но разглежда значителен брой алтернативи за кратко време. Това се отнася и за модификацията на метода на „плаващата камера“ както при използването на няколко обхождания (Multiple Pass Floating Stope Process).

Алгоритъмът на „съседство с максимална стойност“ (Maximum Value Neighbourhood - MVN) е друг евристичен подход и е разработен и внедрен от Ataee-Pour (2000) в условията на подземния добив на полезни изкопаеми. Алгоритъмът цели оптимизиране на границите на добивните блокове, използвайки тримерен икономически блоков модел за намиране на най-оптималната околност на даден блок, като същевременно се спазват дадените ограничения за размерите на минните изработки и конструктивните параметри на самия рудник (Ataee-Pour, 2005). На Фигура 2 е представен примерен резултат от приложението на метода при находище за златосъдържаща руда.



Фигура 2. Примерно решение от приложението на метода на „съседство с максимална стойност“ (MVN) (Erdogan et al., 2017)

Концепцията за съседство се основава на броя на извлекаемите блокове, еквивалентни на минималния размер на подземния добивен блок (съотношение добивен блок / геоложки блок). Тъй като за всеки геоложки блок съществува набор от няколко възможни околности, то се избира тази, която осигурява максимална стойност на извлекаемата печалба и се включва в крайните граници на рудника. Съществено предимство е, че този алгоритъм може също да се приложи за всяка система на разработване, въпреки че не гарантира оптималност на получаваното решение (Shahriar et al., 2007).

Подходът за симулирано закаляване (Simulated Annealing) е метаевристичен алгоритъм, разработен от Manchuk и Deutsch (2008) за оптимизация на геометричните размери на добивния блок и последователността на извършването на минните работи. Оптимизацията представлява произволно изменение на формата на добивния блок, като се зачитат геометричните ограничения на добивните камери, за да се намери подходящата форма, която реализира максимална печалба. Самият блок се представя като съвкупност от върхове (точки) и ръбове (отсечки) на правилната правоъгълна призма,

чието пространствено положение се изменя при търсенето. Алгоритъмът предлага общо решение в тримерното пространство за нуждите на проектирането, като позволява интегрирането на ограничения на геометричните характеристики на добивния блок според избраната система на разработване. Един от съществените недостатъци на подхода на симулирано закаляване, е че времето за неговото изпълнение може да бъде дълго. Това се вижда в случаите особено когато морфологията на рудното тяло е по-сложна. Друг съществен недостатък е, че времето на конвергенция към оптималност може да бъде нереалистично дълго за практическите нужди. Освен това близостта до получаваното решение до глобален оптимум е трудно за оценка, но това се счита за основен недостатък на метаевристичните алгоритми (Bai, 2013).

Заключение

От разгледаните методи може да се направи заключението, че проблемът за определянето на границите на подземния рудник е изключително сложен и неговото решение изисква разглеждането на значителен обем от проектни алтернативи по отношение на изборът на система за разработване, конструктивните параметри на минните изработки, икономическата рентабилност на приетите граници, както и намаляването на екологичния отпечатък на минните работи върху околната среда. Въпреки многото ограничения по отношение на . В някои частни случаи използването на методите на изчерпателно търсене може да се окаже подходяща при по-малък обем на запасите или по-малък брой на възможните проектни алтернативи, тъй като получаваните решения достигат до оптимум според дефинираната целева функция. При разглеждането на по-сложни минно-технологични условия и по-сложна морфология на запасите по-подходящо би било използването на методите на евристично търсене поради по-малкото изчислително време, което изискват за намирането на рационално решение. Освен това, тези методи позволяват по-голяма гъвкавост по отношение на използваните целеви функции и по отношение на избора на система на разработване. Методите на метаевристично търсене също се оказват подходящи за целите на подземния рудодобив, въпреки че съществен техен недостатък е неоптималността на получаваните решения. Въпреки това при подземния рудодобив те все още не са достатъчно изучени по отношение на други по-мощни методи в тази група като еволюционни алгоритми, алгоритъм на „рояк от частици“, алгоритъм на „колония от мравки“ и т.н. Това създава предпоставка за изследване на тяхната приложимост при търсенето на по-добри проектни решения при решаването на проблема за определянето на границите на подземния рудник. Независимо от това, като основен извод може да се посочи, че изброените методи и получаваните от тях решение са от изключителна полза не само за нуждите на минното проектиране и планирането на минните работи, но и са подходящи за използването им при изготвянето на технико-икономическа оценка на запасите и определянето на границите на извлекаемите запаси според дадена икономическа ситуация.

Източници

1. Михайлов, Г. (2021). Пет оптимизационни задачи, определящи същността на комбинирано (открито-подземно) разработване на рудни находища. *Proceedings of the XVI International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals*, 6 – 10 September 2021, Varna, Bulgaria, с. 21 - 31
2. Ataee-Pour, M. (2005). A critical survey of the existing stope layout optimization techniques. *Journal of Mining Science*, 41 (5), 447-466.
3. Bai, X., Marcotte, D., & Simon, R. (2013). Underground stope optimization with network flow method. *Computers & Geosciences*, 52, 361–371. doi:10.1016/j.cageo.2012.10.019
4. Cheimanoff, N., Deliac, E., and Mallet, J. (1989). GEOCAD: an alternative CAD and artificial intelligence tool that helps moving from geological resources to mineable reserves. in *Proceedings of 21st International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, pp. 471-478.

5. Erdogan, G., Cigla, M., Topal, E., & Yavuz, M. (2017). Implementation and comparison of four stope boundary optimization algorithms in an existing underground mine. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 31(6), 389–403. doi:10.1080/17480930.2017.1331083
6. Grieco, N. and Dimitrakopoulos, R. (2007). Managing grade risk in stope design optimisation: probabilistic mathematical programming model and application in sublevel stoping. *Mining technology*, 116 (2), 49-57.
7. Kuchta, M., Newman, A., and Topal, E. (2004). Implementing a production schedule at LKAB's Kiruna Mine. *Interfaces*, 34 (2), 124-134.
8. Martinez, M. A. and Newman, A. M. (2011). A solution approach for optimizing long-and short-term production scheduling at LKAB's Kiruna mine. *European journal of operational research*, 211 (1), 184-197.
9. Nehring, M., Topal, E., and Little, J. (2010). A new mathematical programming model for production schedule optimization in underground mining operations. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110 (8), 437-446.
10. Nehring, M., Topal, E., Kizil, M., and Knights, P. (2012). Integrated short-and medium-term underground mine production scheduling. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112 (5), 365-378.
11. Ovanic, J. and Young, D. (1999). Economic optimization of open stope geometry. In *Proceedings of 28th international APCOM symposium*. Colorado school of Mines, Golden, Colorado. USA, pp. 855-862.
12. Riddle, J. M. (1977). A dynamic programming solution of a block-caving mine layout. In *Proceedings of Proceeding of the 14th International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, pp. 767-780.
13. Shahriar, A. P. K., Oraee, K., and Bakhtavar, P. S. E. (2007). A Study on the Optimization Algorithms for Determining Open-Pit and Underground Mining Limits. in *Proceedings of 7th International Scientific Conference, SGEM 2007, International Multidisciplinary Scientific GeoConferences (SGEM)*.
14. Sotoudeh, F., Kakaie, R., and Ataei, M. (2017). Development of a computer program for underground mine stope optimisation using a heuristic algorithm. in *Proceedings of Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology*, Australian Centre for Geomechanics, pp. 689-700.
15. Terekhov, K. M., Nikitin, K. D., Olshanskii, M. A., & Vassilevski, Y. V. (2015). A semi-Lagrangian method on dynamically adapted octree meshes. *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*, 30(6). doi:10.1515/rnam-2015-0033
16. Topal, E. and Sens, J. (2010). A new algorithm for stope boundary optimization. *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, 16 (2), 113-119.

ASSESSMENT OF ROCK MASS STABILITY AS A FACTOR IN SELECTING AN OPTIMAL MINING TECHNIQUE

G. A. Mihaylov

University of Mining and Geology, Department of Underground mining Students town, 1700 Sofia, Bulgaria,
mihayg@mgu.bg

ABSTRACT

Purpose: Ore and rock waste stability is a key factor in selecting an optimal mining technique. An up to date understanding intended to define the concept of stability is presented here.

Methods: Analysis and evaluation of the practical experience of Bulgarian and foreign enterprises in order to determine common valid dependencies; System analysis approach for creation of new underground mining methods classification; Investigation of the statistical data of the acquired results in favor of proving existing dependencies with clearly expressed quantitative character.

Findings: A new ore mining underground classification is proposed using two classification indicators. The mining systems fall into four classes and based on the matrix record each one assigned a unique code. The concept of stability modulus M_o has been introduced for a quantitative assessment. Rock mass is classified into five types, based on this stability modulus M_o . Observations of the ore field have enabled determination of the relationship between the Modulus M_o and the hydraulic radius HR of the open stope: $HR=f_1(M_o)$. Having analyzed the Geological Strength Index (GSI) a dependence of the $M_o=f_2(GSI)$ type has been identified.

Originality: The expressed dependencies $HR=f_1(M_o)$ and $M_o=f_2(GSI)$ are original. Thus the hypothesis can be confirmed that GSI is a part of a well organised Database that assesses the impact of discontinuity on rock mass mechanical properties. They have been found quantitative indicators that characterize all five categories of the rock mass stability.

Practical Implication: GSI and M_o are adequately objective arguments in the selection of an optimal mining method especially where more than one mining method can be applied in specific settings.

KEYWORDS: Underground ore mining classification, Stability modulus, Hydraulic radius, Geological strength index, Rock mass discontinuity.

INTRODUCTION, WHAT IS STABILITY?

A number of procedures have been developed for selection of an underground mining method based upon the geological parameters. These procedures must take into consideration ore and waste rock stability. It seems, however, that their assessment uses quality descriptions such as very unstable, unstable, ..., very stable masses, and this gives rise to subjectivity when it comes to solving specific applied problems, i.e. appropriate quantifiers need to be introduced to provide an objective rock mass classification. It should be emphasised that a similar quantitative approach to tunnelling, capital and access development has evolved significantly. The problem associated with ore and waste rock stability in underground settings should be sought at least in the presence of four phenomena, namely:

- rock mass must be assessed as a structure consisting of two phases - ore and waste rock;
- mined-out voids vary in shapes and the boundary between such voids and waste rock does not always coincide with that between two settings;
- contemporary rock mass condition management tools are generally based on three methods: cut-and-fill stoping, caving methods, room and pillar mining.
- there is a multistage environment featuring dynamic stability in the various mine development stages.

The question arises as to what stability is. A number of attempts have been made to define it and the publications of L.Muller (1971), W.Wittke, (1990), N. S. Bulychov (1994) appear to provide the most comprehensive contemporary definition. Stability is a rock mass condition. It is a function of excavations and reflects the self-supporting capacity of a rock mass over a period of time. Four factors control rock mass susceptibility and quantitative stability analysis, respectively: rock mass stress, discontinuity orientation, mechanical properties of bedrock, and discontinuity infill material. Therefore, stability is the capacity of a rock mass to counteract (at the expense of its internal self-organisation) external influences induced by artificial voids. It is not an absolute quantity typical of a rock mass and depends on the combined effect of the above factors. What makes ore mining essentially different is that ore is genetically related to the three rock types, i.e. igneous, sedimentary and metamorphic rocks. Their distinctive feature is the exceptionally wide variety of physic-mechanical properties and this prevents from applying a "general recipe" to stability definition. In addition, ore deposits are historically related to tectonics that plays a part in ore formation as well as post-ore folding and faulting. Therefore, structural discontinuities (fracturing) are to be highlighted as a main factor affecting the study and accurate interpretation of quantitative parameters of rock mass characterisation.

UNDERGROUND MINING METHODS CLASSIFICATION

There are more than a dozen of mining method classifications and each has the inherent characteristics of the period it was developed. A thorough analysis of the worldwide practice shows that the total number of currently used mining methods exceeds 100. It should be emphasised that the contemporary mining equipment used in stopes feature mobility - diesel and electric LHDs (Load, Haul, Dump), high performance - the bucket size of LHD loaders is 10

cubic metres, remote control systems. All these set new and totally different requirements to mining method classifications. In this specific case, a classification based on two classification criteria is used (Mihaylov, 2011):

- stope condition;

- production processes in the stope.

Using the matrix record, the classification is generally presented as an array of symbols with a structure consisting of four indices: $[MM]_{ijkl}$. MM stands for the mining method, i is the serial number of the class, $i = \overline{1, M}$ where M is the total number of classes to be developed; j is the serial number of groups, $j = \overline{1, N}$ where N is the maximum number of groups in a class; k is the serial number of subgroups, $k = \overline{1, P}$ where P is the maximum number of subgroups in a group; l is the serial number of variants $l = \overline{1, Q}$ where Q is the maximum number of variants in a subgroup.

Therefore, the following structure has been used to present the mining methods classification:

CLASS – GROUP – SUBGROUP – VARIANT

In this case $M=4$, i.e. four classes of mining methods are being considered; $N=3$, i.e. the maximum number of groups is for methods class II – cut-and-fill stoping; $P=4$, i.e. the maximum number of subgroups is for methods class IV – multistage mining techniques; $Q=4$, i.e. the maximum number of variants is for methods class I – unsupported methods. The greatest advantage of the matrix record is that it is open and can incorporate further methods (along with their variants) as mining techniques evolve in the future. Figure 1 shows the structure of methods class I – unsupported methods. Similar structures have been developed for the other classes: Class II – cut-and-fill mining method; Class III – caving methods; Class IV – Multistage mining methods. The clear identification of each mining method will require the transformation of the matrix record into a code. Figure 2 shows the identification code of one of the most common mining techniques, shrinkage stoping $[MM]_{1212}$. In this case, the matrix record is transformed into the following identification code:

$[MM]_{1212} \rightarrow I2A\beta$

The relationship of a mining method from the $[MM]_{ijkl}$ set to ore and waste rock stability is based on the method of ore extraction in the stope: excavation carried out in one split; sublevel stoping, big hole stoping. The two classification criteria of the mining methods classification proposed are directly related to rock mass stability. This demonstrates the need to systematically study the quantitative indices of discontinuities which, in turn, determine the rock mass stability.

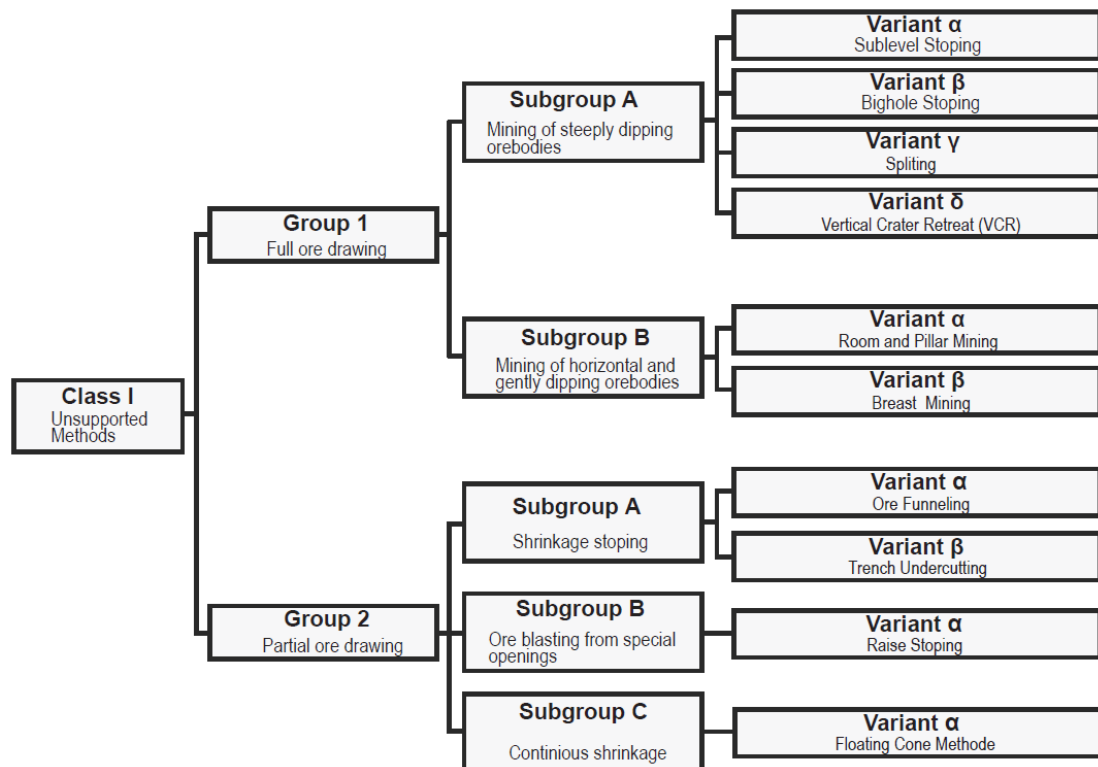


Figure 1 - Block diagram of Class I – Unsupported Mining Methods

QUANTITATIVE INDICES CHARACTERIZING ORE AND WASTE ROCK STABILITY

A number of studies into the characteristics of rock mass classifications have been published: Rock Load Theory (Therzaghy), Rock Quality Designation-RQD (Deer et al.), RMR system (Bieniawski), Rock Tunneling Quality Index-Q system (Barton et al.), Mining RMR-MRMR (Laubscher), Modified basic RMR-MBR (Cummings et al.), Rock Mass Index-RM_i (Palmström), Geological Strength Index-GSI (Hoek et al.).

They all share one common principle, i.e. determination and correlation of rock properties obtained from laboratory and field (in situ) testing. The long years of study carried out by the author have shown that the so-called Modulus characterising the *Mo* rock mass quality is appropriate for the purposes of underground mining. The reliability of the *Mo* parameter can be guaranteed only if a logical structure of information flows is available to provide input data. Figure 3 shows such a structure, based on the approach of A. Palmström (1995). The modulus characterising the *Mo* rock mass quality is derived by using the following:

$$Mo = \frac{m_b}{m_i} \sigma_c (J_v)^{-1} \quad (1)$$

where σ_c is the uniaxial compressive strength determined by laboratory testing (Unconfined Compressive Strength), MPa;

J_v is volumetric joint count, the number of joints per cubic metre;

m_b is the material constant for the rock mass (for in situ rock) determined by applying the Hoek-Brown failure criterion; (Hoek, Kaiser, & Bawden, 1995)

m_i is the material constant for the intact rock determined by applying the Hoek-Brown failure criterion. (Hoek et al., 1995)

In addition, the volumetric joint count, J_v , is calculated by using the following equation:

$$J_v = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{\sum(L)_i} \left\{ \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{NS} [N_{ij} + N(ns)_i] \right\} \quad (2)$$

where i represents the serial number of the structural discontinuity orientation, $i = \overline{1,3}$ (in three mutually perpendicular orientations);

j is the serial number of the discontinuity set, $j = \overline{1,NS}$, NS is the number of sets;

N_{ij} is the number of discontinuities in set j along orientation i ;

$N(ns)_i$ is the number of random discontinuities along orientation i ;

$SUM(L)_i$ is the total length of measurement stations L along orientation i .

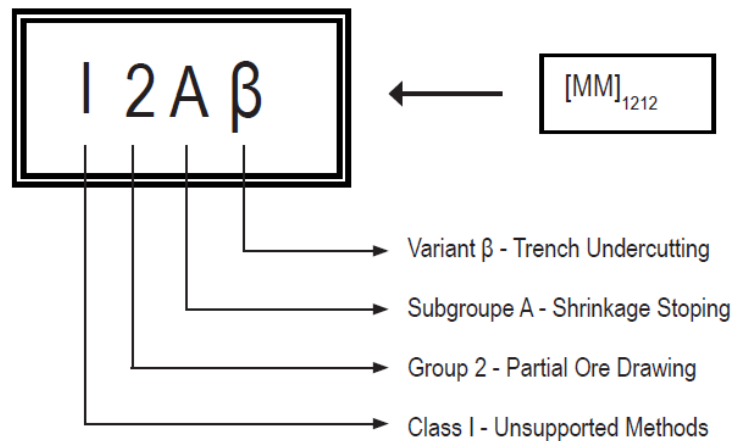


Figure 2 - Matrix record reduction in identification code of one the most common mining methods – shrinkage mining

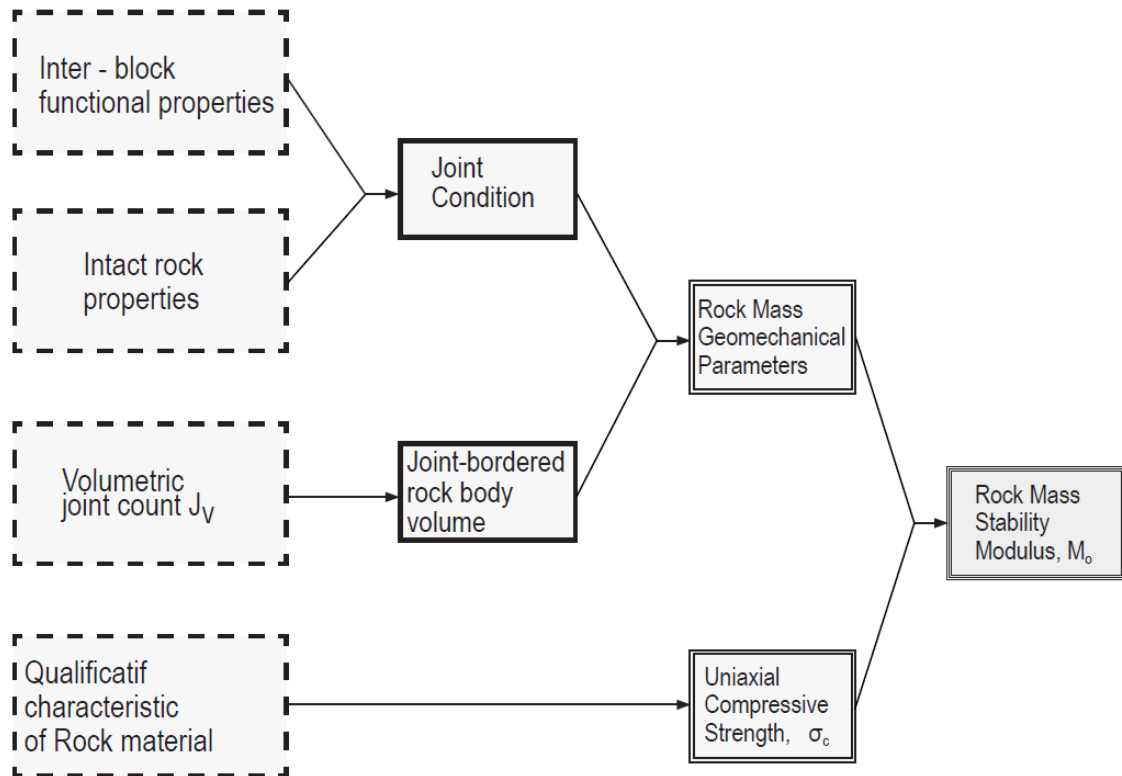


Figure 3 - Parameters applied as an information flow, determining M_o

Random joints in (2) show that in this specific case jointing is more relevant than the well-known expression $RQD=115-3.3J_v$. Its effect can be both positive and negative. The negative aspect is associated with the fact that stability is deteriorated along the existing weak structural surfaces rather than slip surfaces (for instance, applying the limit equilibrium theory).

The modulus M_o can be demonstrated to be effective only if it is related to the proposed mining methods classification $[MM]_{ijkl}$. For this purpose, functional dependencies should be derived between the geometric parameters of the block as a main mining unit and the method of ore extraction (excavation carried out in one split, sublevel stoping, bighole stoping). The geometric parameters of the block are best described by the hydraulic radius HR . It can be determined using the following expression:

$$HR = \frac{a \times b}{2(a+b)}, \text{ m} \quad (3)$$

where a and b are the two main dimensions on the plane under consideration.

The low HR values apply to underground excavation carried out in one split whereas the high ones are relevant to sublevel stoping, bighole stoping. Practice shows that voids having $HR > 25$ are rare.

Summary of data from M_o and HR studies puts forward the following rock mass classification using the ore and waste rock stability factor - Table 1.

In addition to the stability-based mass classification (Table 1), data collection from hands-on studies in local and foreign companies can be used to derive a functional dependency between HR and M_o presented below:

$$HR = a \times \exp(b \times M_o), \text{ m} \quad (4)$$

where a and b are constants.

In this case, $a=1.56$, $b=0.195$ using a concordance coefficient $r^2=0.886$.

Figure 4 is a graphical presentation of the dependency (4).

Table 1 - Proposed Stability classification after Rock mass stability modulus Mo .

Condition	Stability modulus, Mo	Hydraulic radius, HR	Technological solution
Very unstable, (vu)	≤ 0.08	< 1.20	Mining one split and total stope support
Unstable, (uu)	$0.08 \div 0.60$	$1.20 \div 1.80$	Mining one split and partial stope support
Medium stable, (ms)	$0.60 \div 2.00$	$1.80 \div 4.16$	Production processes performed in two splits (parallel or in series), no support
Stable, (ss)	$2.00 \div 8.00$	$4.16 \div 6.22$	Sublevel mining including bench stoping
Very stable, (vs)	> 8.00	> 6.22	Bighole stoping

- ① Theoretical curve $HR = a \exp(bM_0)$
 ② Relationship completed by Experimental Data Points
 (NA) Not applicable

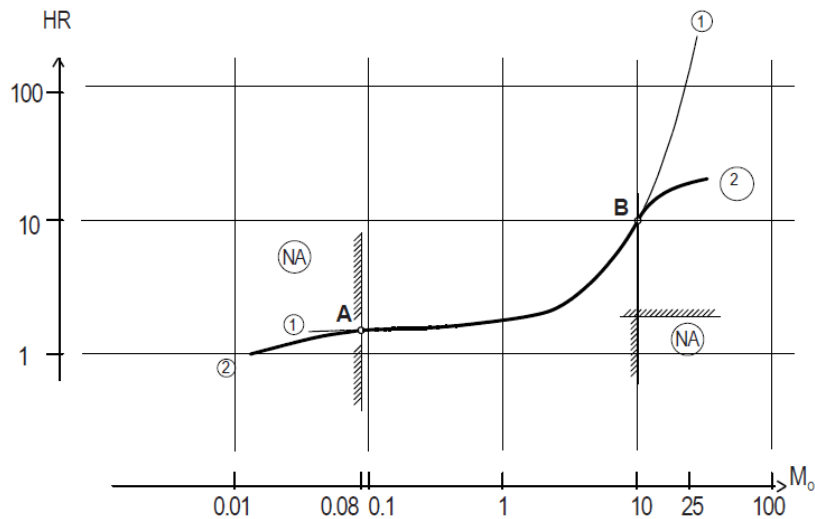


Figure 4 - Relationship between Mo and HR

It is evident that where $Mo < 0.08$ and $Mo > 10.0$, the theoretical curve shows significant deviations from the dependency based on empirical data. This can be explained by the inapplicability of mining methods showing a large hydraulic radius and low Mo modulus values and vice versa – the inapplicability (more precisely, economically unprofitable underground excavation carried out in one split – low HR at adequately good quality of the rock mass (high Mo). These inconsistencies are noted as inapplicable - Not applicable (NA).

ASSESSMENT OF COMPATIBILITY BETWEEN THE ROCK MASS QUALITY MODULUS AND THE GEOLOGICAL STRENGTH INDEX

The GSI is generally viewed as one of the most widely used indices in the rock mass quality assessment. Additional detailed data have been generated by researchers in different periods and this makes it a dynamic continuously upgraded structure. The question arises as to what the GSI represents: Is it a system for rock mass quality assessment or an empirical method for structural element dimensioning of a wide range of equipment used in mining and mine construction? The GSI takes into account two main elements: the rock mass structure (Structure Rating, SR) and the surface condition (Surface Condition Rating, SCR). They can combine to produce a chart comprising i rows and j columns of the possible alternatives, i.e. SR_i and SCR_j , where $i = \overline{1, M}$, and $j = \overline{1, N}$. In this case, M and N

determine the finite number of alternatives in i and j . The use of GSI as an empirical method in the study will require a wide range of parameters. Thus, a third dimension, k , needs to be added to the matrix. It describes the input parameters used in the structural element dimensioning procedure, i.e. $k = \overline{1, P}$, where P is the total number of parameters under consideration. The $[A]_{ijk}$ array is used. Its structure is based entirely on the Hoek-Brown failure criterion, i.e. this criterion will play an essential part in describing the behaviour of strong but jointed rocks. Table 2 contains the list of parameters characterising the rock mass properties.

Table 2 - List of parameters needed to characterize rock mass properties (Hoek et al., 1995)

Designation	Index	Description
$\frac{m_b}{m_i}$	$k = 1$	Relationship between Hoek-Brown material constants: m_b is the value of the constant for the rock mass; m_i is material constant for the intact rock;
s	$k = 2$	Hoek-Brown material constant, which depends upon the characteristics of the rock mass;
a	$k = 3$	Hoek-Brown material constant; the failure of such rock masses can be defined by setting $a=0.5$;
E_m	$k = 4$	Rock Mass in situ deformation modulus;
ν	$k = 5$	Poisson's ratio, based upon Rock Mass structure and discontinuity surface condition;
GSI	$k = 6$	Geological Strength Index;
Q'	$k = 7$	Modified Rock Tunneling Quality Index;

Based on the matrix record $[A]_{ijk}$, the jointed rock masses can be determined using Structure Rating, (SR) by the formula (Usgoui, Ulusay, & Unal, 2010):

$$SR = -17.5 \ln(J_v) + 79.5 \quad (5)$$

A total of five categories have been introduced, i.e. ($M=5$).

Surface Condition Rating, (SCR) can be determined by using the formula (Usgoui et al., 2010):

$$SCR = R_r + R_w + R_f \quad (6)$$

where R_r is roughness, R_w is water factor, and R_f is alteration factor – availability of clay mineral coatings and fillings. A total of five categories have been introduced, i.e. $j = \overline{1, N}$ ($N=5$).

Figure 5 illustrates the overall structure of the GSI. In the matrix record $[A]_{ijk}$, GSI is $k=6$. Obviously, such structures can also be presented for other geomechanics parameters i.e. $k = \overline{1, P}$. The relationship of the rock mass quality to the GSI reveals that a suitable mining method can also be reliably selected where $GSI < 25$. Then, extraction will be carried out through mining one split and total stope support and HR tends to one, i.e. $HR \rightarrow 1$.

The overall structure of the GSI allows the analysis of compatibility between the GSI and the modulus Mo proposed to assess the rock mass quality. The dependency $HR=f(Mo)$ – formula (4) implies that the Mo modulus is directly associated with the mining method classification $[MM]_{ijkl}$. The smooth change in topography describing the GSI as well as the similar nature of the dependency $HR=f(Mo)$ provide a good reason to seek a relationship between the rock mass quality and the GSI. Such a relationship has been found! It can be presented as follows:

$$Mo = a \times (E - b) \times (GSI)^c \quad (7)$$

where a , b and c are constants, $(E-b)$ is the exponential function 10^{-b} . In this case, $a=2.026$, $b=9$, $c=5.224$, using a concordance coefficient $r^2 = 0.91$.

The expression (7) allows a new variant of the overall structure of the GSI, as shown in Figure 6.

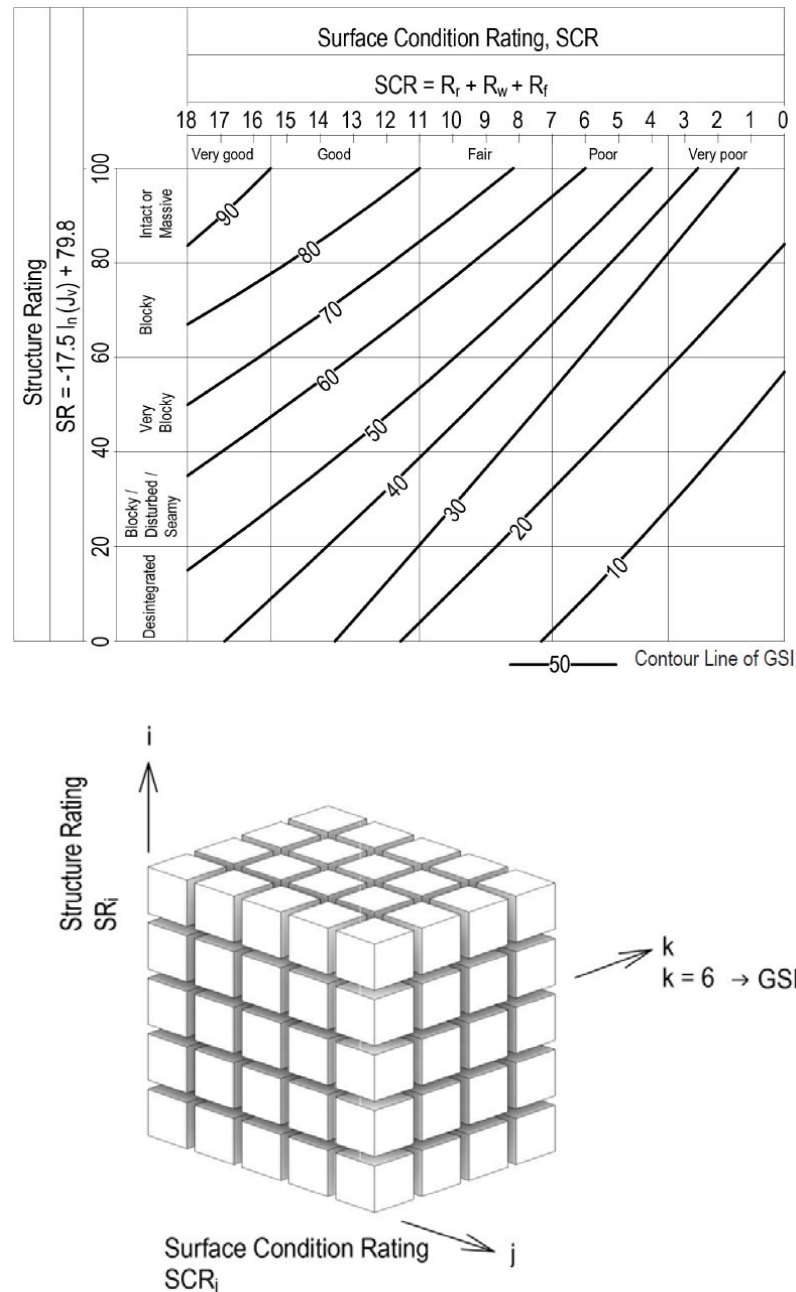


Figure 5 - Overall structures of GSI, Structure Rating (SR) and Surface Condition Rating (SCR)

As a result of its construction, it has been demonstrated that the selection of a mining method is a procedure. It reflects the maturity level of the *Mo* rock mass quality assessment and the block geometry determined by using *HR*. Therefore, the GSI is neither a mass quality assessment system nor an empirical method for structural element dimensioning. The GSI is a part of a well-organised database presented as an array of numbers $[A]_{ijk}$. The purpose is to highlight the main patterns of mechanical properties obtained from laboratory and field (in situ) testing. Structural discontinuity of the rock mass is an underlying factor of effectiveness and the comprehensive study will require substantial financial and human resources.

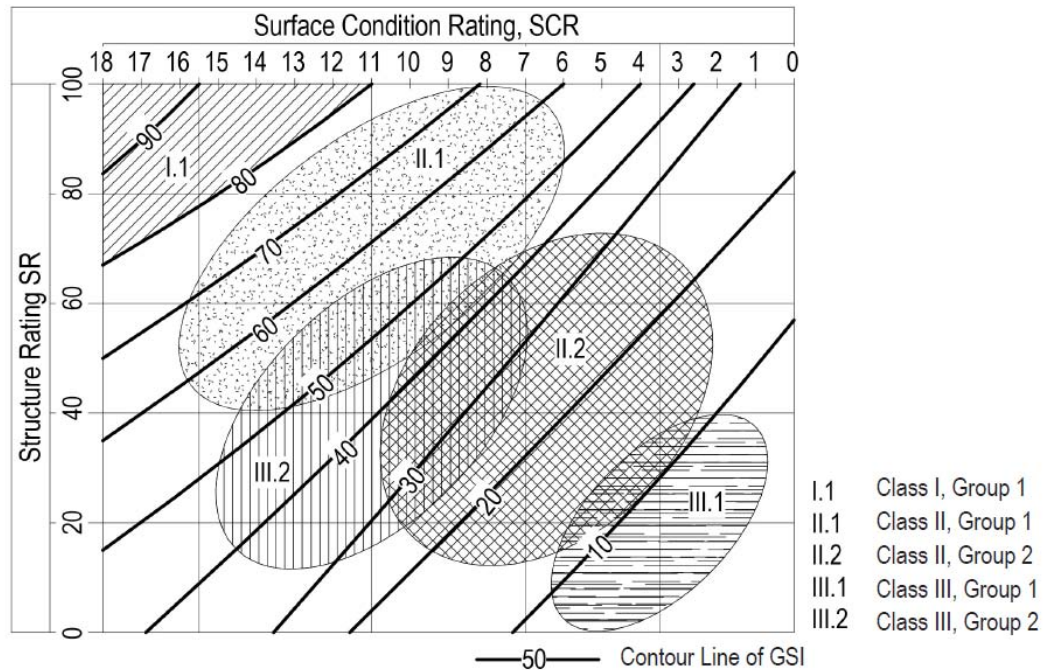


Figure 6 – Overall structure of GSI and applicability of some mining methods based on the $[MM]_{ijk}$

CONCLUSIONS

Among natural factors, ore and waste rock stability is viewed as the most important in the selection of an optimal mining method. To minimise subjectivity, a quantitative index is put forward to assess rock mass stability Mo . Based on this index, the rock mass falls into five classes: very unstable (vu), unstable (uu), medium stable (ms), stable (ss) and very stable (vs). Rock mass stability forms the basis of the mining methods classification proposed. It is based on two classification criteria, i.e. stope condition and production processes in the stope. An appropriate matrix code has been generated from the <class-group-subgroup-variant> structure of the mining systems and thus each mining method can be identified as a discrete entity. Using local and foreign experience, a dependency between the hydraulic radius HR and Mo modulus could be derived. This is a step towards the proof of the compatibility between Mo and the Geological Strength Index, GSI – a widely recognised and approved index employed in the study of properties of a jointed rock mass. Based on the long years of study into structural discontinuity, it can safely be concluded that jointing plays a crucial role in the behaviour and assessment of rock mass stability. An attempt has been made to relate the GSI to the other indices characterising the other strong but jointed rock masses. Thus, the following important conclusion can be drawn: the GSI is neither a rock mass quality assessment system nor an empirical method of dimensioning of structural elements. The GSI is a part of a well-organised database presented through an array of numbers $[A]_{ijk}$. The main goal is to systematically study the correlations of laboratory- and field-derived mechanical properties, i.e. the introduction of a series of correction factors, including the structural discontinuity coefficient.

REFERENCES

- Bulychov, N.S. (1994). *Механика подземных сооружений [Rock mechanics for underground Excavations]*, Moskva: Nedra.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., & Bawden, W.F. (1995). *Support of Underground Excavation in Hard Rock*. Rotterdam: A. A. Balkema.
- Mihaylov, G. (2011). Technological and Geomechanical Logistics for Underground ore mining. In Ed. Sinasi Eskikaya. *22nd World Mining Congress & Expo*, (pp. 493-499). Vol. II. Istanbul.
- Muller, L. (1971). *Инженерная геология. Механика скальных массивов. [Engineering geology. Rock mechanics]*, Moskva: Mir.
- Osgoui, R., Ulusay, R. & Unal, E. (2010). An assistant tool for the Geological Strength Index to better characterize poor and very poor rock masses. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 47, 690-697.
- Palmstrom, A. (1995). *RMi – A rock mass characterization systems for engineering purposes* (Doctoral Dissertation). University of Oslo.
- Wittke, W. (1990). *Механика скальных пород [Rock Mechanics]*, Moskva: Nedra.

ПОВИШАВАНЕ НА ИНТЕРМОДАЛНОСТТА НА ГРАДСКИЯ ТРАНСПОРТ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕТО НА III-ТИ МЕТРОДИАМЕТЪР НА МЕТРОТО В ГР. СОФИЯ

Инж. Борис Василев – „Метрополитен“ ЕАД, гр. София, email: radamant@abv.bg

INCREASING THE INTERMODALITY OF PUBLIC TRANSPORT DURING THE CONSTRUCTION OF THE THIRD METRO DIAMETER OF THE METRO IN THE CITY OF SOFIA

Eng. Boris Vasilev

ABSTRACT

The need of Intermodal connectivity between the types of transport in Sofia over the last 15 years has necessitated the adoption of specific decisions regarding the route of the Sofia metro extensions. This article aims to present the specific design solutions for the establishment of intermodal connections during the construction of the III Metro Diameter, as well as the decisions taken to improve transport connectivity in the city. Some short-term and long-term perspectives related to the creation of new intermodal connections in the capital will be presented. In any case, the future development of Sofia's transport infrastructure must take into account any possibility of intermodality.

Keywords: Intermodality; The Metro in Sofia; Third Metro Diameter;

Интермодалният транспорт е метод на транспортиране на хора или стоки посредством използването на два или повече вида транспорт (въздушен, железопътен, плавателен, автомобилен). Интермодалността разчита на свързаност между различните видове транспорт и транспортни мрежи. По този начин се оптимизира процеса на транспортиране според различни критерии – сигурност, бързина, цена, обслужване, екологичност и пр.

В годините след приемането на България в ЕС, интермодалността се превърна в основен критерии за одобряване на инфраструктурните проекти финансирани от европейски фондове. Идеята за интермодална свързаност изобщо не е нова. Повсеместно в Западна Европа (най – вече в развитите страни членки на ЕС) вътреградския транспорт с лични МПС е силно регулиран. Това осигурява драстичен спад на въглеродните емисии и устойчив растеж към екологично чисти градски агломерации. Тук трябва да споменем, че както при гражданските превози, така и при вътрешните и международни превози на стоки и товари в последните 20 години се наблюдава на железопътния транспорт. Този вид транспорт в Западна Европа е на 100% електрифициран и това води до нулеви въглеродни емисии при използването му.

Големите градове залагат на изграждането на транспортни хъбове при които доминира релсовият и жп транспортът. Най-често такива хъбове се изграждат в непосредствена близост до големите жп гари, където се прави връзката между междуградския/международен жп транспорт и местния градски транспорт, който е йерархично разпределен. За връзка с централните градски части се ползват линиите на метрото, а ако няма такова се използват трамваи. За връзка с близките населени места от градската агломерация се използва т. нар. градска железница, най-често използваща вече съществуващите жп линии, същия принцип се използва за връзка с градското летище – или линия на метрото, или т. нар. Шатъл който по смисъл е вид градска железница. Връзка с жилищните квартали се прави отново основно чрез линиите на метрото или трамваен транспорт в комбинация с довозващ квартален транспорт за който основно се ползват автобуси преоборудвани в електробуси. В последните десетилетия от особена важност за инфраструктурното строителство в градски условия в Европа стана пре моделирането на градската среда в районите на големите транспортни хъбове. Големи търговски центрове, Молове, магазини, ресторанти и пр., както и площи за отдих, паркове, градини, експозиции на открито на музейни и археологически експонати или предмети на местното и световното изкуство станаха неотделима част от интегрирането на градската среда около тези хъбове.

Модерното инфраструктурно строителство в България, е подчинено на изпълнението на Пан – Европейските програми за свързаност, намаляване на замърсяването и насърчаването на про –

екологични устойчиви практики. Най-добър пример за модерно инфраструктурно строителство в градска среда в България можем да дадем с изграждането на метрото в гр. София.

Повишаване на интермодалността при изграждането на I-ви и II-ри метродиа метър

Софийското метро осигурява интермодалност на видовете транспорт на няколко места, както и опит за „първично оформяне на транспортен хъб“ в района на Централна ЖП и Централна Авто гари.



Фиг. 1 Схема на Софийското метро към края на 2021 г.

Източник: „Метрополитен“ ЕАД

Идеята на изградените в различни точки на града буферни паркинги (МС „Бизнеспарк“, МС „Джеймс Баучър“, МС „ИЕЦ – Цариградско шосе“) е посещаващите столицата хора идващи със собствени МПС, да ги оставят на удобно място и да влезнат в града посредством линията на метрото. Интермодални връзки с различните типове междуградски / международен транспорт са осигурени на МС „Летище София“ със самолетен транспорт. На МС „Централна жп гара“ и МС „Искърско шосе“ със съответните линии на железниците. На МС „Сливница“, МС „Централна жп гара“ и МС „Фр. Жолио – Кюри“ с централната и регионалните автогари.

За съжаление истински интермодален хъб на територията на гр. София не е изграден, но вместо това видовете транспорти сравнително успешно се интегрират чрез използването на исторически вече съществуващи съоръжения за различните видове транспорт. Пример за такъв „първично (исторически) оформен транспортен хъб“ можем да дадем с МС „Централна жп гара“ – част от II-ри Метродиаметър, която свързва „Централна жп гара“ и „Централна автогара София“, а посредством вътресистемен трансфер на МС „Сердика“ дава и бърза връзка с „Летище София“. На територията на този транспортен хъб, пътуващите имат достъп и до спирки на трамвайния и автобусен транспорт по основните вътреградски линии, свързващи централната градска част с основните жилищни райони на столицата.

Повишаване на интермодалността при изграждането на III-ти метродиаметър и подобряване на транспортната свързаност в града
Етапи I и II

При проектирането и реализацията на Първи етап от III – ти Метродиаметър, при строителството на МС „Красно село“ трябва да бъде отбелязано постигането на интеграция на проекта за развитие на метрото с един отдавна замислен проект на Столична община за кръстовище на две нива отделящи трафика по бул. „Цар Борис III“ от този на бул. „Гоце Делчев“ и ул. „Житница“. В последните 20 години на това кръстовище се образуваха задръствания, показващи някои знакови несъвършенства в транспортната система на столицата. МС „Красно село“ бе изградена по Милански метод, а метротунелите бяха прокопани с помощта на ТПМ (Тунелопробивна машина).

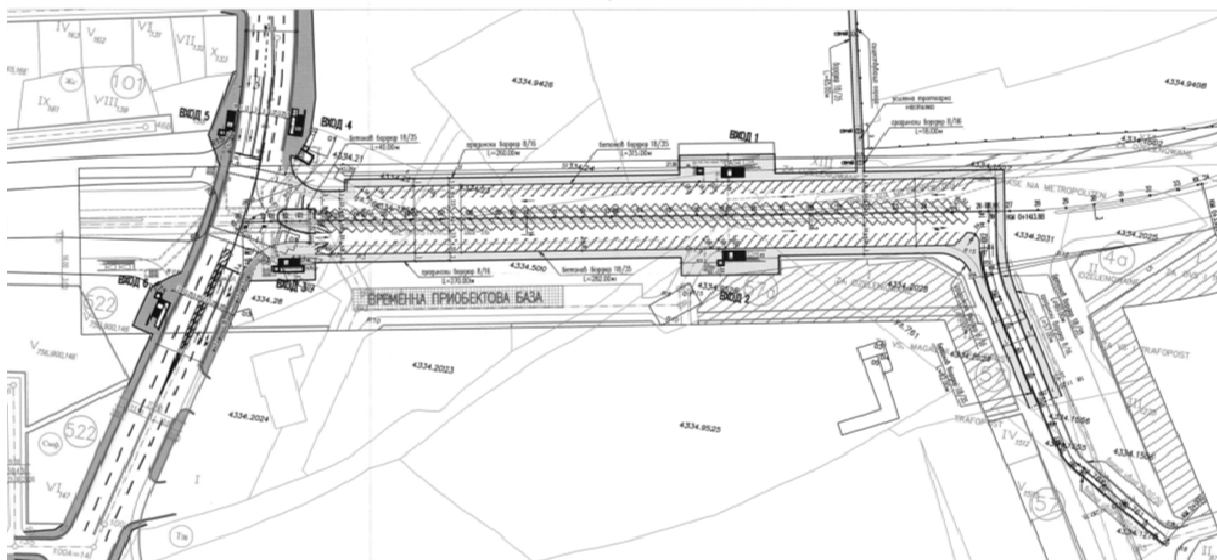


Фиг. 2 Кръстовището на бул. „Цар Борис III“ с бул. „Гоце Делчев“ и ул. „Житница“
Източник: Интернет

Жк. „Овча Купел“ десетилетия наред страда от една страна заради липсата на транспортна свързаност с останалата част на града, а от друга поради неразвитата вътре квартална улична мрежа. Успоредно със строителството на Метростанция „Овча Купел II“ от Етап 2 на Трети метродиаметър построена по милански метод, се извърши строителството на продълженията на улиците „Централна“ и „Промислена“, с което многократно се подобри вътре кварталната свързаност.

В последната година на строителство на МС „Мизия/НБУ“ построена чрез комбинация на открит способ и милански способ, Столична община променя инвестиционните си намерения относно площите над изградената вече метростанция. С цел да резервира бъдещото трасе на бул. „Западна тангента“ между ул. „Монтевидео“ и ул. „761“ инициира проект за изграждане на временен паркинг помещаващ се напълно в бъдещия габарит на бул. „Западна тангента“. По този начин Общината и „Метрополитен“ се

опитват да разрешат следните проблеми и да създадат следните благоприятни възможности: Кръстовището на ул. „Монтевидео“ и бул. „Западна тангента“ е изградено и урегулирано в постоянен габарит, но ще действа временно като вход/изход към паркинга; Новия булевард е изграден в целия си габарит (вкл. тротоарите) и включва решения по всички проектни части (Електро, Отводняване, Ул. Осветление); Решава се проблемът с откритото дере, като то преминава подземно в тръби стъклопласт ф1400 с входно и изходно съоръжения, като по този начин е съобразено с бъдещия план на СО за цялостно преминаване на дерето подземно; Отваря се автомобилна и пешеходна връзка на новообособения се жилищен квартал около ул. „761“ с ул. „Монтевидео“;



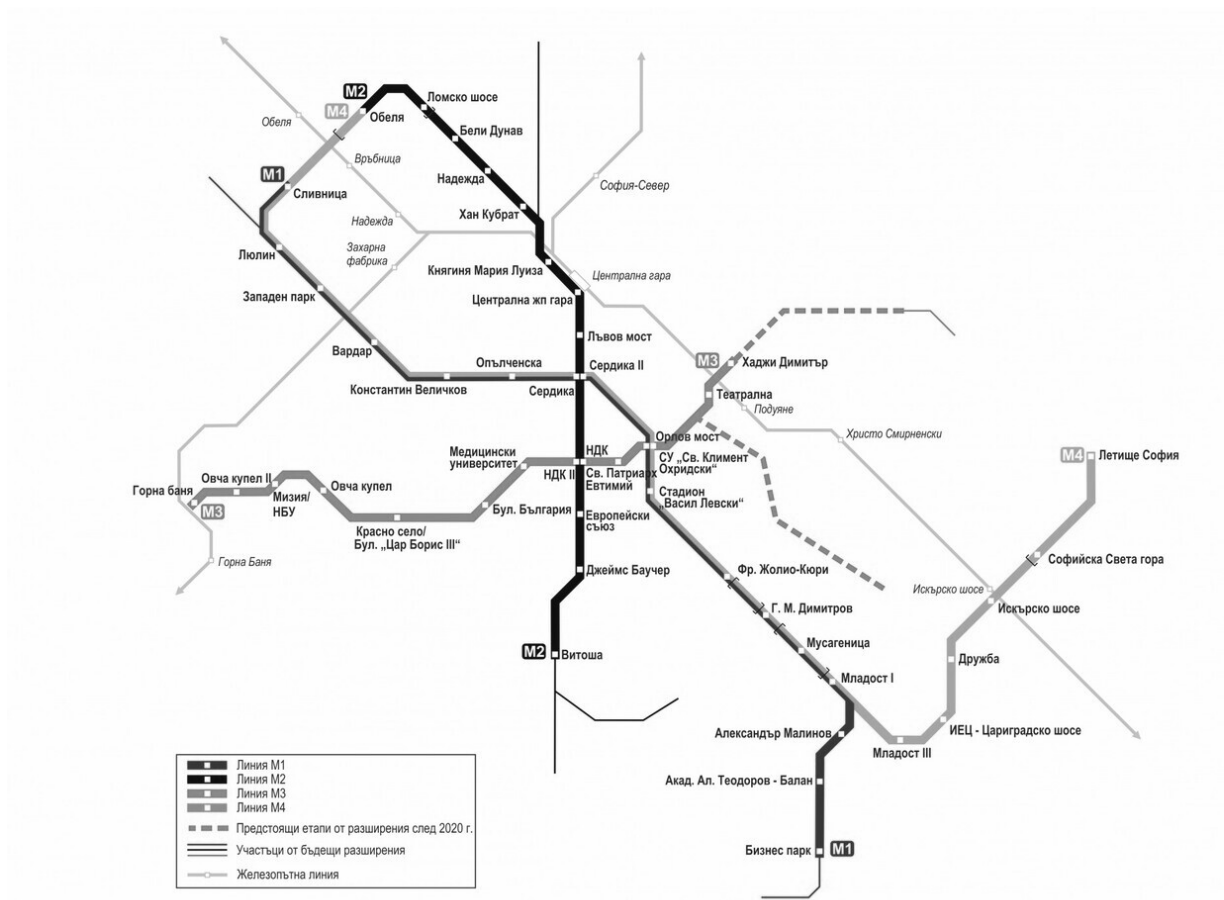
Фиг. 3 Временен паркинг при МС III-16 между ул. „Монтевидео“ и ул. „761“, жк. „Овча Купел I“
Източник: Архив „Метрополитен“ ЕАД

При планирането и проектирането на метростанция „Горна баня“ бе направен опит за създаване на един истински мини интермодален хъб. Метростанцията намираща се перпендикулярно на бъдещото уширено Околовръстно шосе се изгради в комбинация на открит способ и милански способ, а удължението на метротунела след нея за обръщане на движението се изпълни по НАТМ (Нов австрийски тунелен метод). Успоредно с изграждането на метростанцията се изгради буферен паркинг на няколко нива, както и връзка на метростанцията със съществуващата жп. спирка на линията София – Перник – Кулата. По този начин максимално се улеснява достъпа на хора идващи по това направление в столицата било с влак или автомобил. Времето за транспорт от слизането от влака на жп. спирката до слизането от метрото в Ларгото на София е около 25 минути.



Фиг. 4 Метростанция „Горна баня“ с буферен паркинг и жп. спирка
Източник: Интернет

Етапи III и IV и бъдещи перспективи



Фиг. 5 Метросхема и схема на съществуващите жп. линии в София
Източник: Архив „Метрополитен“ ЕАД

Трите метростанции от Етап III ще се изградят по милански метод, а тунелите между първите две ще бъдат изградени по НАТМ. Тунелът в последния участък, както и линейния обръщателен пункт след последната метростанция също ще бъдат изградени по милански способ. Именно върху линейния пункт след бъдещата метростанция в жк. „Левски Г“ е предвидено изграждането на буферен паркинг, който да поема автомобилите на влизащите в София от направление София – Варна през магистрала „Хемус“. Така допълнително ще бъде намален трафикът по бул. „Ген. Вл. Вазов“ и бул. „Ботевградско шосе“. От друга страна на пътуващите ще се осигури бърз превоз до центъра на Столицата, чрез линиите на метрото.

При проектирането на местоположението на метростанциите от Етап III е взето в предвид и местоположението на Автогара „Подуяне“ намираща се в близост до стадион „Г. Аспарухов“. Новата метростанция има за цел от една страна да свърже пътуващите по източно направление с автобус с центъра на София, а от друга страна да разтовари съществуващия градски транспорт при спортни и културни прояви, провеждащи се редовно на стадиона.

Етап IV на Трети метродиаметър в перспектива ще обслужва жителите на едни „по – вътрешни“ квартали на София, като жк. „Гео Милев“ и жк. „Слатина“, като ще се наблегне на решаването на вътрешните транспортни проблеми. По отношение на интермодалността и подобряването на транспортната свързаност на градско ниво, трябва да отбележим че бъдещата метростанция в близост до Зала „Арена Армеец“ ще реши проблема за достъпа до единствената мултифункционална зала в столицата.



Фиг. 6 Схема на бъдещо развитие на метрото
Източник: Архив „Метрополитен“ ЕАД

Бъдещото развитие на метрото в София върви ръка за ръка с идеята за повишаване на възможностите за интермодалност в столицата. Разбира се развитието на метрото зависи най – вече от осигуряването на финансиране. Ако досега финансирането е било чрез европейски финансови инструменти, то занапред Столична община и Правителството трябва да се нагърбят с отговорността за осигуряването на финансиране.

Като краткосрочни перспективи можем да посочим на първо място изграждането на интермодален терминал (метростанция и жп. спирка), между метростанции „Сливница“ и „Обеля“ на жп. линията София – Волуяк. Този проект се планира да бъде реализиран с близко сътрудничество между НКЖИ и Метрополитен.

Изграждането на още две нови метростанции и буферен паркинг след МС „Люлин“ в посока Околовръстен път ще има за цел обикране на все по – интензивния пътникопоток влизащ в столицата по направление София – Перник по автомагистрала „Люлин“.

Като по-дългосрочни перспективи свързани и с повишаване на интермодалните връзки можем да отбележим продължаването на II – ри метродиаметър до Околовръстното шосе и изграждането там на буферен паркинг. Като по – атрактивен за софиянци и гости на столицата също може да се разгледа и проектът за продължение на I – ви метродиаметър до станцията на лифта в кв. Драгалевци и по този начин свързването на почти всяка точка в София с планината Витоша.

ФАКТОРИ, ОБУСЛАВЯЩИ ОГНЕУСТОЙЧИВОСТТА НА ТУНЕЛИ СЪС СТОМАНОБЕТОННА ОБЛИЦОВКА

проф. д-р инж. Николай Жечев - МГУ "Св.Иван Рилски", катедра „Подземно строителство“

E-mail: n_rafailov@abv.bg

инж. Хрисимир Христов – управител „Суперстат 2000“ ЕООД

E-mail: superstat2000@gmail.com

инж. Рафаил Рафаилов –асистент МГУ“Св.Иван Рилски“, катедра „Подземно строителство“

E-mail: r_rafailov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ

Подценяването на пожароустойчивостта на стоманобетонните облицовки има тежки последствия при експлоатацията на тунелите. Подобен компромис от страна на инвеститори и проектанти произтича от недостатъчна информираност за измененията в бетона и стоманата при пожар. Поради тази причина са направени уточнения на температурните параметри, които е препоръчително да бъдат заложи в математическото моделиране на устойчивостта на тунелната облицовка.

Направен е преглед на съществуващите нормативи за пожароустойчивост и е изведена препоръка и в националните норми да се изпълняват изискванията на холандската RWS, въпреки че по света няма единен подход за решаване на проблема.

Формулирани са ограниченията на трафика, които съвместно със съдействието на вентилацията следва да бъдат отчетени при моделиране на контролния обем на пожара и конструктивното моделиране на облицовката.

Разработката изяснява основата на която следва да бъдат развити успешни математически модели, които да отразяват съществени страни на облицовката по време на пожар.

ABSTRACT

Underestimating the fire resistance of reinforced concrete linings has serious consequences in the exploitation of tunnels. Such compromise on the part of investors and designers stems from insufficient awareness of the changes in concrete and steel during fire. For this reason, clarifications have been made of the temperature parameters, which are recommended to be included in the mathematical modeling of the tunnel lining's stability.

A review of the existing fire resistance regulations was made and a recommendation was made to fulfill the requirements of the Dutch RWS in the national regulations, although there is no uniform approach to solving the problem worldwide.

Traffic restrictions are formulated, which together with the assistance of ventilation should be taken into account when modeling the control volume of the fire and the structural modeling of the linings.

The development clarifies the basis on which successful mathematical models should be developed to reflect the essential aspects of the lining during a fire.

1. Пожарозащита при стоманобетонни тунели – въведение в проблема

Редица инциденти показват, че пожарите са сериозна заплаха за конструктивната цялост на тунела, както по време на пожара, така и след него. Пожари могат да се случват по време на експлоатация на тунели (например пожарите в Тунела под Ламанша (Великобритания / Франция), 1996 г. и тунела Мон Блан (Франция / Италия), 1999 г.) – Фиг.1, както и по време на фазата на изграждане (напр. пожарът в тунела Great Belt (Дания), 1994 г.).

Правилната оценка на безопасността в случай на пожар адресира всички връзки в така наречената верига на безопасност: превенция, защита (пасивна и активна), последващи грижи и оценка. В настоящата разработка акцентът ще бъде поставен върху изискванията по отношение на конструктивната цялост на тунела, част от „защитата“.



Фигура 1. Последствия върху облицовката след пожара в тунел „Мон Блан

Въпросът за конструктивната цялост е важен. Ако тунелът не е адекватно защитен, това може да доведе до следните последствия.

- Загуба на целостта на конструкцията, което може да причини теч и дори да се срути, вероятно преди евакуацията да приключи;
- Големи преки разходи за ремонт, както и до големи косвени икономически щети поради дълготрайна невъзможност за експлоатация на съоръжението и т.н.
- Опасни ситуации (с неизвестен риск), в които трябва да работят аварийните групи (подпомагане на евакуацията и гасене на пожар).
- Нарушение на вентилационни тунели, пътища за евакуация, системи за закрепване на вентилационни системи, кабелни канали и др., което може да причини жертви и може да доведе до повишени последствия от самия инцидент.

2. Поведение на стоманобетона при пожар

Бетоните, които се използват в транспортните тунели строени по подземен способ, обикновено са смеси с висока якост, висока плътност и ниска порьозност, което влияе върху поведението на бетона при излагане на пожар.

При тези тунели доминиращият опасен процес е „срутване“. При условия на висока температура парчета бетон избухват далеч от повърхността с високи скорости. Точният механизъм на срутване все още не е напълно изяснен, но се смята, че до голяма степен се дължи на натрупването на налягане в бетона, което от своя страна се дължи на образуването на водна пара. На практика порестият бетон ще съдържа определено количество течна вода. Това очевидно ще стане водна пара, ако температурата на бетона надвишава 100°C. Ако натрупването на налягане на парите надвишава възможностите на бетонните пори да освободят налягането, тогава бетонът ще се разруши. При температури над 400°C калциевият хидроксид в бетонния цимент ще се дехидратира и ще произведе водна пара:



Този процес не само ускорява разграждането, но също така значително намалява здравината на бетона. В бетонните агрегати при повишени температури могат да възникнат химични процеси; например, кварцът претърпява минерална трансформация при 575°C, което води до увеличаване на обема и варовиковите агрегати ще се разпаднат при температури над 800°C:



Ако поръзността на бетона не е достатъчна, за да позволи газът да излезе, налягането ще се натрупа и ще настъпи по-нататъшно разпадане.

При определени видове бетон е наблюдавано разрушение при температури малко над 200°C. Освен това, след като процесът на разрушение стартира, няма вероятност да спре до пълно разрушение на конструкцията. Понастоящем няма общоприложим модел за прогнозиране или симулиране взривоопасно разрушение в различни състави от бетон, така че експерименталното изпитване на материали за облицовка на тунели е от съществено значение, преди те да бъдат използвани на практика.

Като **общ извод** може да бъде изведено правилото температурата на бетона да не надвишава 400°C, което се препоръчва в редица норми и следва да бъде заложено в изследванията като ограничително условие при оценка на риска и обезпечаване сигурността на облицовката. За бетони по специални рецепти горната граница на температурата следва да се установи експериментално чрез нагряване в пещ.

Освен, че оказват влияние върху бетонната смес, високите температури оказват влияние и върху армировката в бетона. Металите имат тенденция да се разширяват с повишаване на температурата и показват значително намаляване на носещата им способност. Например, при 700°C носещата способност на обикновената стоманена армировка ще бъде намалена до едва 20% от нейната стойност при нормална температура. Известно е също, че стоманите с ниско съдържание на въглерод показват синя крехкост между 200 и 300°C. В резултат на това се препоръчва стоманените армировки да бъдат защитени с допълнителни покрития от температури над около 250-300°C. По-благоприятно е при оценка на риска и изчисленията тази температура да бъде ограничително условие.

Подобно на повечето материали, бетонът също ще има топлинно разширение. Това може да доведе до огъване на бетонните елементи и евентуално до срутване на конструкцията.

Топлинните разширения на стомана и бетон са сходни в диапазона 0-400°C, но над тази температура поведението им при разширение е значително различно, което ще доведе до увреждащи напрежения в сместа. Този факт се добавя към препоръките за ограничаване на температурата на въздействието върху повърхността до 400°C.

Упоменатите закономерности и ограничителни условия в бетона и стоманата следва да залегнат във всяко изследване на риска и сигурността на тунелните облицовки.

Има две основни изисквания за противопожарна защита при стоманобетонни тунели: или (1) да бъде предотвратено или забавено натрупването на температура в бетона на облицовката на тунела; или (2) да бъде предотвратен или смекчен ефекта от прекомерния топлинен поток в материала за облицовка.

Методите за противопожарна защита попадат в две общи категории:

- (1) Пасивна противопожарна защита: напр. изолационни материали, ограничаващи потока на топлина от тунелната тръба в бетонната облицовка, обработка на бетона;
- (2) Активна защита от пожар: напр. водни спринклерни системи, премахващи топлината от пространството на тунела и охлаждащи стените.

Ще бъдат разгледани методите на пасивна защита.

3. Пасивна противопожарна защита

Пасивните мерки за противопожарна защита обикновено имат една от трите форми:

- (1) Вторичен слой от бетон или циментов материал, нанесен върху вътрешната повърхност на тунела;
- (2) Облицовка: панели от защитен материал, фиксирани към стените и тавана на тунела;
- (3) Добавяне на определени влакна и т.н., в основната бетонна смес, за да се направи бетонът по-пожароустойчив.

Друг метод за защита от пожар е просто преоразмеряване на компонентите: ако бетонните елементи са достатъчно големи, тогава, въпреки че може да се извърши известно нарушаване на повърхността, конструкцията ще може да издържи на температурни превишения за продължителен период от време.

Този подход може успешно да се съчетае с поддържащата конструкция на хидроизолацията при реконструкция на тунели.

Изисквания

В момента няма международни стандарти или законодателство, определящи нивото на противопожарна защита, което да се използва в тунелите. Единствената страна, която е определила определени стандарти, е Холандия.

Други държави имат също предписателни стандарти, например стандарта ZTV-RABT, използван в Германия. В Холандия Rijkswaterstaat (Министерство на благоустройството и управлението на водите, наричано по-долу RWS) носи отговорност за безопасността в тунелите. Техните изисквания са:

- температурата на стоманените армировки в бетона да не надвишава 250°C (за да се предотврати провисването и срутването);
- температурата на повърхността на бетона да не надвишава 380°C (за да се предотврати откъсване на късове).

RWS изискват тези критерии да бъдат изпълнени в случай на всички пожарни инциденти до пожар в цистерна (приема се като най-тежкият сценарий на пожар в тунел, който има много бърз растеж и води до много високи температури) с продължителност до 2 ч.

Международната стандартна крива време-температура ISO 834 се използва рутинно по целия свят за тестване на огнеустойчивите свойства на строителните компоненти.

Пожарите на превозни средства имат много по-бърз темп на растеж от кривата на ISO 834, надвишаващ 1000°C в рамките на 15 минути.

Пожарите, в които участват цистерни за гориво или други опасни товари, могат да нарастват по-бързо и да достигнат по-високи температури от тези на пожара на въглеводороди. Кривата на температурата на RWS надвишава 1100°C в рамките на 5 минути и достига пикове при 1350°C след 1 час. Тази крива е препоръчителна при търсене на обвивната линия на сигурността за пожароустойчивост при стоманобетонни облицовки.

Докато няколко други криви на температура - време могат да бъдат използвани за тестване на тунелни системи за противопожарна защита, две други са достойни за отбелязване.

В Германия системите за защита на облицовките на тунели се тестват според кривите RABT (Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln), известна още като кривата на ZTV-тунел (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen и EBA (Eisenbahn Bundesamt).

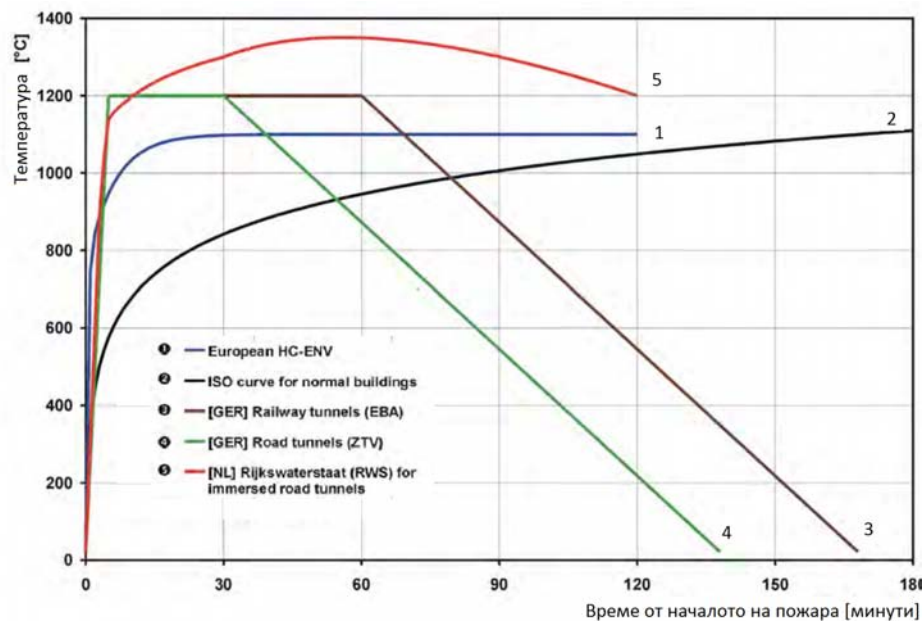
Тези криви се различават от описаните по-горе по това, че имат охлаждаща фаза след 30 минути (RABT) или 60 минути (EBA) – (Фиг.2).

Системи за вторични тунелни облицовки

Най-простата и често най-евтината форма на система за тунелна облицовка е нанасянето на слой изолационен материал върху вътрешните повърхности на първичната тунелна облицовка; те обикновено са известни като „пасивни термични бариери“. Често имат формата на вермикулитни цименти, които могат да бъдат пръскани върху тунела до достигане на нужната дебелина на облицовката.

За защита на бетоновата облицовка в убежищата в Монблан се използва сравнително нова форма на материал за облицовка на тунели. Това е "огнеупорен" керамичен циментов материал, наречен FireBarrier. Счита се, че FireBarrier има по-добра огнеустойчивост от традиционните вермикулитни цименти.

Трябва обаче да се прояви предпазливост при използването на такива пръскани материали. Има доказателства, че част от пръсканата изолация се нарушава при избухване на пожара, излагайки конструктивните елементи на изключително високи температури. Освен това, когато изолацията не е била разрушена, понякога се оказва, че тя е с недостатъчна дебелина, за да се противопостави ефективно на последвалия пожар.



Фигура 2. Времени - температурни криви, използвани за изпитване на системи за облицовка на тунели

Въпреки че полагането на покрития е от полза относно конструктивната защита, трябва да се отбележи, че това може да окаже въздействие върху развитието на самия пожар и върху безопасността на живота; ако повече топлина се излъчва обратно в пространството на тунела, това може да засили интензитета на огъня и да доведе до по-силен пламък. Освен това за целостта на покритието проблем при пожар може да се окаже сигурността на крепежните кредства.

Бетонови добавки

Включването на мононишкови полипропиленови влакна (1 kg m^{-3}) в бетон с ниска порьозност и висока якост, значително намалява риска от експлозия при излагане на тежки въглеводородни пожари (крива на RWS).

Стоманените влакна не допринасят за способността на бетонните смеси да се противопоставят на експлозивно разсейване, когато се използват без полипропиленови влакна.

Използването на органични покрития може да изглежда че решава много проблеми на пожарната защита на пръв поглед, но трябва да се отбележи, че тези покрития се декомпозират, за да образуват много органични продукти, някои от които могат да бъдат токсични, така че използването им в пътни тунели не се препоръчва.

Общият извод от разгледаните възможности за пожарозащита е, че огнеустойчивостта на стоманобетонната облицовка е препоръчително да се реализира при спазване на две ограничителни условия:

1. Да бъдат ограничени възможните максимални температури до 450°C като се отчетат ограничения в трафика и влиянието на вентилацията;
2. Да бъдат добавени в бетона мононишковы полипропиленови влакна.

За ограничаване на максималните температури до 450°C след оценка на риска освен отчитане на съдействието на вентилацията е необходимо да бъдат възприети следните ограничения за трафика:

- а) цистерни с пропан-бутан не трябва да се допускат за преминаване през тунела, без специални мерки за безопасност. Преминаването през тръбата при двупосочно движение на тези цистерни е недопустимо. Тогава опасните товари трябва да се насочват по обиколен на тунела маршрут поради недопустимо големия риск при инцидент;

- б) цистерни с втечен въглероден диоксид при еднопосочно движение могат да преминават през тунела, защото е много малка вероятността пожар в тунела едновременно да нагрива цистерната с CO₂, достатъчно близко до пожара. Преминаването на цистерни с втечен въглероден диоксид през тръбата при двупосочен трафик е неприемлив риск и следва този трафик да бъде пренасочен;
- в) цистерни в двигателни горива не трябва да се допускат за преминаване в тунела, без специални мерки за безопасност. Преминаването им през тунелната тръба при двупосочен трафик е неприемлив риск и също се налага пренасочване.
- Камионите, които превозват тези товари, освен нормираните обозначения, трябва да включват и допълнителни мигащи светлини и да преминават пред тунела с предвидените мерки за безопасност, като се движат само в дясната лента.

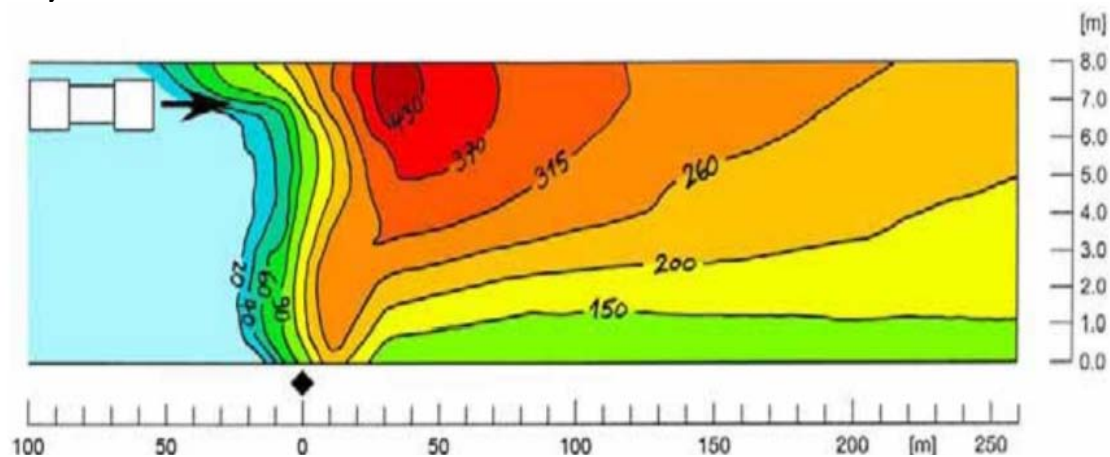
4. Моделиране на контролния обем на тунелни пожари

Температурите по височина на течението в зоната на горене се моделират числено с редица условности на естествено вариращите входни данни: височина на горивото, наклон на пламъка, вид на горивото, височина на тунела, размери на огнището, вентилация и пр. При това трябва да се отчете и времето на въздействие на температурата.

На основа на емпиричния опит и численото моделиране на пожари в подземни галерии при приетите ограничения на трафика и отчитане съдействието на вентилацията може да се приеме, че средната по височината на галерията температура е на височина 1/3 над пода на галерията.

Над тази височина температурите нарастват с ускорение до достигане на максималната температура в близост под ключа. За статическото изследване на пожароустойчивостта е редно да бъдат моделирани повече фактори като несиметрични пожари и различни зони на температурно нагряване.

За илюстрация на фиг.3 представяме численото интерпретиране на резултати от реален пожарен тест за тунел „Витиня“.



Фигура 3: Пожарен тест HRR 50 MW, 10 min след запалване

5. Заключение

От направения анализ на факторите обуславящи пожароустойчивостта на стоманобетонните тунелни облицовки може да бъдат направени средните изводи и препоръки за практиката:

1. Преди да бъдат правени компромиси с пожароустойчивостта на тунелните облицовки трябва проектантите и инвеститори да бъдат информирани за последствията от подценяване на проблема;
2. Направеното уточнение на измененията на бетона и стоманата при пожар ще способства за надеждното математическо моделиране на облицовките. Изведени са критичните температури, които да са ограничителни условия в изчислителния модел;

3. Няма общоприемлив подход и по тази причина е направен обзор на съществуващите нормативи. За основа с която следва да се съобразят националните норми е холандската RWS;
4. При моделиране на контролния обем при пожар следва да бъдат отчетени ограниченията на трафика и съдействието на вентилацията. Спазването на това изискване е условие за изпълнение на качествено изследване и проектиране на стоманобетонната облицовка.

Анализът на проблема спомага да бъде изяснена основата спомагаща за разработване на математически модели, които адекватно да отразяват действителната работа на конструкцията по време на пожар, както и за границите на температурата с които да се гарантира сигурността и дълготрайната експлоатация на облицовките.

Литература:

1. БДС EN 1991-1-2:2004 Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Част 1-2: Основни въздействия. Въздействия върху конструкции, изложени на пожар.
2. БДС EN 1992-1-2:2004 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-2: Общи правила. Проектиране на конструкции срещу въздействие от пожар.
3. Наредба Из-1971 за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар. Изд. „Итус“, С, 2013.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТТА НА СТОМАНОБЕТОННИ ТУНЕЛИ

проф. д-р инж. Николай Жечев - МГУ "Св.Иван Рилски", катедра „Подземно строителство“

E-mail: n_rafailov@abv.bg

инж. Хрисимир Христов – управител „Суперстат 2000“ ЕООД

E-mail: superstat2000@gmail.com

инж. Рафаил Рафаилов –асистент МГУ "Св.Иван Рилски", катедра „Подземно строителство“

E-mail: r_rafailov@mgu.bg

ABSTRACT

The existing practice of calculating the fire resistance according to table 5.8 of BDS EN 1992-1-2 according to the thickness of the lining is incorrect. The inaccuracy arises from the conditions that the regulation is intended for buildings and the tabulated results are from slab tests under free expansion in a furnace. These conditions do not apply to tunnel linings.

A general arrangement and program of activities for the study of tunnel linings in accordance with Eurocode requirements has been drawn up.

A temperature curve was selected and the temperature field along the thickness of the lining was determined using the finite difference method.

A computational model and software was developed for calculating the fire resistance of the linings. An iterative sequential linearization method is proposed to account for geometric and physical nonlinearity. An analysis of the results of the numerical study was made with the example of the lining of the "Vitinya" tunnel. In order to establish the effectiveness of the measures taken for the fire resistance of the investigated lining, a model experiment with local heating was carried out.

From the numerical and experimental results, conclusions and recommendations have been made for the design of new and inspection of the linings already built during previous reconstructions.

The research enriches the theory and practice of achieving durable and fire-resistant reinforced concrete linings.

1. Математически модел за пожароустойчивостта на стоманобетонна облицовка

1.1 Въведение в обема на задачата

В актуалната практика на страната все още битува схващането, че пожароустойчивостта на тунелните конструкции трябва да се изпълнява съгласно изискванията на БДС EN 1992-1-2 за предписания период от 90 минути (чл.471 и 482 от Наредба № РД-02-20-2) при определена оценка на риска мощност на пожар. Според дебелината на облицовката според т.5.7.2 от БДС EN 1992-1-2 и таблица 5.8 се търси дали изпълнява необходимите критерии обезпечаващи огнеустойчивостта на конструкцията за предписания период 90 минути. Описаният подход е некоректен по две причини.

Първо – цитираните членове и таблици се отнасят за сгради. Второ – резултатите произтичат от експерименти в пещ на плочи със свободно разширение, а при тунелните облицовки разширението е или възпрепятствано от напречни товари или ограничено по размер от предходни облицовки.

Постановката на задачата и резултатите ще бъдат демонстрирани с конкретен пример за третична облицовка укрепваща новата хидроизолация на тунел „Витиня“.

За определяне на стойностите на допълнителните вътрешни напрежения в стоманобетонната носещата конструкция ($d=60\text{cm}$) и в обшивката на тунела ($d=15\text{cm}$) при пожар в тунелната тръба (вследствие на аварии на превозни средства) са извършени следните проектни дейности:

1. Анализ на трите температурни криви и избор на проектна нормативна температурна крива „Време [s] – Температура [°C]“, съгласно с Еврокод БДС EN 1991-1-2[1];
2. Избрана е Въглеродородната крива за пресъздаване на ефектите от пожар при горене на въглеродороди. Тя е приета като нормативно входно въздействие. За заложеното в нея съотношение време-температура са извършени изчисленията на високо-температурни въздействия;
3. Съгласно нормативните изисквания, изчисленията са проведени за продължителност на въздействието $t=90\text{min}$ (от началото на пожара);
4. Определен е температурният градиент на скоростта на разпространението на температурата в дълбочина на бетоновата обшивка (в радиално направление на

тръбата). Съгласно с предписанията на Еврокод 2 [2] за точни анализи и изчисления, свързани с изменението на температурното поле в стоманобетонни елементи и конструкции е използван "Метод на крайните разлики";

5. Съгласно с Въгледородната крива и градиента определен в т.3 се отчита, че максималната температура при обшивката от 0.15m в контакта с основната конструкция на тунела в 90тата минута е 148°C (без отчитане на вентилацията и ограниченията в трафика), от което може да се счита, **че няма възможност за повреди на основната носеща конструкция на тунелната тръба**, при здрава стоманобетонна обшивка от 15cm;
6. Извършените изчисления съгласно от т.1 до т.6 показват, че при пожар в тръбата възникват мембранни напрежения на натиск в бетоновата обшивка до 7.0kN/cm², което е над изчислителните напрежения на натиск на бетона - съгл.Еврокод БДС EN1991-1-2, вследствие на което е прието да се изпълни и отчете влиянието на допълнителната вентилация и ограниченията в трафика в тунелните тръби и разгледаните ограничения в трафика – т.7;
7. Определяне на редуцията на температурната крива, вследствие на активната вентилация в тунела и ограниченията за опасни товари – (приложени са резултати от изчисления);
8. Изчислен е температурният градиент на разпространение на температурата в дълбочина на стоманобетонната обшивка от при наличие на активна вентилация и ограничения в трафика. Отчетено е сумарното въздействие от конвекционалната и радиационната компонента на топлинният източник - (приложени са резултати от изчисления);
Съставени са подробни геометрично нелинейни дигитални изчислителни модели на тунелната обшивка за изчисления по "Метод на крайните елементи" с използването на 3 вида крайни елементи – „Frame Element“, „Shell Element“ и „Nonlinear Gap Element“ (приложени са резултати от изчисления);
9. Извършени са компютърни изчисления за следните случаи на температурни въздействия:
 - **Стоманобетонна обшивка без контакт** към основната носеща конструкция на тунела. Температурно въздействие по Въгледородна крива, t=90min с принудителна вентилация и ограничения за трафика;
 - **Стоманобетонна обшивка с нелинеен контакт** към основната носеща конструкция на тунела, вследствие на дебелината на хидроизолацията. Използвани са „Nonlinear Gap Element“, осигуряващи движения в тяхно направление работещи само на натиск след преместване от 0 до 120mm. Прието е максимално възможно движение на облицовката на разглеждания пример от тунел „Витиня“ в радиално направление към основната носеща конструкция на тунела в диапазона на 7 – 7,5mm (съгласно с дебелината на предвидената за използване хидроизолация).
10. Оразмерителни проверки. Сравнени са получените в моделите напрежения в бетона и армировката с изчислителните съгласно на Еврокод БДС EN 1991-1-2. Приложени са резултати във вид на напрежения;
11. Извършен е реален експеримент за локално нагряване на зона от 1,2кв.м (правоъгълна мрежа 200x200mm) от облицовката на тунел „Витиня“ с газова горелка. Констатирано е съществено влияние на естествената вентилация върху разпределението на нагряването на точки от мрежата. Наблюдавано е и откъртване на малки люспи от повърхността на тротоарния бетон, вследствие на бързото разширяване на повърхностния слой и съответно изчерпване на опънната якост на бетона;
12. Извършен е анализ на резултатите и са направени предложения за намаляване на риска от пожар и минимизиране на щетите.

1.2 Избор на нормативна температурна крива

1.2.1 Температурни въздействия при пожар.

Еврокодът БДС EN 1991-1-2 предлага **три различни номинални криви** температура-време.

1.1. Стандартната крива температура-време е тази, която е най-използвана както в исторически план, така и днес, главно при стандартни огневи изпитания за класифициране на строителни елементи, а така също и за извършване на голям брой научни изследвания. Използва се да пресъздаде напълно развил се пожар в помещение, най-често в жилищни и административни (обществени) сгради. Често се споменава като ISO крива, тъй като изразът е взет от стандарта ISO834. Тя се дава със следния израз:

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1), \quad (1)$$

където θ_g е температурата на газовете в °C, а t е времето в минути.

1.2. Външната крива температура-време се използва за моделиране на топлинно въздействие при пожар, който се развива от външната страна по фасадни стени на сградата или на пламъците, излизащи през прозорците на помещение, разположено под или до външната стена. Външната крива се дава със следния израз:

$$\theta_g = 20 + 660(1 - 0,687 \cdot e^{-0,32 \cdot t} - 0,313 \cdot e^{-3,8 \cdot t}). \quad (2)$$

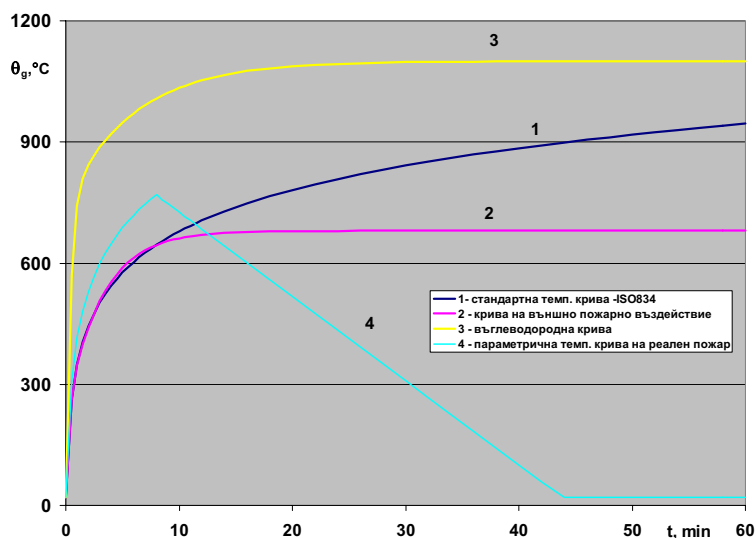
1.3. Въглеродородната крива температура-време се използва за пресъздаване на ефектите от пожар при горене на въглеродороди и се дава с изрази:

$$\theta_g = 20 + 1080(1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) \quad (3)$$

Тази крива представлява по-тежък температурен режим, надвишаващ стандартния и с по-висока скорост на нарастване на температурата. С нея се симулират пожари в: нефтопреработващата промишленост и нефтодобива на суша и в открито море, където съществува опасност от излагане на много интензивни пожари, като горенето на разлети нефтопродукти; **транспортни тунели**; в обекти на химическата промишленост и др.

Сравнението между стандартната и въглеродородната криви показва, че въглеродородната крива нараства много бързо и достига константна стойност от 1100 °C след половин час, докато стандартната крива нараства по-бавно и достига тази стойност приблизително за 2 часа като нараства постоянно във времето.

На фиг.1 е направено сравнение на номиналните и параметрични криви за пожари.



Фиг.1. Изменение на температурата при пожар

На база извършени редица експериментални изследвания е предложено специално за моделиране на пожари в тунели да се използва модифицираната крива (4) - с коефициент 1280 вместо 1080, която е най-близо до кривата на температурата на RWS:

$$\theta_g = 20 + 1280(1 - 0,325.e^{-0,167.t} - 0,675.e^{-2,5.t}). \quad (4)$$

Тази крива се използва в редица страни – Франция, Швейцария, Австрия – за моделиране на пожари при проектиране на пожарната защита на автомобилни и жп тунели.

Когато средата е представена от температурата на газовете, какъвто е случая за моделиране на топлинния поток върху повърхността на строителния елемент, то той се определя по следната формула:

$$h_{net} = \alpha_c(\theta_g - \theta_m) + \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4], \quad (5)$$

където α_c е коефициент на конвективен топлообмен, който се приема за 25 W/m².K при стандартно пожарно въздействие - зависимост (1), или 50 W/m².K при използване на въгледородната крива - зависимост (3 и 4), θ_g е температурата на газовете до повърхността, изчислена по някоя от кривите или приета за 20 °C, θ_m е температурата на елемента (изменението на която трябва да се изчисли), Φ е коефициент на конфигурация, който обикновено се приема за 1, но може и да се изчисли по анекс G на [1], ε_m е излъчвателна способност на повърхността на елемента, която се приема за 0,8 за бетон и други материали, ε_f е излъчвателна способност на пожара 0,8-0,85, ако е неизвестна в полза на сигурността се приема за 1, σ е константата на Болцман равна на 5,67.10⁻⁸ W/m².K⁴, а θ_r е излъчвателна температура на средата на пожара, която се приема за равна на θ_g в случай на напълно обгърнати от пожара елементи.

Другата опция за получаване на температурното въздействие в случай на пожар **са параметрични температурни криви**. Те са аналитични функции, които дават изменението на температурата на газовете в помещението във функция от времето, на базата на параметри, които описват най-важните физични явления – методиката е посочена в приложение А на БДС EN 1991-1-2:2004 [1], но тя не се отнася за пожари в тунели. За целта се правят специално организирани експерименти, наречени натурни експерименти – в стари или изоставени тунели или подобни помещения.

1.2.2 Определяне на температурното поле по метода на крайните разлики. Обща постановка

За определяне на огнеустойчивостта на стоманобетонни елементи се използват инженерни методи – таблични и други приблизителни методи, посочени в БДС EN 1992-1-2:2004 [2]. За по-точни анализи и изчисления, свързани с изменението на температурното поле в стоманобетонни елементи и конструкции Еврокод 2 [2], препоръчва да се използват известни от строителната топлофизика методи – на крайните разлики или на крайните елементи.

Повишението на температурата на бетона зависи от температурата в помещението, дебелината на конструкцията δ , топлофизичните характеристики на бетона, влажността и начина на закрепване на приложената огнезащита (откъм пожара) – в случая защитни слоеве бетон са 3x0,05 м=0,15 м.

Преносът на топлина от горещите газове към повърхността на строителните конструктивни елементи е чрез комбинация от конвекция и излъчване и нормално се отчита в граничните условия, характеризиращи топлообмена откъм нагряваната страна (откъм пожара). Преносът на топлина в конструктивния елемент става чрез топлопроводност и се основава на добре познатото уравнение на Фурие от топлопренасянето [3].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + Q = \rho_c \cdot c_c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (6)$$

където λ_c е коефициент на топлопроводност на бетона, Q е вътрешен източник на топлина, който е равен на 0 в случай на негорими елементи, ρ_c е плътността на бетона, c_c е специфичната топлина на бетона, θ е температурата в бетонния елемент и t е времето.

Решението на уравнение (6) се извършва при нелинейни гранични условия от 3 род за изменението на температурата на средата θ_g - виж зависимости (1,3-4) и за коефициентите на топлообмена - (7-10). Откъм страната на стоманобетонната конструкция в полза на сигурността са приети адиабатни условия или липса на топлообмен, т.нар. идеална топлинна изолация (ИТИ).

Температурното поле, което съответства на горния израз в конструктивния елемент следва да удовлетворява следните гранични условия.

- предписани температури $\bar{\theta}$ върху част Γ_θ от границата;
- определен топлинен поток $\bar{q}$ върху част Γ_q от границата;
- пренос на топлина чрез конвекция между частта Γ_c от границата при температура θ и обкръжаващата нормална температура θ_∞

$$q_c = \alpha_c (\theta - \theta_\infty) \quad \text{на } \Gamma_c, \quad (7)$$

където α_c е коефициент на топлопроводност чрез конвекция $W/m^2.K$, а q_c е топлинният поток от конвекция на единица площ.

- пренос на топлина чрез излъчване между частта Γ_r от границата при абсолютна температура θ и пожарната среда при абсолютна температура θ_r

$$q_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (\theta^4 - \theta_r^4) \quad \text{на } \Gamma_r, \quad (8)$$

където σ е константата на Стефан Болцман ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$), ε е коефициента на излъчване, а q_r е топлинният поток от излъчване на единица площ. Този израз може да стане линеен както следва:

$$q_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (\theta^4 - \theta_r^4) = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (\theta^2 + \theta_r^2)(\theta + \theta_r) \cdot (\theta - \theta_r) = \alpha_r (\theta - \theta_r), \quad (9)$$

където α_r може да се приеме като коефициент на топлопренасяне чрез излъчване.

В случай на комбинация от пренос чрез конвекция и излъчване и както обикновено става $\theta_r = \theta_\infty$, комбинирания топлинен поток се дава чрез:

$$q_{cr} = q_c + q_r = \alpha_c \cdot (\theta - \theta_\infty) + \alpha_r (\theta - \theta_r) = \alpha_{cr} \cdot (\theta - \theta_\infty), \quad (10)$$

където $\alpha_{cr} = \alpha_c + \alpha_r$ е комбиниран коефициент на топлопренасяне чрез конвекция и излъчване, който зависи от температурата.

Началните условия са приети $\theta(x, t) = \theta_0 = 20^\circ C$

Топлофизичните свойства на бетона са посочени в [2]. Те са следните:

Коефициент на топлопроводност на бетона $\lambda_{c,\theta}$ в интервала от 20 до 1200 °C:

$$\text{Горна граница: } \lambda_{c,\theta} = 2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100} \right)^2; \quad (11)$$

$$\text{Долна граница: } \lambda_{c,\theta} = 1,36 - 0,136 \frac{\theta}{100} + 0,0057 \left(\frac{\theta}{100} \right)^2. \quad (12)$$

Специфичен топлинен капацитет на бетона $C_{p,\theta}$ в интервала от 20 до 1200 °C:

$$C_{p,\theta} = 900 J/kg.^{\circ}C \quad 20 \leq \theta \leq 100^\circ C; \quad (13)$$

$$100 < \theta \leq 200^{\circ}\text{C} \quad C_{p,\theta} = 900 + (\theta - 100) J/kg.^{\circ}\text{C}; \quad (14)$$

$$200 < \theta \leq 400^{\circ}\text{C} \quad C_{p,\theta} = 1000 + (\theta - 200)/2 J/kg.^{\circ}\text{C}; \quad (15)$$

$$400 < \theta \leq 1200^{\circ}\text{C} \quad C_{p,\theta} = 1100 J/kg.^{\circ}\text{C}. \quad (16)$$

Плътност на бетона:

$$\rho_{p,\theta} = 2300 \text{ kg/m}^3 \quad 20 \leq \theta \leq 115^{\circ}\text{C}; \quad (17)$$

$$\rho_{p,\theta} = 2300 \left(1 - 0,02 \frac{\theta - 115}{85} \right) \text{ kg/m}^3 \quad 115 < \theta \leq 200^{\circ}\text{C}; \quad (18)$$

$$\rho_{p,\theta} = 2300 \left(0,98 - 0,03 \frac{\theta - 200}{200} \right) \text{ kg/m}^3 \quad 200 < \theta \leq 400^{\circ}\text{C}; \quad (19)$$

$$\rho_{p,\theta} = 2300 \left(0,95 - 0,07 \frac{\theta - 400}{800} \right) \text{ kg/m}^3 \quad 400 < \theta \leq 1200^{\circ}\text{C}. \quad (20)$$

1.2.3 Числено изследване за определяне на температурното поле в бетонната конструкция

Числените методи като метода на крайните разлики или метода на крайните елементи се прилагат обикновено за решаване на този тип проблеми, свързани с преноса на топлина [3].

Откъм нагриваната повърхност (откъм страната на пожара) е прието пожарно въздействие по законите (1, 3 и 4).

Откъм страната на стоманобетонната конструкция са приети адиабатни условия на топлообмена - ИТИ, т.е. липса на топлообмен, което е в полза на сигурността.

Използвани са нелинейни топлофизични характеристики на бетона, посочени по-горе:

За $\lambda_{c,\theta}$ - зависимост (11), в полза на сигурността;

За $C_{c,\theta}$ и $\rho_{p,\theta}$ - зависимости (13-16) и зависимости (17-20).

Забележка: теоретичното изследване не може да отчете начина на закрепване на приложения бетон; прието е, че влажността на бетона е под 2 %, което изключва явлението взривообразно разрушаване на бетона.

В таблици от 1 са дадени, получените резултати за изменението на температурата в приложения бетон с дебелина 0,15 м за случая на пожарни въздействия в продължение на 150 минути през 10 min. За по-нататъшни изследвания се приемат разпределението на топлината по зависимост (1)

1.2.4 Определяне на редуцията на температурната крива при наличие на ограничения в трафика и активна вентилация

Таблица 1: Изменение на температурата в отделните слоеве на стоманобетонната конструкция с отчитане на влиянието на вентилацията и ограничения в трафика по зависимост (1)

Време	$\theta_{G,t}$	$\theta_{1,\tau}$	$\theta_{2,\tau}$	$\theta_{3,\tau}$	$\theta_{4,\tau}$	$\theta_{5,\tau}$	$\theta_{6,\tau}$	$\theta_{7,\tau}$
0	20	20	20	20	20	20	20	20
10	450	209,7554	76,50536	33,2087	22,39075	20,33875	20,03852	20,007
20	450	268,7353	130,6883	63,5088	34,72886	24,26546	21,09474	20,4486
30	450	299,5026	166,897	91,501	51,50093	32,50438	24,73678	22,72355
40	450	319,0603	193,1235	114,8562	68,45224	43,10559	31,081	27,60913
50	450	332,8603	213,2328	134,286	84,3286	54,71765	39,48171	34,83678

60	450	343,2743	229,3625	150,8719	99,00438	66,67215	49,23802	43,76343
70	450	351,5095	242,7226	165,3239	112,5577	78,63976	59,80091	53,78077
80	450	358,2548	254,0842	178,128	125,1453	90,42575	70,77047	64,41955
90	450	363,9376	263,9642	189,6621	136,9495	101,944	81,87618	75,34513
100	450	368,84	272,7218	200,1941	148,0675	113,0904	92,92887	86,32939
110	450	373,1527	280,6087	209,9224	158,5729	123,8567	103,7921	97,20781
120	450	377,0088	287,8063	218,9843	168,5418	134,2383	114,3436	107,8281
130	450	380,5008	294,4403	227,4735	178,0196	144,2184	124,5486	118,0943
140	450	383,6942	300,6014	235,4623	187,0433	153,8041	134,3965	127,9354
150	450	386,6364	306,357	243,0072	195,6437	162,9901	143,8341	137,3969

Температурно въздействие в случай на пожар и наличието на ограничения в трафика и принудителна вентилация – приема се постоянно въздействие от 450°C (Виж колона 2 в таблица 1)
 Температурите в най-външния слой на обшивката ($t=150\text{mm}$) не надвишават 364°C ;
 в слоя на обшивката при контакта с основната конструкция и хидроизолацията не надвишават 75°C.

На тази база може да се приеме, че при налична обшивка от 15cm, основната носеща конструкция на тунела, поемаща усилията от въздействията на околния масив не е застрашена якостно при екстремни температурни въздействия.

1.3 Изчислителни модели с използване на метод на крайни елементи

1.3.1 Основни предпоставки за моделиране

Моделирането е представено за нова вътрешна облицовка на тунел „Витиня“. Тази облицовка е противопожарна преграда, която осигурява безопасността на основната конструкция на тунела и целостта на хидроизолацията. За получаване на допълнителните вътрешни усилия в стоманобетонната конструкция на обшивката са съставени два 3D цифрови модела за изчисления по Метод на крайните елементи:

- „Модел 1“, състоящ се от 294 броя (SHELL) равнинни крайни елементи. Този модел е без връзки между носещата конструкция на тунела и обшивката;
- „Модел 2“, състоящ се от 294 броя SHELL равнинни крайни елемента на бетона и 41броя Nonlinear Gap Element елементи. Армировката е моделирана с 84 броя FRAME прътови крайни елементи. Този модел е с геометрично нелинейни връзки между носещата конструкция на тунела и обшивката. Нелинейните връзките работят само на натиск и то след преместване в тяхното осово направление по-голямо от ширината на фугата между съществуващата и новата облицовки (дебелината на вложената хидроизолация). За анализиране на влиянието на дебелината на вложената хидроизолация, са проведени изчисления за дебелини на изолацията $d = 0\text{mm}, 3,75\text{mm}, 7,5\text{mm}, 15\text{mm}$ и 120mm ;
- „Модел 3“, състоящ се от 50 броя (FRAME) прътови крайни елементи. Този модел е в два варианта – с и без връзки между носещата конструкция на тунела и обшивката от 15cm. По принцип, използвания прътов елемент позволява само прилагането на линейно изменящ се градиент на температурата по височината на сечението, поради което „Модел 3“ е оценен като не достатъчно подходящ за моделиране на облицовката;

В „Модел 2“ чрез итерации е отчетена геометричката нелинейност (реално само натиск) в контакта между носещата конструкция на тунела и обшивката, следствие разширенията на стоманобетонна обшивка при пожар.

Получени са напреженията в отделните бетонни и армировъчни слоеве за $t=90\text{min}$ след началото на пожара. Получените напрежения са сравнени с приетите в Eurocode 2 диаграми за връзката $\sigma - \epsilon$ за

Предложеният метод на решение е разновидност на метода на простите итерации в математиката за решение на система линейни уравнения и на метода на последователна линеаризация в строителната механика.

Първата стъпка от решението е по стандартната процедура на метода на крайните елементи при еластична постановка при заложен среден еластичен модул E_{cm} за използвания клас бетон. Първият резултат на първата итерация е получаване на стойността на $\sigma_2 = ?$.

На второ място се допуска, че до напрежения $\sigma_1 = f_{cd}$ работната диаграма на бетона е по линейна зависимост. Тогава може да се запише тригонометричното уравнение:

$$E_1 = E_{cm} = tg \frac{f_{cd}}{\varepsilon_1} \quad (21) \quad \text{от което се определя за всеки слой от облицовката относителната}$$

деформация $\varepsilon_1 = ?$, което дава стойността на възпрепятстваната деформация и с което първата итерация завършва. Тази итерация е първия опорен план на итерационната процедура.

Втората итерация започва с решение на тригонометричното уравнение:

$$E_1 = E_{cm} = tg \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2} \quad (22) \quad \text{от което се определя за всеки слой относителна деформация } \varepsilon_2 = ? .$$

Оттук нататък изчисленията продължават по начина на определяне на секущия модул към работната диаграма на бетона след решение на уравнението:

$$E_2 = tg \frac{f_{cd}}{\varepsilon_2} \quad (23) \quad \text{се определя стойността на напрежението за всеки слой } \sigma_3 = ? \text{ с което}$$

приключва и втора итерация.

При трета итерация след решение на уравнението:

$$E_2 = tg \frac{\sigma_3}{\varepsilon_3} \quad (24) \quad \text{се определя стойността } \varepsilon_3 = ? \text{ и се изчислява за всеки слой новият модул}$$

$$E_3 = tg \frac{f_{cd}}{\varepsilon_3} \quad (25) \quad \text{се изчисляват напреженията } \sigma_4 = ? \text{ и приключва трета итерация}$$

Процесът може да бъде обобщен със следните зависимости

$$E_{i-1} = tg \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad \varepsilon_i = ? \quad E_i = tg \frac{f_{cd}}{\varepsilon_i} \quad \sigma_{i+1} = ? \quad (26)$$

Итерациите продължават докато за всеки слой от облицовката разликата в модулите не надвишава 3%. При изпълнение на два критерия $\sigma_{i+1} \leq f_{cd}$ за бетона и $\sigma_{a,i+1} \leq f_{yd}$ за армировката се счита, че изчисленията са коректно завършени и процесът е сходящ. В случай, че критерият не може да бъде изпълнен процесът е разходящ и би следвало да се увеличат или дебелината, или класа на бетона, или количеството на армировката.

2. Резултати от числен експеримент изследване за пожарно въздействие

Резултатите от използвания метод на изчисление с отчитане на физическата нелинейност, за долните и горни два слоя от напречното сечение на новата 7-слойната третична облицовка в зоната на свода са представени в Табл.2.

От резултатите с отчитане на геометричната и физическа нелинейност следват изводи и препоръки:

1. За фуги от 0 до 4мм сечението на вътрешната облицовка при пожар е изцяло натиснато;
2. Максималните напрежения в долната армировка са при ширина на фугата 0мм в размер 5 242кг/см², което надхвърля границата на провлачане за стомана S500;
3. Напреженията в долната армировка са в границите на изчислителното съпротивление при фуга над 5мм;
4. Над 5мм напреженията в бетона и армировката стават двузначни;

- Напреженията в бетона са под изчислителните за натиск и за опън;
- Методът дава сходимост по упоменатите критерии на третата итерация;
- Препоръчителният размер на фугите е от 5 до 10мм. При фуги над 20мм поведението на облицовката се приближава до свободно разширение.

Таблица 2: Напрежения $[kN/cm^2]$ в бетона при крайни слоеве 1,2,6,7, долната и горна армировки

Изчисл.	Ширина на фугата за хидроизолация [cm]									
	0		0,375		0,75		1,5		12	
	Първа стъпка	Крайна стъпка	Първа стъпка	Крайна стъпка	Първа стъпка	Крайна стъпка	Първа стъпка	Крайна стъпка	Първа стъпка	Крайна стъпка
Слой № 1	-12,29	-3,53	-10,45	-3,5	-8,66	-3,48	-6,62	-2,64	-7,88	-2,36
2	-8,86	-3,47	-7,03	-3,49	-5,23	-3,69	-3,21	-1,58	-4	-0,78
6	-2,6	-2,62	-0,79	-0,79	0,96	0,022	2,94	0,13	4,01	0,2
7	-2,39	-2,42	-0,59	-0,59	1,17	0,028	3,13	0,13	4,66	0,22
σ_{a1}	-52,21	-52,42	-41,47	-41,48	-30,98	-30,79	-19,09	-9,6	-22,21	-6,3
σ_{a2}	-20,29	-20,5	-9,68	-9,7	0,68	0,88	12,34	21,75	17,39	41,24

(2)

3. Резултати от реален експеримент за локално нагряване

3.1 Постановка на експеримента

За експеримента е използвана газова горелка с топлинна мощност около 13 kW, измерена по количеството изгорена газ. Това означава, че експериментът е 8000 пъти с по-малка мощност от проектния за пожароустойчивост. Бетонът на облицовката с дебелина 15см е армиран с двойна мрежа и е с добавка от полипропиленови нишки. За избора на параметрите на нагряване е търсено удовлетворяване на следните гранични условия, изведени по-горе:

- Температурата на бетона да достигне над $100^{\circ}C$, за да се провери ефекта от полипропиленовите нишки за контролиране на налягането в бетона срещу разрушение;
- Температурата на бетона да бъде до $230^{\circ}C$, за да не настъпи разрушение на случаен принцип;
- Температурата на армировката да не преминава горния препоръчителен праг от $250^{\circ}C$;
- Температурата на пламъка да бъде под $450^{\circ}C$. Възприета е температура $350^{\circ}C$.

Върху повърхността на облицовката се разграфява експериментален участък $1,2/1m$ с очертана мрежа през 0,2м. Нагряват се участъци с размери $1/1m$, $1,2/1m$, $0,4/0,4m$, $0,6/0,8m$ за период от 1 до 10 минути, със и без отвор – Табл.3.



Фиг. 4: Разграфена експериментална повърхност и начин на следене на температурата на облицовката

3.2 Резултати от експеримента

Таблица 3. Резултати от експеримента с локално нагряване

(3)

Таблица 6. Резултати от експериментна оценка на нагряване										
Общо положение	Първи опит	Втори опит	Трети опит	Четвърти опит		Пети опит		Шести опит		
	Нагрява се площ 1м/1,2м (вертикално/хоризонтално)	Нагрява се площ 1м/1,2м (вертикално/хоризонтално)	Нагрява се площ 1м/1,2м (вертикално/хоризонтално)	Нагрява се площ 40/40 см		Нагрява се площ 40/40 см с направен отвор в центъра с дълбочина 13 см		Нагрява се площ 60/80 см (вертикално/хоризонтално) с направен отвор в центъра с дълбочина 13 см		
Продължителност на нагряването	1 мин.	1 мин.	1 мин.	1 мин.		3 мин.		10 мин.		
Температура на пламъка	350 °C	350 °C	350 °C	350 °C		210 °C		350 °C		
Температура на бетона в средата на правоъгълника преди започване на опита	13 °C	-	-	-		71 °C		-		
Температура на бетона в средата на правоъгълника след завършване на опита	104 °C	-	140 °C	163 °C	Отчет 3 мин. след спирание на нагряването - 115 °C	120 °C	Отчет 2 мин. след спирание на нагряването - 84 °C	116 °C	Отчет 2 мин. след спирание на нагряването - 92 °C	Отчет 10 мин. след спирание на нагряването - 74,5 °C
Температура на бетона в отвора след завършване на опита	-	-	-	-		115 °C	Отчет 2 мин. след спирание на нагряването - 84 °C	122 °C	Отчет 2 мин. след спирание на нагряването - 93 °C	Отчет 10 мин. след спирание на нагряването - 74,2 °C
№ точка	Отчетена температура	Отчетена температура	Отчетена температура	Отчетена температура		Отчетена температура		Отчетена температура		
1	14,7 °C	13 °C	12,5 °C	13 °C		12 °C		16 °C		
2	14,1 °C	13 °C	-	-		-		22 °C		
3	14,1 °C	13 °C	-	-		12 °C		29 °C		
4	14,1 °C	13 °C	-	-		15 °C		36 °C		
5	14,1 °C	13 °C	-	-		19 °C		39 °C		
6	14,1 °C	13 °C	18 °C	-		18 °C		33 °C		
7	14,1 °C	13 °C	14 °C	18 °C		14 °C		25 °C		
8	-	13 °C	-	12 °C		-		17 °C		
9	-	13 °C	-	12 °C		-		51 °C		
10	13,7 °C	13 °C	-	15 °C		-		105 °C		
11	-	13 °C	-	25 °C		-		107 °C		
12	-	13 °C	31 °C	35 °C		-		104 °C		
13	16,9 °C	13 °C	17 °C	23 °C		-		86 °C		
14	-	13 °C	14 °C	16 °C		-		31 °C		
15	13 °C	13 °C	-	12 °C		-		-		
16	12,9 °C	-	-	12 °C		-		-		
17	13,4 °C	16 °C	16,4 °C	77 °C		100 °C		133 °C		
18	74 °C	145 °C	130 °C	132 °C		114 °C		148 °C		Отчет 10 мин. след спирание на нагряването - 76,7 °C
19	40 °C	50 °C	66 °C	76 °C		60 °C		135 °C		
20	14 °C	14 °C	-	43 °C		-		-		
21	13 °C	14 °C	-	-		-		-		
22	12 °C	12 °C	-	-		-		-		
23	12 °C	12 °C	-	-		-		-		
24	12 °C	12 °C	16 °C	86 °C		115 °C		132 °C		-
25	37 °C	150 °C	230 °C	104 °C		102 °C		138 °C		Отчет 10 мин. след спирание на нагряването - 77,6 °C
26	14,4 °C	15 °C	17 °C	80 °C		66 °C		132 °C		-
27	-	13 °C	-	-		-		-		-
28	12,3 °C	12 °C	-	-		-		-		-
29	12 °C	12 °C	-	-		-		-		16 °C
30	12 °C	12 °C	-	-		-		-		50 °C
31	12 °C	12 °C	14 °C	42 °C		40 °C		-		90 °C
32	12 °C	12 °C	14 °C	-		49 °C		-		85 °C
33	12 °C	12 °C	14 °C	55 °C		31 °C		-		85 °C
34	12 °C	12 °C	14 °C	-		-		-		60 °C
35	12 °C	12 °C	14 °C	-		-		-		19 °C
36	12 °C	12 °C	13 °C	13 °C		13 °C		-		14 °C
37	12 °C	12 °C	13 °C	13 °C		13 °C		-		14 °C
38	12 °C	12 °C	13 °C	13 °C		13 °C		-		15 °C
39	12 °C	12 °C	13 °C	13 °C		13 °C		-		16 °C
40	12 °C	12 °C	13 °C	13 °C		13 °C		-		16 °C
41	12 °C	12 °C	13 °C	13 °C		13 °C		-		16 °C
42	12 °C	12 °C	13 °C	13 °C		13 °C		-		14 °C

Резултатите от измерванията са:

1. При провокираните температури, полипропиленовите нишки изпълняват успешно своето предназначение и бетонът няма структурни разрушения;
2. При нагряване на повърхността на тротоарния бетон без полипропиленови нишки се наблюдава откъртване на малки люспи от повърхността, вследствие на бързото разширяване на повърхностния слой и съответно изчерпване на опънната якост на бетона. Този факт потвърждава правилността на изпълненото техническо решение с добавени полипропиленови фибри;
3. Естествената тяга на проветрение на тунела породена от естествения наклон поражда изразена несиметрия относно центъра на нагряване около т.25, което потвърждава пожарния тест на Фиг.3;
4. Температурата в направения отвор не може да бъде измерена точно поради влияние на нагорещия въздух. Предполага се, че теоретично изчисленото разпределение е валидно.

Заклучение

От направените теоретични и експериментални анализи може да бъдат направени следните изводи и препоръки за практиката:

1. Предложен е теоретичен метод и математически модел по крайни елементи за отчитане на геометричната и физическа нелинейност при пожарно въздействие върху облицовката;
2. Методът и моделирането са проверени при реален случай от практиката за третична облицовка с дебелина 15см и двойна армировка изпълнена при тунел „Витиня“;
3. Поради индивидуални решения на хидроизолирането между съществуващата конструкция и новата облицовка се оформя фуга с различна ширина. От размера на тази фуга в съществена степен зависят напреженията в бетона и армировката. Напреженията в армировките сменят знака си, което потвърждава необходимостта от двойно армиране на облицовката;
4. Като следствие от предходния резултат – сигурността на новите и съществуващи облицовки следва да бъдат проверени по предложения алгоритъм. При необходимост съществуващите облицовки следва да бъдат усилены. Практиката с доказване на огнеустойчивостта по членове и таблици по БДС EN 1992-1-2 не съответства на действителността и Еврокод;
5. Препоръчително за практиката е огнеустойчивостта да бъде проверена след реализация на пробен участък за параметри посочени в експеримента за локално нагряване;
6. Направеното изследване, методика и алгоритъм подлежат на развитие като се разработи компютърна програма по метода на крайните елементи при която ще отпаднат ограниченията заложи в аналитичните методи относно статическата схема и променливата дебелина на облицовката.

Изследването обогатява теорията и практиката за изграждане на трайни и пожароустойчиви стоманобетонни облицовки.

Литература:

1. БДС EN 1991-1-2:2004 Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Част 1-2: Основни въздействия. Въздействия върху конструкции, изложени на пожар.
2. БДС EN 1992-1-2:2004 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-2: Общи правила. Проектиране на конструкции срещу въздействие от пожар.
3. Тодоров, Ив. и др. Пожароустойчивост и пожарозащита на строителни конструкции. С., 1998
4. Наредба Из-1971 за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар. Изд. „Итус“, С., 2013

ГЕОДЕЗИЯТА – РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ

Славейко Господинов¹, Виктор Савиних², Виктор Цветков³

¹ Университет по архитектура, строителство и геодезия, София, България, sgospodinov@mail.bg

² Московски държавен университет по геодезия и картография (МИИГАиК), Москва, Русия, president@miigaik.ru

³ Московски технологичен университет (МИРЭА), Москва, Русия, cvj2@mail.ru

GEODESY – DEVELOPMENT AND PERSPECTIVES

Slaveyko Gospodinov¹, Viktor Savinych², Viktor Tsvetkov³

¹ University of architecture, civil engineering and geodesy, Sofia, Bulgaria, sgospodinov@mail.bg

² Moscow State University of Geodesy and Cartography), Moscow, Russia, president@miigaik.ru

³ Moscow Technological University (MIREA), Moscow, Russia, cvj2@mail.ru

ABSTRACT

The development of Geodesy in the system of the sciences has analysed. The relation "Geodesy-Geometry" has taken up. The universality and the variety between Geometry and Geodesy is outlined. Geodesy, as a system has considered. It's presented, that the development of Geodesy is bringing it out of the frames of the Earth's sciences. It's demonstrated, that Geodesy is, first of all, a science about the space and after that-a science about the Earth.

Keywords: geodesy, geometry, abstract space, space relations

ВЪВЕДЕНИЕ

Достатъчно известен факт е логическата трансформация между „геометрия“ и „геодезия“. Терминът „геометрия“ („geo“ – Земя, „metrio“-измерване) означава „измерване на Земята“, а „геодезия“ („geo“ и „daizo“) означава „разделяне (деление) на Земята“ [1]. С други думи, предметът на геодезията, от гледна точка на днешната терминология, е бил първоначално ориентиран към проблемите на кадастъра. Предполагало се е, че посредством апарата на геометрията ще бъдат решавани всички задачи, свързани с измервания върху земната повърхност, т.е. тези, които понастоящем се решават посредством геодезическите технологии.

Международната федерация на геодезистите, основана през 1878 година в Париж, е с абревиатура FIG – Международна Федерация на Геометрите (*Federation Internationale des Geometres*). Понастоящем не малък брой висши училища, ситуирани в различни държави, продължават да създават специалисти с професионална квалификация „геометър“. Тези „геометри“ обаче, в хода на своята професионална реализация, изпълняват функцията на землемери и нямат никакво непосредствено отношение към проблемите на математиката и геометрията.

С течение на времето, настъпва и трансформацията: геометрията се обособява като теоретична наука- раздел на математиката. Практическата наука, свързана с измерванията и изследванията на земната повърхност и на телата от реалното пространство, остава геодезията. Ето защо, понастоящем FIG е известна най-вече като *International Federation of Surveyors*. Абревиатурата остава същата, но същността вече е различна. Разбира се, връзка между геометрията и геодезията съществува. Тази връзка трябва да се отчита при анализа на геодезията като понятие и задачите, които решава геодезията като наука.

РАЗВИТИЕ НА ГЕОДЕЗИЯТА

Фундаментални изследвания за развитието на съвременната геодезия могат да бъдат намерени в [2]. Авторите отбелязват, че първите геодезически дейности са реализирани от шумерската цивилизация, в древен Китай, древен Египет, древна Гърция и на територията на Римската империя. Тези факти, сами по себе си, дефинират връзката „геодезия-кадастър“. Необходимо е да се подчертае, че в специализираната геодезическа литература, по традиция, се говори за геодезията в древния

Египет и древния Рим, но мълчешком се отминават геодезическите дейности в древен Китай, които се осъществяват много по-рано, посредством специфични методи и специфичен инструментариум.

Развитието на мореплаването създава предпоставки за определяне на фигурата на Земята-проблем съотносим към научно-технологичния апарат на геодезията. Логично и нормално е да се предположи, че решаването на подобен проблем е немислимо без осъществяването на връзка между геодезията и генетично близки на нея науки: физика, оптика, математика, геометрия, астрономия, океанография, геология, Може би тази научна поливалентност е в основата на много места по света на геодезията да се гледа като специфичен раздел на приложната математика. Подобен гносеологически подход обаче е практически компрометиран.

ОТНОШЕНИЕТО „ГЕОМЕТРИЯ“-„ГЕОДЕЗИЯ“

Както вече бе подчертано, геометрията в днешно време е раздел от математиката, изучаващ пространствените структури и отношения, заедно с техните обобщения. Геометрията се занимава с взаимните разположения на идеализирани тела, което се изразява в съприкосновение или допиране между тях, изразяващо се в разположение „в/във“, „между“ и т.н. Освен това, геометрията се занимава с размерите на тези тела (понятията за равенство: „по-голямо“, „по-малко“) и техните преобразувания.

Когато говорим за развитието на това направление от човешкото познание, трябва да отбележим някои търсения в областта на изкуствения интелект, касаещи пространствените отношения [3,4]. Специално място тук трябва да се отдели на езика на пространствената агрегация [5-7], чрез който се представя развитието на геометричните идеи в областта на пространствените отношения (взаимното разположение) между телата.

Теорията на геометрията е основана на абстракции и абстрактни форми. Дефинират се точкови, линейни, площни и обемни тела. Това разделение намира място в геоинформатиката, което е предпоставка да се говори за развитие на идеите на геометрията в геоинформатиката.

Евклид приема, че точката е „*тяло без дължина и ширина*“, линията е „*тяло, притежаващо само дължина, без ширина*“ („*линейно тяло*“), „плоското тяло“ („*равнинната повърхност*“) е „*тяло, което има дължина и ширина*“. Точката във физиката и математиката е абстракция (*основно понятие*). Тя може да бъде разглеждана като информационна единица [8], свързана с едно неограничено смалвяване на всички размери на телата или още – като граница (предел) на едно безкрайно деление. Точката, като елемент на една абстрактна система, може да бъде идентифицирана като „*най-малкото неделимо*“.

Индивидуалната позиция, взаимното разположение и преобразуването на геометричните фигури се определя чрез система от пространствени отношения. Тук трябва да се отбележи и това, че понятийния апарат на съвременната геометрия не присъства никаква „*земя*“ („*geo*“). Това е така, защото съдържанието на която и да било наука (включително геометрията и геодезията) се определя не на основата на нейното първоначално (първично) наименование, а на основата на задачите, които тя решава. Специалистът се оценява не по названието на дипломата му, а по неговите професионални възможности. Подобна логическа схема може да бъде изцяло конкретно отнесена и към геодезията.

Множество трактовки на геодезията отдавна изключват (неглижират) втората част от наименованието – „*деление*“. Защо обаче все още се стремим да „*привържем*“ неотменно към тази наука термина „*geo*“?! Подобен подход отдавна е отхвърлен при геометрията. Не е ли това основание да се подходи аналогично и към геодезията?

Много теоретици, в сферата на геодезията, се стараят да съхранят гръцките лингвистични корени на тази наука и едва на втори план да придадат значимост на конкретните задачи, които тя решава. Всъщност, логическата постановка трябва да бъде друга – първо задачите, а след това лингвистиката.

Общото при геометрията и геодезията може да бъде обобщено представено, като: изследване на пространства, изследване на пространствени отношения [8-10], изследване на пространствени форми, изследване на взаимното разположение на телата.

Съществуват, разбира се и различия:

-*геометрията изследва абстрактни пространства, а геодезията изследва реално пространство;*

-*геодезическите измервания са „натоварени“ с неминуеми грешки;*

-геодезията включва в своя математически апарат геометрията;

-теорията на грешките, като конкретен раздел от теорията на вероятностите, е неразделна част от теоретичния апарат на геодезията.

Определяйки днешното съдържание на геодезията, бихме могли да поставим редица въпроси, а именно:

- Приложими ли са (и прилагат ли се) геодезически методи в процеса на изследване на естествения спътник на Земята – Луната?

- Приложими ли са (и прилагат ли се) геодезически методи за контрол и управление на изкуствени спътници на Земята?

- Биха ли били приложими (и прилагат ли се) геодезически методи за изучаване на Марс?

- Приложими ли са (и прилагат ли се) геодезически методи за изучаване на естествения спътник на Марс – Фобос?

- Приложими ли са (и прилагат ли се) геодезически методи за изследване на „малки“ небесни тела, от рода на астероиди?

- Приложими ли са геодезически методи спрямо (чрез) обекти извън Слънчевата система (напр. квазари)?

- Приложими ли са геодезическите методи на земната повърхност?

- Прилагат ли се геодезически методи при човешка дейност, под земната повърхност?

- Приложими ли са геодезически методи при анализа и предотвратяване на астероидна опасност?

- Приложими ли са геодезически методи при установяване и анализ на геодинамични явления?

Отговорът на всички тези въпроси и на множество техни производни би бил един единствен: да, приложими са [12, 13, 14]! Това означава, че областта на приложение на геодезията е значителна и в никакъв случай не се ограничава само върху земната повърхност. Следователно, тази област не би трябвало и не би било основателно да се свързва единствено със Земята. Областта на приложение на геодезията е реалното пространство, с неговите многообразни, конкретни реализации.

При едно логично конкретизиране на предходните въпроси, бихме могли да формулираме и група от допълнителни (до голяма степен, риторични) въпроси, касаещи съдържанието (компонентите) на съвременната геодезия:

- Съществува ли (изучава ли се) „Спътникова геодезия“?

- Съществува ли (изучава ли се) „Геодезическа астрономия“?

- Съществува ли (изучава ли се) „Свърхдългобазисна радиointерферометрия“ (VLBI)?

Съществуват ли (изучават ли се) геодезическите методи за целите на геодинамиката?

Въпросите могат да бъдат значително увеличени и наситени със съвременно звучене... Важното и недискутируемото е, че областта на приложение на геодезическите методи отдавна е извън геометричните параметри на Земята и далеч от обсега на нейното гравитационно поле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, от позицията на днешните реалности, не трябва да „привързваме“ геодезията само към Земята и да считаме, че това е една „земна“ наука. Независимо от различните трактовки и квалификации за геодезията като една от науките за Земята (определяща нейната форма, размери и външно гравитационно поле), в днешно време геодезията прониква в бизнеса [20] и услугите [21]. Съвременните технологични постижения, в голямата си част, намират отражение в развитието на геодезическите технологии. Геодезията се превръща в наука, която регистрира и формира заобикалящият ни материален свят [22,23], вписвайки се успешно в общата научна система. Изследвайки заобикалящото ни реално пространство, геодезията пренесе и пренася своите приоритети извън земното пространство. Ето защо, днес вече нямаме основание да причисляваме геодезията само към науките за Земята.

С методите на геодезията може да се подпомогнат и се подпомагат изследванията на земното, околоземното, подземното планетарното и междугалактичното пространство. Дори да се опитаме

(съвсем аргументирано и основателно) да добавим към този спектър „пространството (измерението) ВРЕМЕ“, заключението не би било по-различно. По-скоро, подплатено с нови, още по-основателни аргументи.

И така, **днешната геодезия е наука за пространството**, а докато пространството (в неговите многостранни форми) съществува, геодезията ще съществува и ще се развива.

Използвана литература

1. Геодезия, Картография, Геоинформатика, Кадастр. Енциклопедия. В 2 тома. / Под редакция на А.В. Бородко, В.П. Савиных. – Москва, 2008. Том I, А-М – 496с.
2. **Vanicek P., Krakiwsky E. J.** Geodesy: the concepts. – Elsevier Science Publisher B. V. 1986 переиздана Elsevier, 2015. – 778p. ISBN 0444-87775-4
3. **Kuipers B.** Modeling spatial knowledge //Cognitive science. – 1978. – Т. 2. – №. 2. – С. 129-153.
4. **Цветков В.Я.** Пространственные знания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. - №7. – с.43-47.
5. **Antony Galton (2009).** Spatial and temporal knowledge representation. // Earth Science Informatics, 2009, September, 2(3), 169-187.
6. **Yip, K., and Zhao, F.** Spatial aggregation: theory and applications. // 1996. Journal of Artificial Intelligence Research, 5,1-26.
7. **Цветков В.Я.** Качественные пространственные рассуждения: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 60с. ISBN 978-5-317-05604.
8. **Tsvetkov V. Ya.** Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. – 2014, Vol.(1), №1, p57-64.
9. **Цветков В.Я.** Информационные пространственные отношения // Науки о Земле. – 2012. - №1. – с.59-61.
10. **Савиных В.П.** Информационные пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. - №1 (18). – с.79-88.
11. **Куприянов А. О.** Цифровое Моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – с.57-65.
12. **I.V. Barmin, V.P. Kulagin, V.P. Savinykh, V. Ya. Tsvetkov.** Near-Earth Space as an Object of Global Monitoring // Solar System Research, 2014, Vol. 48, No. 7, pp. 531-535.
13. **V. Ya. Tsvetkov.** The Problem of Asteroid-Comet Danger // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2016, Vol. 2, Is. 1, pp. 33-40.
14. **V.P. Kulagin.** Monitoring of Dangerous Space Bodies // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2017. -3(1). pp. 4-12.
15. **Глушков В. В., Насретдинов К. К., Шаравин А. А.** Космическая геодезия: методы и перспективы развития. – Институт политического и военного анализа, 2002.- 448с
16. **Плахов Ю.В., Краснорылов И.И.** Геодезическая астрономия. – М.: Картоцентр-Геодезиздат, 2002, -390с.
17. **Господинов Г.С.** Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.45-50.
18. **Kaula W. M.** Theory of satellite geodesy: applications of satellites to geodesy. – Courier Corporation, 2013
19. **Seeber g.** Satellite geodesy: foundations, methods, and applications. – Walter de gruyter, 2008.
20. **Ознамец В.В., Цветков В.Я.** Бизнес геодезия: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 112с. ISBN 978-5-317-05825-8
21. **Цветков В.Я.** Развитие геосервиса // Науки о земле. 2017. -№4. – с.31-42.
22. **Савиных В.П.** Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования. – 2015. -№1. – с.56-62.
23. **Tsvetkov V. Ya.** Worldview Model as the Result of Education // World Applied Sciences Journal. - 2014. -31 (2). – p.211-215.

ОТНОСНО СЪЗДАВАНЕТО НА СПЕЦИАЛИЗИРАНИ КАРТИ ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА НАХОДИЩА

Милена Бегновска¹, Радослав Сираков²

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, m_begnovska@abv.bg

² „Лъки Инвест-Джурково“ ЕООД, 4241 Лъки, radoslavsirakov24@gmail.com

CONCERNING THE CREATION OF SPECIALIZED MAPS IN UNDERGROUND MININGS

Milena Begnovska¹, Radoslav Sirakov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, m_begnovska@abv.bg

² "Lucky Invest-Dzhurkovo" Ltd., 4241 Lucky, radoslavsirakov24@gmail.com

ABSTRACT

According to the regulations in force in our country, specialized maps and registers must be created for underground wealth deposits. The mine surveying teams of the respective mining company play a major role in creating and keeping them up to date. The possibility is presented to document the spatial position of different sites and to connect it to the complete and accurate registering of all specific data for each mining workmanship or facility.

Въведение

Минно-добивното предприятие е изключително динамична структура. Състои се от множество обекти, разположени под и над земната повърхност: минни изработки, полезни изкопаеми, вместилища скали, земна повърхност, води, насаждения, сгради и съоръжения, инженерни мрежи, транспортни комуникации, минно и спомагателно оборудване и др. Отговорност на маркшайдерския отдел е тяхното пространствено и геометрично определяне в единна координатна и височинна система [2].

Съгласно действащата в нашата страна нормативна уредба, за находищата на подземни богатства трябва да бъдат създавани специализирани карти и регистри. Съдържанието, условията и редът за създаването и поддържането им се определят с наредби, издадени от ръководителя на съответното ведомство и министъра на регионалното развитие и благоустройството [3].

Подземните богатства, по смисъла на [4], са полезните изкопаеми и минните отпадъци от добива и първичната им преработка. Специализираните карти на площите за търсене и проучване и за проучване и на концесионните площи и регистри на разрешенията за търсене и проучване и за проучване и на концесиите за добив на подземни богатства се създават и водят при условия и по ред, определени от Министерския съвет, при спазване изискванията на глава четвърта от Закона за кадастъра и имотния регистър.

Чрез създаването на специализирани карти и регистри на находищата на подземни богатства се осигурява актуална и достоверна информация относно местонахождението на находището, вида на територията в която се намира, вида на собствеността на територията, данни за ограниченията и правата, както и данни за самия собственик [5].

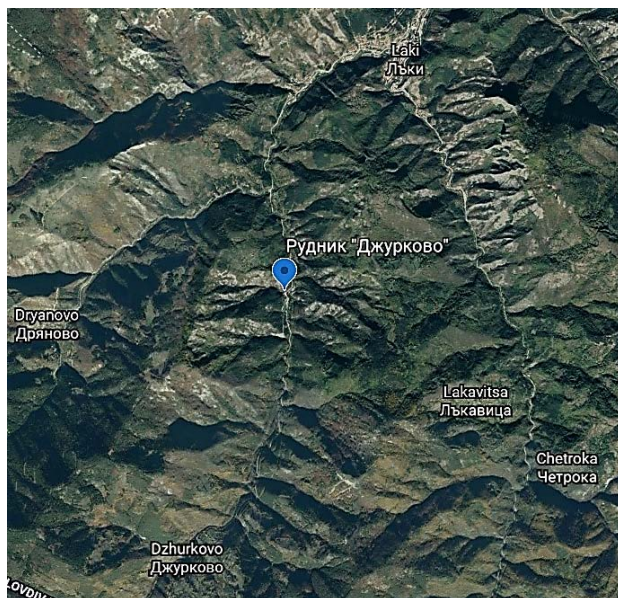
Основна роля при създаването и поддържането в актуално състояние на специализирани карти и регистри при добив на подземни богатства имат маркшайдерските екипи към съответното минно-добивно предприятие.

За съжаление все още няма разработена нормативна уредба, регламентираща методите за набиране на информация и изискванията за точност и актуалност при изработването им.

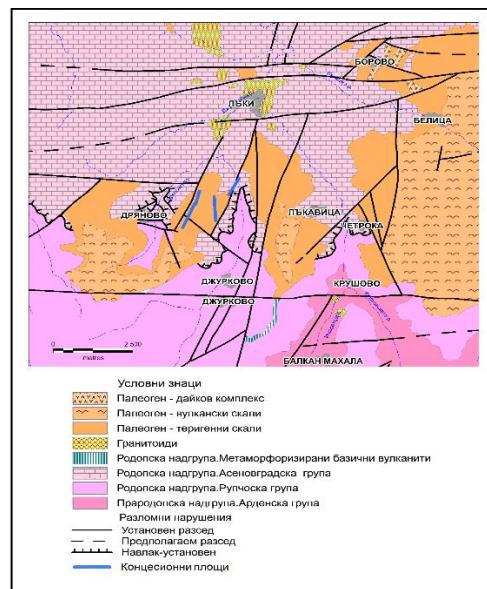
Създаване на специализирани карти и регистри за условията на рудник „Джурково“

Находище „Джурково“ (фиг. 1 и 2) е разположено на територията на община Лъки, Пловдивска област в землището на с. Дряново (ЕККАТЕ 23950), експлоатира се от 1952 г. до наши дни и съдържа

едни от най-значителните запаси от оловно-цинкови руди в района [1]. Добивът е подземен. Литоложката структура на находището е представена от гнайси, слюдени шисти, мрамори и пегматити. Рудните тела в рудник „Джурково“ се отнасят към два морфогенетични типа: жилни и метасоматични. Средната мощност на жилните тела варира от 0.5 m. до 2.5 m, а на метасоматичните – от 0.5 до 5-6 m. Основните рудни минерали са: галенит, сфалерит, пирит, халкопирит, а нерудните са представени основно от кварц и калцит.



Фиг. 1 – Местоположение на рудник „Джурково“
[Google Earth]



Фиг. 2 - Геоложка карта на района
[по Кожухаров и др. 1991 г.]

Системите на разработване, използвани към настоящия момент са: Система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки и Камерно-стълбова система.

Находището е разкрито с две вертикални шахти (капитална и спомагателна) и наклонена разкриваща изработка (наклонена шахта). Шахта „Спомагателна“ (ВШ-2) е прокарана до хор. 322 с дълбочина 450 m. Сечението ѝ е 13.2 m² с кръгла форма, с бетонов крепеж. Шахта „Капитална“ (ВШ-1) е прокарана до хор. 472 с дълбочина 300 m, сечението ѝ е 6 m² с правоъгълна форма. Наклонената разкриваща изработка е със сечение 13.6 m² в интервала на навлака, където е закрепена със стоманобетонен крепеж и 10.8 m² в останалата част, и наклон -10° за разкриване на запасите по Основна зона, Източен апофиз и Зона 1 от хор. 788 до хор. 322. Отбиването на минната маса става чрез пробивно-взривни работи.

За правилното функциониране на едно минно предприятие – в случая подземен рудник, за качествено и рационално изземване на запасите на подземното богатство и за безопасна работа, е от съществено значение правилното и точно геопространствено позициониране на съставните му обекти.

На маркшайдерско заснемане в рудник „Джурково“ подлежат всички обекти от инженерната инфраструктура, в частност всички подземни минни изработки (капитални, подготвителни, нарезни, добивни, проучвателни и т.н.), всички технически съоръжения от минното и спомагателно оборудване (в рудника и на повърхността), елементите от наземния рудничен комплекс (сгради и съоръжения, промишлена площадка, инженерни мрежи, транспортни комуникации и др.).

Чрез периодичното заснемане на изброените обекти и последващата обработка на данните от измерванията, се създава специализирана документация (карти, планове, баланси, регистри и др.), осигуряваща необходимата информация за почти всеки един аспект от минно-добивната дейност – пространствено взаимно положение на минните изработки, задаване на направления, отчитане и

баланс на обеми минна маса, правилно и безопасно планиране и проектиране на бъдещи изработки, контрол на изпълнението на зададени проектни параметри и много други.

Заснемането се извършва с тотална станция Sokkia Set 510 (фиг. 3а), която се ориентира спрямо опорната мрежа в рудника – маркшайдерски опорни точки, стабилизирани в тавана или стените на изработките (фиг. 3б).



Фиг. 3а – Тотална станция Sokkia Set 510



Фиг. 3б – Стенна опорна точка

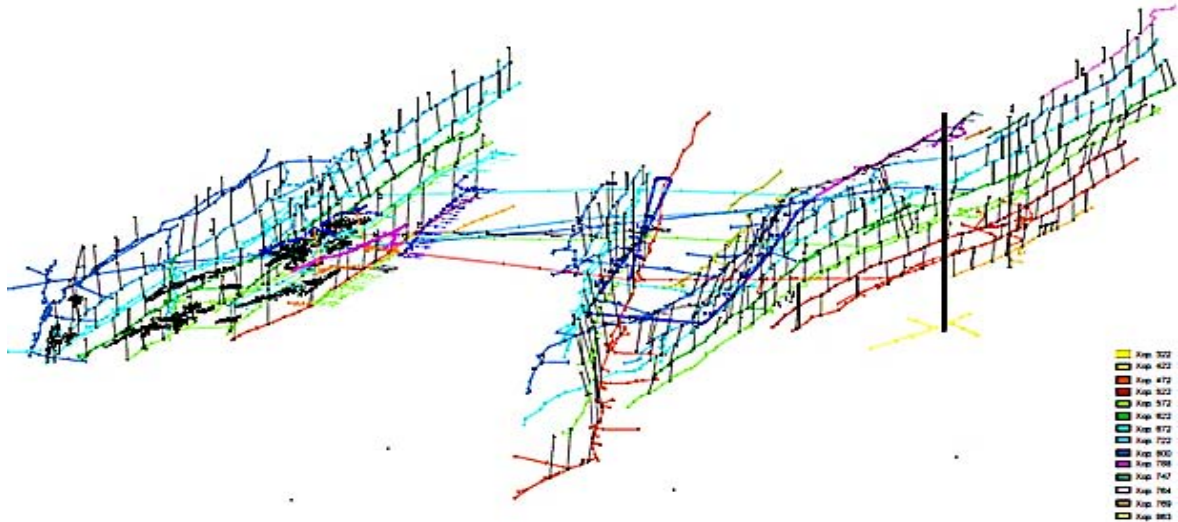
При заснемането на подземните минни изработки в рудник „Джурково“, гъстотата на подробните точки не е предварително зададена, а се избира по преценка на маркшайдера, в зависимост от минно-техническите условия в съответния участък подлежащ на заснемане. Определящи са също вида, размерите, формата, предназначението и срока на експлоатация на съответната изработка, наличието и гъстотата на съоръжения на подземната техническа инфраструктура, наличието в участъка на минно и спомагателно оборудване: ел.кабели, ел.табла, трансформатори, прекъсвачи, тръбопроводи (водни, пневматични), спирателни кранове, телефонни табла и известителни системи, вентилационни системи, руднични крепежни конструкции. Заснемат се и много други обекти и съоръжения, които за определен период са неподвижни, трайно закрепени към масива и необходими за функционирането на работното място.

След заснемането на подробностите, се създават специализирани планове, карти и регистри с определена тематика, в единна координатна система, идентични наименования и номерации на изработките и съоръженията.

Специализирана карта на подземните минни изработки на рудник „Джурково“

В рудник „Джурково“ всички подземни минни изработки (капитални, подготвителни, нарезни, добивни, проучвателни и т.н.) подлежат на маркшайдерско заснемане и графично изобразяване.

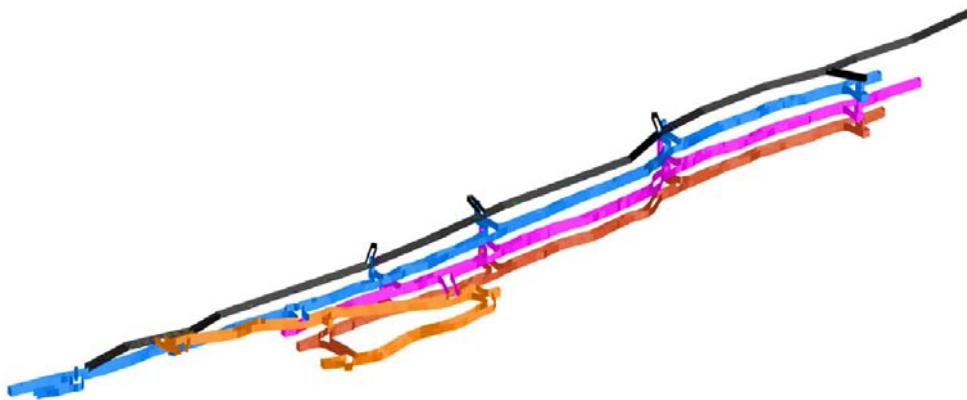
На фиг. 4 е представен триизмерен модел (аксонометрия) на голяма част от подземните минни изработки, съдържащ: всички действащи добивни хоризонти (със съответните цветове, обозначени в легендата), разкриващите изработки (двете вертикални шахти, наклонената шахта), комини (блокови, пътеходни, рудоспусъчни, вентилационни), подетажните изработки и метазалежите.



Фиг. 4 – Триизмерен модел на част от подземните минни изработки на рудник „Джурково“

Система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки

В рудник „Джурково“ тази система се използва за изземване на жилни рудни тела. За визуализация и интерпретация на добивните мероприятия при този вид система се изработва специализирана карта, съдържаща всички хоризонтални, наклонени и вертикални изработки (комини), рудоносната жила, геоложки нарушения, при нужда и руднични съоръжения, комуникации и други обекти (фиг. 5).



Фиг. 5 – Триизмерен модел на наклонена разкриваща изработка и подетажни галерии по рудна жила
Зона 1, рудник „Джурково“

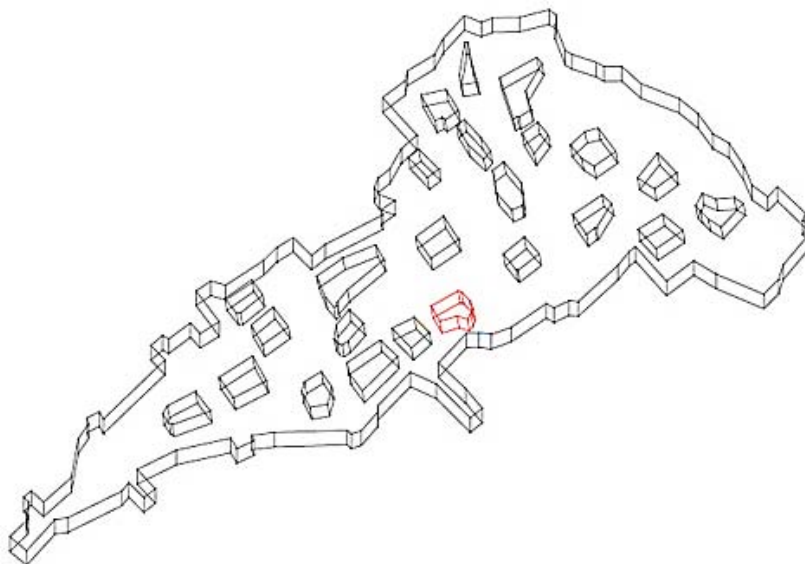
Камерно-стълбова система

Камерно-стълбовата система в този рудник се прилага за отработване на метасоматични рудни тела, в случая това са заместени мраморни пластове от сулфидни минерали (чрез процеса метасоматоза). Основните елементи на системата са: нарезни изработки, добивни камери и опорни целици (стълбове) – фиг. 6а. В специализираните карти на метазалежите се изобразяват: контурите на камерите, опорните целици (стълбове), пространственото разположение на рудоносния пласт, местата на геоложките проби (качествените характеристики на които са попълнени в специализираните регистри) и много други обекти, явления и специализирани данни за тях (например деформации на опорните целици, геомеханични показатели на масива и т.н.).

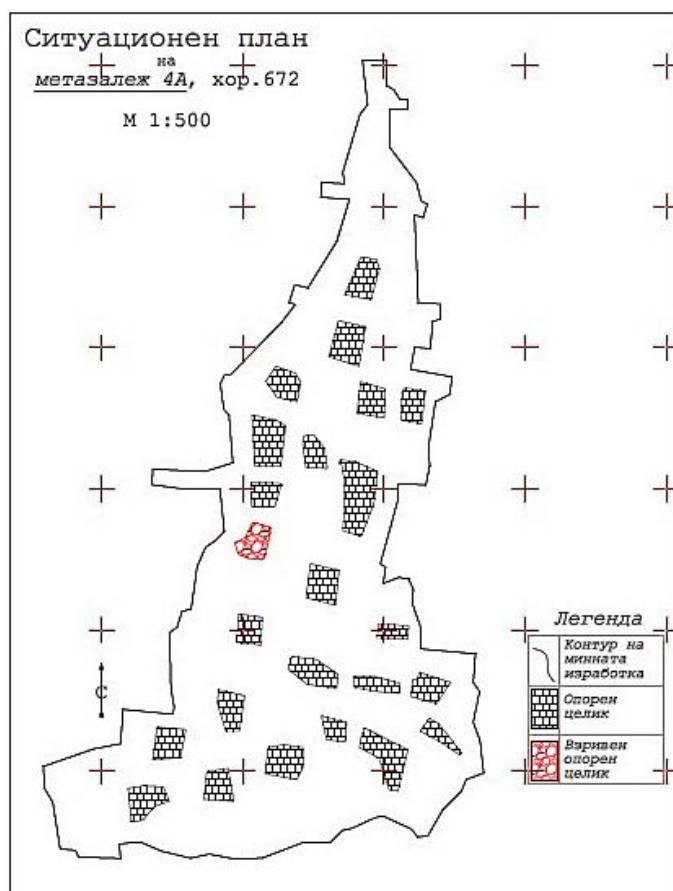
При камерно-стълбовата система е необходимо качествено и безопасно изземване на полезното изкопаемо, чрез баланс между максималното изземване (с минимални експлоатационни загуби) и управлението на скалния натиск. Това се осъществява чрез внимателен и рационален избор на размерите, гъстотата и пространственото разположение на опорните целици (стълбове). В много

случаи в тях се съдържат полезни компоненти и техният обем (и съотв. минна маса) се отчитат като загуби. При проектирането трябва да се изследват геомеханичните свойства на масива, да се извърши детайлно геоложко проучване и да се систематизира наличната информация.

С цялата съвкупност от специализирани данни се създават специализирани карти и регистри, отразяващи динамични, качествени и количествени характеристики от етапа на планиране и проектиране, през този на експлоатация, до пълното изземване на подземното богатство (фиг. 6б).



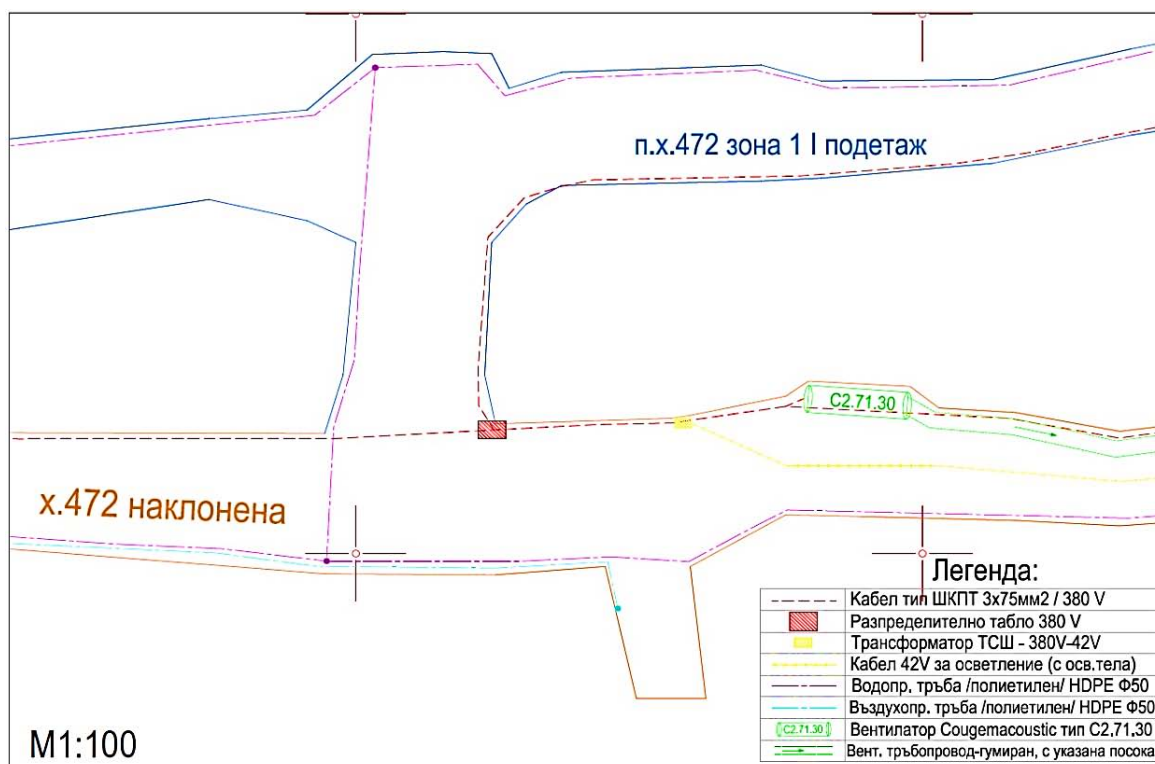
Фиг. 6а – Камерно-стълбова система - триизмерен модел на Метазалеж 4А, рудник „Джурково“



Фиг. 6б – Ситуационен план на Метазалеж 4А, рудник „Джурково“ с изобразени контури на добивните камери и опорните целици

Специализирана карта на руднични технически съоръжения и проводите

За нуждите на организацията на оборудването на работните места се събират, систематизират и представят графично специфични данни за определени съоръжения на техническата инфраструктура, проводите и комуникации (ел.кабели, ел.табла, трансформатори, прекъсвачи, тръбопроводи – водни и пневматични, спирателни кранове, телефонни табла и известителни системи, вентилационни системи, руднични крепежни конструкции и др.). На базата на тези данни се изготвят специализирани карти на рудничните съоръжения, съдържащи съответните технически характеристики, включени в регистъра на съоръженията и проводите. Пример за такъв вид специализирана карта е показан на фиг. 7.



Фиг. 7 – Част от специализирана карта на руднични технически съоръжения и проводите на наклонена разкриваща изработка х. 472 зона 1 и подетажна изработка - ниво I, рудник „Джурково“

Изобразени са в план минните изработки (в участъка на кръстовището между наклонената разкриваща изработка и подетажа) с прилежащите им ел. съоръжения (ел. кабели, ел. табла и трансформатори), тръбопроводи (за въздух под налягане и вода) и вентилационната система (вентилатор и вентилационни тръбопроводи).

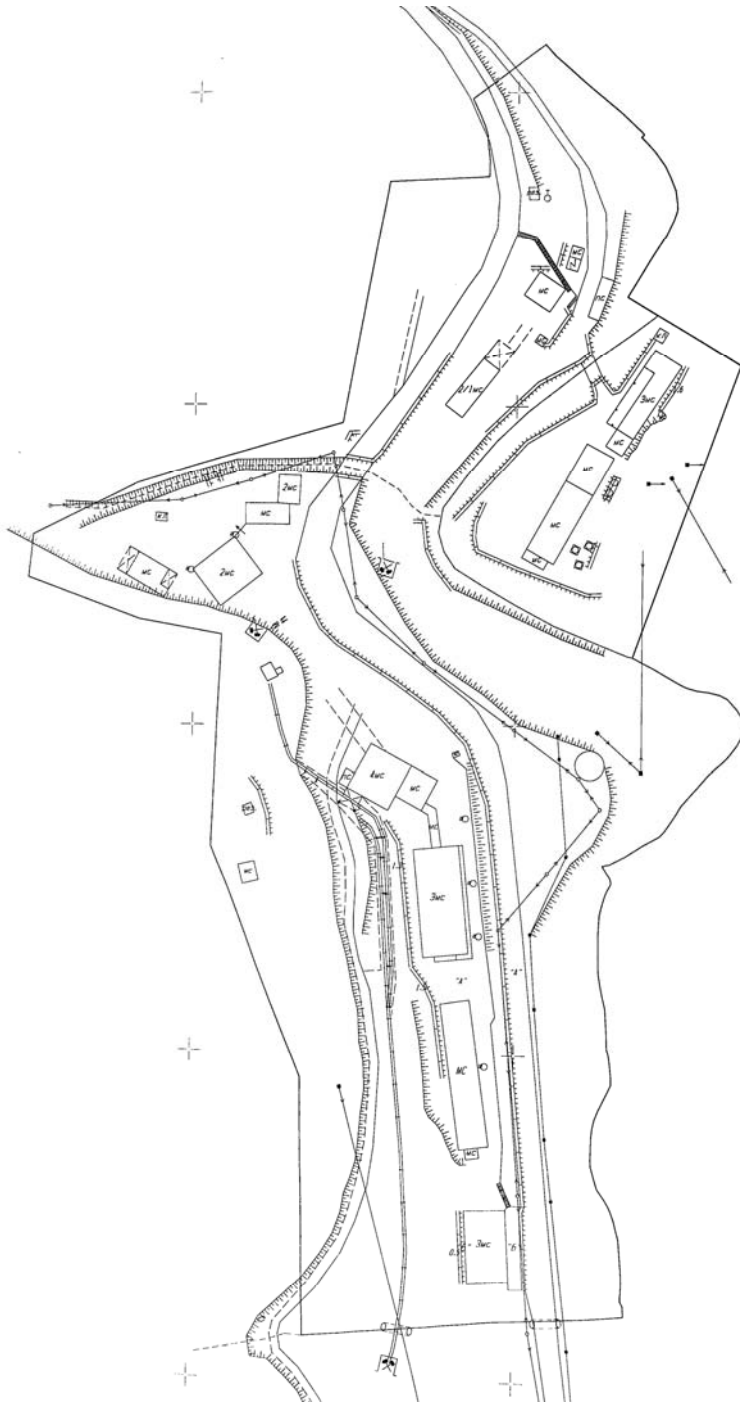
За позиционирането на съоръженията и проводите, маркшайдерският екип заснема точното местоположение на всяко от тях, като те могат да се изобразят с реалните си размери или чрез условни знаци, в зависимост от предназначението и мащаба на картата. Заснема се и трасето на проводите (по характерни чупки), които също се изобразяват с определен линеен условен знак.

Маркшайдерската снимка на тези обекти може да се извършва както едновременно с периодичните снимки, така и в отделни етапи от развитието на работните места.

Всяко изобразено съоръжение, е съпроводено с технически характеристики, както е показано в легендата на фиг. 7: тип, напречно сечение и напрежение на кабелите; вид, предназначение, материал и диаметър на тръбопроводите; тип вентилатор, материал на вентилационния тръбопровод, посока на въздушния поток.

Специализирана карта на промишлената площадка на рудник „Джурково“

Промишлената площадка на рудник „Джурково“ (фиг. 8) се състои от: административно-битова сграда, столова, надшахтови кули на шахтите „Капитална“ и „Спомагателна“, сгради на подемните уредби на двете шахти, сграда на компресорното отделение, сграда на Централната разпределителна подстанция (ЦРП), сгради на ремонтно-шлосерски работилници, склад за материали, пречиствателни водни резервоари-утайтели (за пречистване на рудничните води) и др.



Фиг. 8 – Ситуационен план на промишлената площадка на рудник „Джурково“

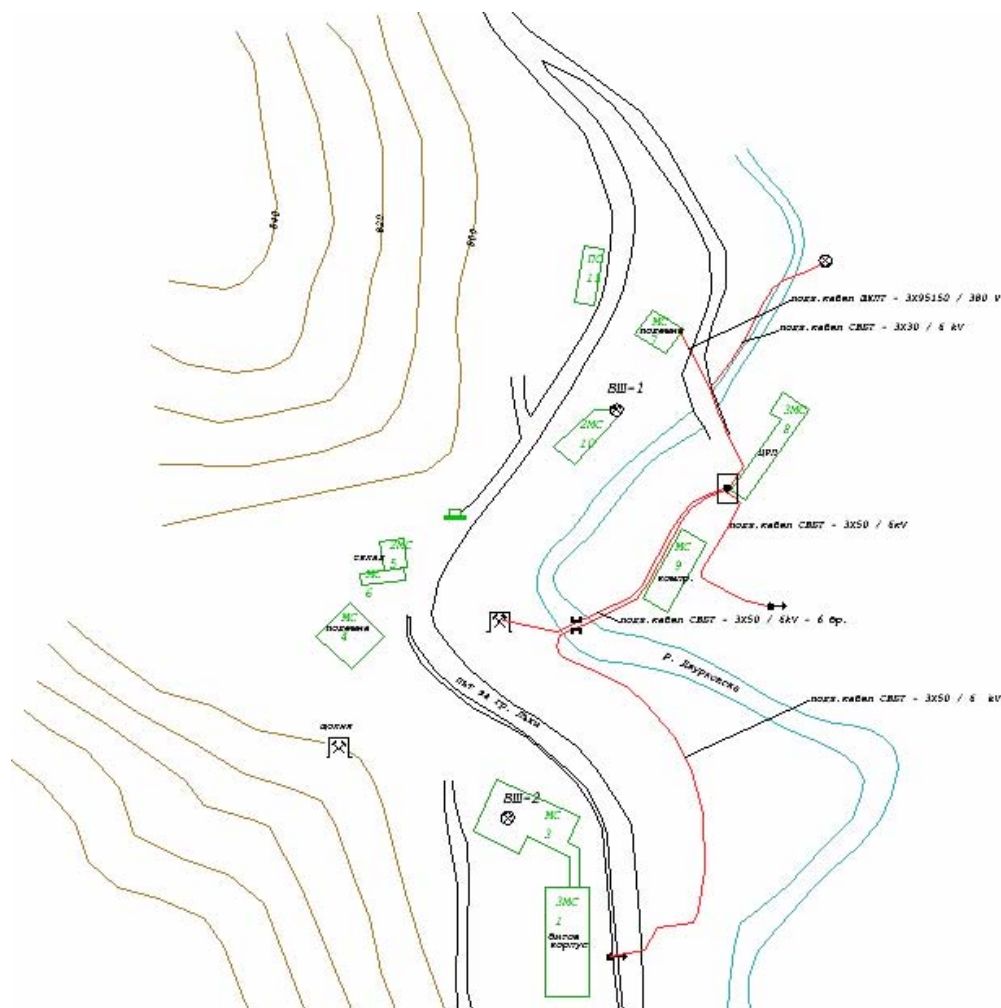
В случай на ремонтни, строително-монтажни и изкопни дейности на територията на промишлената площадка, с оглед безопасното им и безаварийно осъществяване, е необходимо поддържането на база данни за местоположението, вида и предназначението на подземните проводни съоръжения.

Тази база данни е изходна за изработването на специализирана карта на промишлената площадка, която съдържа елементи от кадастралната карта, допълнени със специфични за обекта съоръжения и проводни. На изобразяване и характеризирание (количествено и качествено) подлежат: всички електропроводни (подземни и надземни кабели), ел. съоръжения (трафопостове, ел. стълбове), тръбопроводни, специализирани сгради, всяко устие на минна изработка (вход), жп линии на територията на площадката, съоръжения от инженерната инфраструктура и т.н.

Заснемането на тези обекти се извършва от маркшайдерският екип на рудника в координатната система на кадастралната

карта. Подземните проводите и съоръжения се заснемат непосредствено след полагането им в изкопите (в най-добрия случай), а при липса на такава възможност или вече затворени изкопи – заснемането става там, където проводите са над земната повърхност или по трасето на изкопа (при условие, че контурите му са видими). Обектите, разположени на територията на рудника, с постоянен достъп до тях (на маркшайдерския екип), се заснемат по класическите методи.

За рудник „Джурково“ е изработена специализирана карта на промишлената площадка с изобразени подземните проводите и съоръженията от инженерната инфраструктура, част от която е представена на фиг.9а.



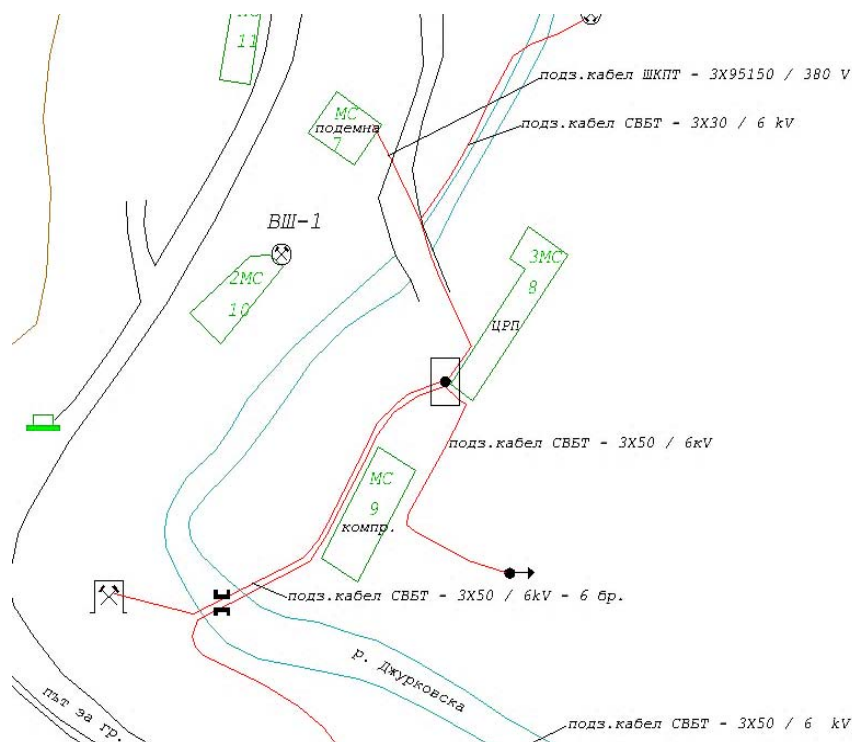
Фиг. 9а – Част от специализирана карта на промишлената площадка на рудник „Джурково“

На фигурата са изобразени местоположенията на сградите с пояснителни надписи, съоръженията, подземните проводите, устията на минните изработки, пътната мрежа, релефа и хидрографията на територията на рудника.

Създаване на специализирани регистри (паспорти) за съоръженията

За всяко съоръжение се изготвя технически паспорт с информация за вида, предназначението му, дата на въвеждане в експлоатация и други специфични характеристики. Тези паспорти са част от специализираните регистри и за коректното отразяване на данните в тях, е необходима съвместна работа на маркшайдерите, извършващи заснемането и картирането, заедно със съответните специалисти според типа на съоръжението. Например, както е показано на фиг. 9б – подземните

кабели освен с пространственото изобразяване на трасето им, се характеризират с техния тип, напречно сечение и напрежение – това е резултат от екипната работа на маркшайдера и енергетика на дружеството.



Фиг. 96 – Част от специализираната карта с нанесени подземните проводи на територията на промишлената площадка на рудника

Заклучение

Необходимостта от създаване на специализирани карти и регистри на минно-добивните предприятия е безспорна. От тяхното качествено, точно, пълно и своевременно изработване зависи рационалното изземване на запасите от подземно богатство, безопасността на работа на персонала, както и безаварийната работа на всички съоръжения и спомагателно оборудване. От изключителна важност е правилното и точно геопропространствено позициониране на съставните им обекти, обвързано с пълно и точно регистриране на всички специфични данни за всяка една минна изработка или съоръжение.

Литература

1. Архивна документация на „Лъки Инвест - Джурково“ ЕООД, рудник „Джурково“.
2. Бегновска, М. Необходимост от създаване на кадастър на миннодобивните фирми. Сп. Минно дело и геология, София, 2006, № 1, с. 16-17. ISSN 0861-5713.
3. Закон за кадастъра и имотния регистър. Обн. ДВ, бр.34 от 25 април 2000 г., доп. ДВ. бр.16 от 23 февруари 2021 г.
4. Закон за подземните богатства. Обнародван, ДВ, бр.23 от 12 март 1999 г., изм. и доп. ДВ. бр.17 от 26 Февруари 2021 г.
5. Иванова, И., Е. Петрова. Създаване на специализирана кадастрална карта при открито разработване на подземни богатства. XXVI Международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области“, 03 – 04 ноември 2016, София. ISSN 2367-6051.

АНАЛИЗ НА ВРЕМЕВО ОБУСЛОВЕНИТЕ ПРЕМЕСТВАНИЯ НА ДИСКРЕТНИ ТОЧКИ ОТ СТЕНАТА НА ЯЗ. „ЗЛАТОГРАД“

Кремена Щерева¹, Иван Пеев², Марко Марков³

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София, България, k.shtereva@mgu.bg

²„Геотехинженеринг“ ООД, София, България, ivangp@abv.bg

³„Геотехинженеринг“ ООД, София, България, markomarkov8@abv.bg

ANALYSIS OF TIME-DEPENDENT DISPLACEMENTS OF DISCRETE POINTS ON ZLATOGRA D DAM

Kremena Shtereva¹, Ivan Peev², Marko Markov³

¹University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria, k.shtereva@mgu.bg

²“Geotechengineering” LTD, Sofia, Bulgaria, ivangp@abv.bg

³“Geotechengineering” LTD, Sofia, Bulgaria, markomarkov8@abv.bg

ABSTRACT

Monitoring the "behaviour" over time of a dam is an essential part of the complex of activities carried out to ensure the safe operation of the facility. At the same time, the possibility of a short-term prediction, based on a suitably chosen mathematical model for the approximation of the dynamic behavior of the wall, in retrospect, is of interest.

The basis of the proposed work is the mathematical approximation of the "horizontal" and "vertical" displacements of specific discrete points stabilized in the wall of the Zlatograd Dam. A relationship was sought between the reliably observed point displacements and seasonal variations of rainfall and water level.

The empirical data used in the analysis was collected as a result of periodic (spring-autumn), precise geodetic measurements performed between 2019 and 2022.

Keywords: dam, deformations, mathematical analysis, approximation

1. Въведение

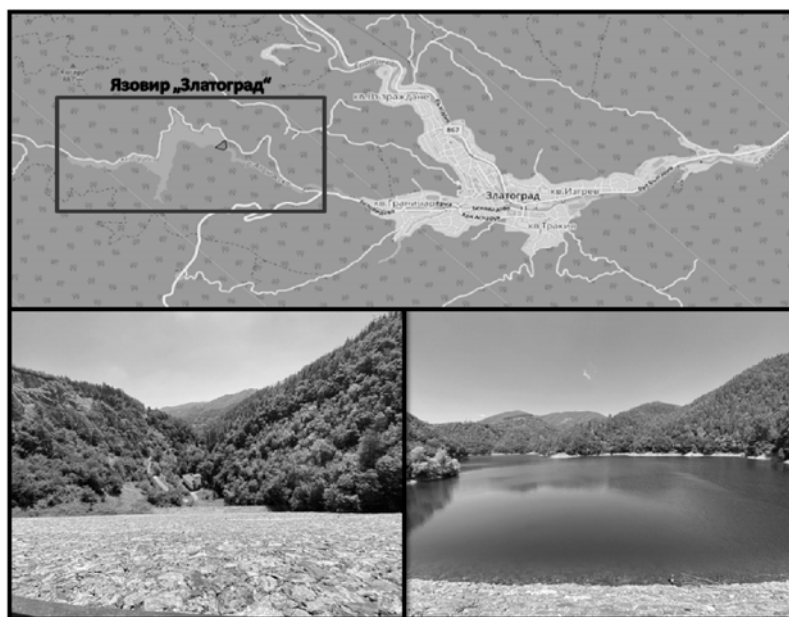
Различни фактори влияят на състоянието и положението на инженерните съоръжения, спрямо прието изходно начало. Такива фактори могат да бъдат – вятър, дъжд, земетресения, подпочвени води, нестабилна земна основа, собствено тегло и др. Характерът на потенциалните премествания може да бъде предполагаан (предвиждан) от проектантите на съоръжението и от тези, които са ангажирани с неговата експлоатация. Въпреки това, винаги съществува вероятност и за непредсказуеми премествания. Те трябва да бъдат следени посредством специални мониторингови програми, ориентирани към предсказване на възможни разрушителни процеси, които да доведат до човешки жертви и материални щети. Поради тези причини, параметрите на възможните допустими премествания трябва да се определят още при самото проектиране на съоръженията.

За да има по-добра представа за поведението на даденото съоръжение се планират и реализират периодични геодезически измервания, чрез които се оценява големината на преместванията, като те биват сравнявани с допустимите стойности, предвидени по проект [1].

С подобен мониторинг на преместванията се прави цялостна оценка на поведението на цялото съоръжение и на отделни негови елементи.

2. Практическа част

Обект на изследването, в случая, е стената на яз. „Златоград“ (Фиг. 1), с местоположение на 3,5km западно от гр. Златоград, Община Смолян. Язовирът е въведен в експлоатация през 1968 година. Изграден е за осигуряване на промишленото водоснабдяване на Минно-обогатителен комбинат "Горубсо" и за осигуряване на питейните нужди на с. Ерма река. Короната на стената е с дължина 146m, ширина 5m и височина 52m. Денивелацията между кота корона и кота преливник е 2,5m. Завиреният обем на язовира е приблизително 38,20.10⁶m³ [3].



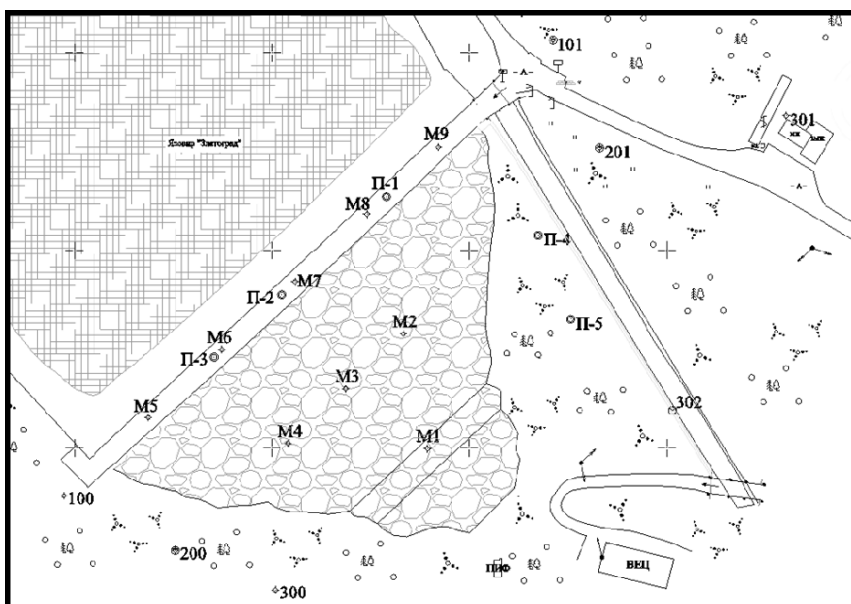
Фиг. 1: Стената на яз. „Златоград“

Използваните емпирични данни, за определяне на „хоризонталните и „вертикални“ премествания на характерни участъци от стената, са получени в резултат от периодични контролни геодезически измервания (цикъл „пролет-есен“), между контролни точки от специално проектираната и изградена на обекта мониторингова геодезическа мрежа.

2.1. Реализация и обработка на измерванията

Схема на контролните точки, разположени на подходящо избрани места по обекта е дадена на Фиг. 2.

- Мониторингът на вертикалните премествания се осъществява посредством наблюдението на поведението на 9 броя репери, както следва: берма 1 – 1 брой; берма 2 – 3 броя и корона – 5 броя;
- Едновременно с преместванията във вертикално положение, се следят и хоризонталните премествания на точките, върху които са закрепени тези репери.



Фиг. 2: Схема на контролните точки

Контролните измервания са реализирани с геодезическа апаратура, чиито технически и точностни характеристики са в съответствие с целите на задачата, а именно:

- Тотална станция „STONEX“ R2W-2 PLUS 500 (Фиг. 3а), със средна квадратна грешка за измерена посока 2'', а за измерено разстояние – 2mm+2mm/km;
- Дигитален нивелир „SOKKIA“ SDL1X (Фиг. 3б), със средна квадратна грешка от 1mm, за 1km двойно пронивелиран нивелачен ход.



Фиг.3: Реализация на измерванията

Измерванията, целящи установяване на хоризонталните премествания на контролните точки са реализирани чрез прилагане на „створен метод“, а за установяване на вертикалните премествания е приложена прецизна нивелация.

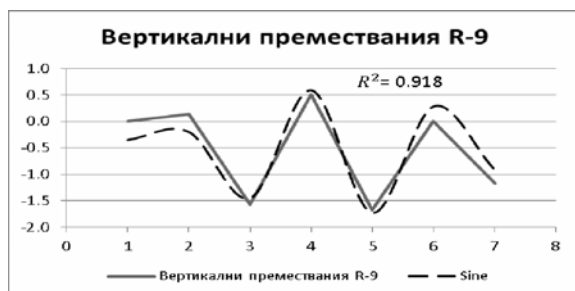
Резултатите от измерванията са подложени на предварителна обработка, с цел гарантиране на тяхната надеждност. С резултатите от окончателната обработка на измерванията са попълвани периодично в специално оформени таблици.

През целия период на изследване са извършвани и ежедневни пиезометрични измервания на водното ниво на яз. „Златоград“. Изчислени са техните средни стойности за периода, през който са извършени контролните геодезически измервания.

Изчислено е средното количество на валежите за съответния интервал от време.

3. Анализ и апроксимиране на деформациите

Създаването на една кратковременна прогноза за „хоризонталните“ и „вертикалните“ премествания на контролните репери и марки, стабилизирани на изследвания обект, както и определянето на техния характер, изисква намирането на някаква зависимост между времевия период на измерване и стойностите на измерените деформации (премествания). Зависимостта между резултатите, в отделните цикли и периода между тези цикли, за репер R-9, е представен на Фиг. 4 и 5.



Фиг. 4 – Вертикални деформации на R-9



Фиг. 5 – Хоризонтални деформации на R-9

Графиките ясно изобразяват поведението на преместванията (деформациите), наподобяващо трептене или осцилация, между последователните цикли на измерване. Подобен характер на промяна в положението на реперите може да се апроксимира, прилагайки функция на синусоидална крива с уравнение от вида:

$$y = a \cdot \sin(bx - c) + d \quad (1)$$

Определянето на най-вероятните стойности на отделните параметри е постигнато чрез изравнение по МНМК, като заедно с тях са изчислени и коефициентите на корелация на Пирсън - R^2 , показващ точността и степента на зависимост между двете променливи величини.

Подобно поведение (осцилация) е наблюдавано и при анализ на преместванията за останалите дискретни точки от язовирната стена. Това е и причината за прилагане на аналогичен подход и за тези точки, при определяне на тяхната апроксимираща функция.

Резултати от апроксимацията могат с успех, в един бъдещ период, да бъдат използвани за краткосрочни анализи и прогнози, свързани с поведението на дискретните точки, разположени върху язовирната стена.

4. Корелационен анализ на стойности на преместванията и вариации на средното водно ниво (ΔKBN) между отделните цикли

За целите на изследването е избран да се използва критерият “Коефициент на обикновена линейна корелация на Пирсън”. Както е известно, основополагащата хипотеза на този метод е, че двете променливи са линейно свързани [4].

Границите на абсолютната стойност, за различните степени на коефициента на корелация, са дадени в Таблица 1.

Таблица 1: Степен на корелационна зависимост [2]

Стойност	Степен на корелация
0	липсва зависимост
до 0.3	зависимостта е слаба
от 0.3 до 0.5	умерена зависимост
от 0.5 до 0.7	значителна зависимост
от 0.7 до 0.9	силна зависимост
над 0.9	много силна зависимост
1	зависимостта е функционална

Резултатите от измерванията са преобразувани в метрична скала, удовлетворяваща изискването за изчисляване на коефициента на корелация на Пирсън, а именно: двете променливи да са в идентична скала.

За изчисляване на коефициента на линейна корелация (КЛК), между променливите X и Y е използваната формула:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2)$$

където:

X – вертикални/хоризонтални премествания между отделните цикли

Y – разлика между стойностите на средното водно ниво между отделните цикли

n – брой на изследваните цикли

4.1 Изчисляване на КЛК между вертикалните премествания и ΔKBN между циклите

Данните от изчислените стойности на преместванията и разликата в ΔKBN между отделните цикли са представени в Таблица 2.

Таблица 2: Стойности на вертикалните премествания и ΔKBN между цикли

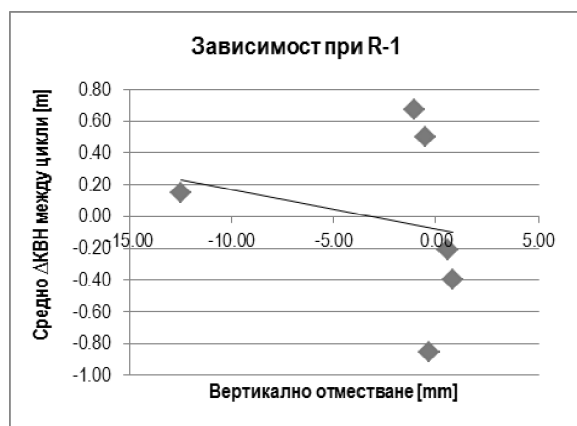
№ на изм.	Дата	Вертикални премествания $\pi_i - \pi_{i-1}$ [mm]									ΔKBN между цикли [m]
		R-9	R-8	R-7	R-6	R-5	R-4	R-3	R-2	R-1	
1	25.03.2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	14.10.2019	0.13	0.50	1.02	0.85	-0.31	2.96	2.59	1.68	0.58	-0.21
3	28.04.2020	-1.57	-2.90	-4.02	-3.50	-1.87	-3.36	-3.49	-2.42	-0.51	0.50
4	28.10.2020	0.51	0.91	1.51	0.95	0.12	1.77	2.00	1.58	-0.35	-0.86
5	28.04.2021	-1.67	-3.51	-4.31	2.30	-1.44	-3.07	-3.00	-2.34	-1.04	0.67
6	10.11.2021	0.00	0.50	0.34	-6.32	-1.05	0.62	0.44	0.39	0.83	-0.40
7	10.05.2022	-1.17	-5.37	-6.07	-4.90	-3.64	-1.73	-2.56	-0.80	-12.44	0.15

Съответните резултати за КЛК са представени в Таблица 3:

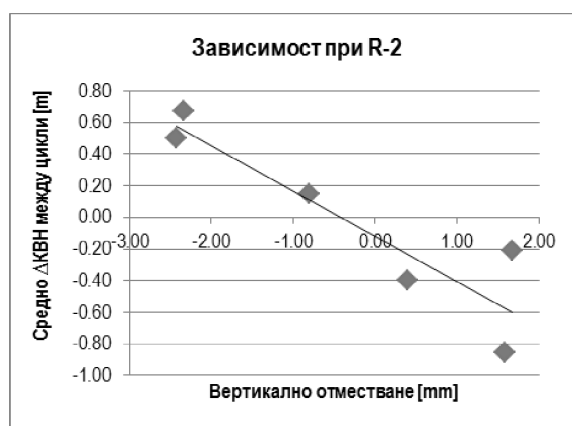
Таблица 3. Резултати от КЛК

Репер	R^2	Значение на стойността
R1	-0.22	зависимостта е слаба
R2	-0.91	много силна зависимост
R3	-0.86	силна зависимост
R4	-0.85	силна зависимост
R5	-0.59	значителна зависимост
R6	0.03	зависимостта е слаба
R7	-0.83	силна зависимост
R8	-0.78	силна зависимост
R9	-0.96	много силна зависимост

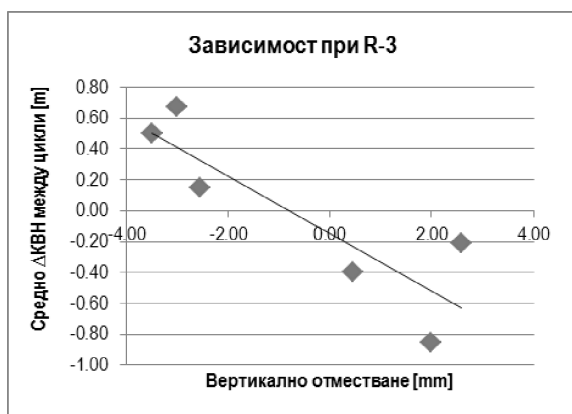
За да бъде показана нагледно формата и посоката на връзката между двете променливи, е построена диаграма на разсейването [4]. Получените диаграми на разсейване са показани на Фиг. 6-9:



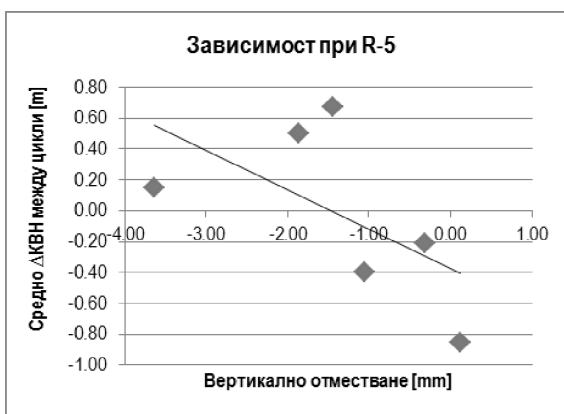
Фиг 6. Диаграма на разсейване – Слаба зависимост



Фиг 7. Диаграма на разсейване – Много силна зависимост



Фиг. 8. Диаграма на разсейване – Силна зависимост



Фиг. 9. Диаграма на разсейване – Значителна зависимост

При така получените резултати следва, че съществува силна зависимост между стойността на вертикалното преместване в дадена дискретна точка от язовирната стена и промените на водното ниво.

4.2 Изчисляване на КЛК между хоризонталните премествания и разликата в средната кота на водното ниво (KBH) между циклите

В таблица №4 са представени данните от изчислените стойности на преместванията и разликата в средната KBH между отделните цикли.

Таблица 4: Стойността на хоризонталните премествания и средно ΔKBH между цикли

№ на изм.	Дата	Хоризонтални премествания $n_i - n_{i-1}$ [mm]									Средно ΔKBH между цикли [m]
		R-9	R-8	R-7	R-6	R-5	R-4	R-3	R-2	R-1	
1	25.03.2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
2	14.10.2019	-11.00	-12.00	-8.00	-10.00	-7.00	0.00	-3.00	-3.00	0.00	-0.21
3	28.04.2020	5.00	2.00	2.00	2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	-6.00	0.50
4	28.10.2020	-7.90	0.30	-0.80	-1.90	-3.30	2.10	2.70	1.40	5.40	-0.86
5	28.04.2021	8.30	0.10	0.60	1.70	2.80	-1.60	0.60	2.20	-5.60	0.67
6	10.11.2021	-8.29	-3.80	-1.96	5.50	1.40	-4.70	-2.30	8.80	2.01	-0.40
7	10.05.2022	17.19	2.40	7.56	2.00	7.50	10.50	8.40	-3.10	-3.01	0.15

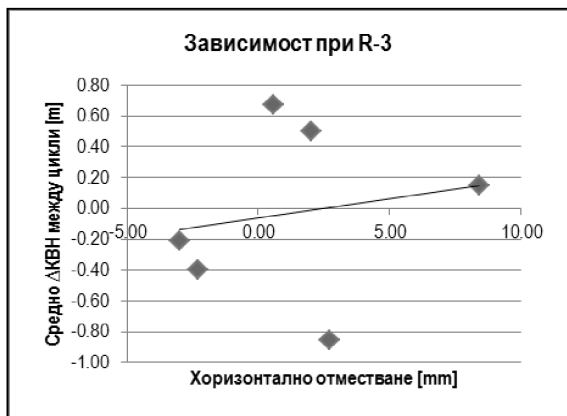
Резултатите за КЛК от своя страна биват:

Таблица 5: Резултати от КЛК

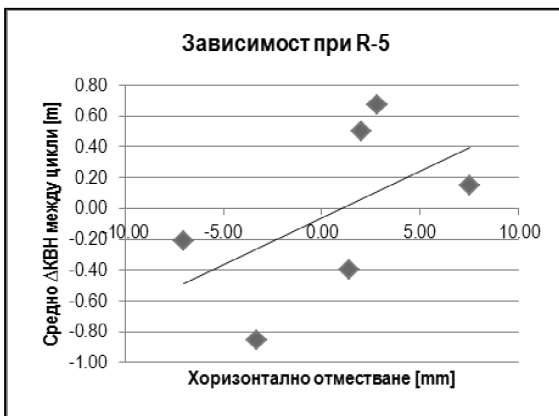
R1	-0.99	много силна зависимост
R2	-0.30	умерена зависимост
R3	0.18	зависимостта е слаба
R4	-0.02	зависимостта е слаба
R5	0.54	умерена зависимост
R6	0.26	зависимостта е слаба
R7	0.39	умерена зависимост
R8	0.32	умерена зависимост
R9	0.71	силна зависимост

Появява се слаба зависимост при анализ на резултатите от изследването за връзката между разликата в хоризонталните премествания, в дадена дискретна точка от язовирната стена и промените на водното ниво.

Показана е диаграма при слаба и умерена зависимост – Фиг. 10 и Фиг. 11.



Фиг 10. Диаграма на разсейване – Слаба зависимост



Фиг 11. Диаграма на разсейване – Умерена зависимост

5. Заключение

Резултатите от мониторинговите измервания, реализирани в периода 2019-2022г., илюстрират поведението (височинните и планови колебания) на реперите и марките от 2019 година до момента. Вследствие на извършения математически анализ, се наблюдава осцилация в поведението на преместванията между последователните цикли от измервания. Констатира се силна зависимост между стойността на вертикалното преместване в дадена дискретна точка от язовирната стена и промените във водното ниво. Слаба е зависимостта на хоризонталните премествания от вариациите на водното ниво.

Получените резултати са една добра основа за анализ и интерпретация на експлоатационното поведение на съоръжението, от гледна точка на специалистите в сферата на хидротехническото строителство.

Литература

- [1] Пенев, П., Учебник „Инженерна геодезия“, Военно географска служба, печат, 2018г.
- [2] Костадинов, К., Вълчинов, В., Учебник „Математическа обработка на геодезически измервания“, УАСГ-2012
- [3] Община Златоград, официален уеб сайт: <https://zlatograd.bg/za-obshtinata/geografiya/vodni-resursi> (28.07.2022)
- [4] Господинов, С., Ламбева, Т., „Вероятности и статистика“, Лекционен курс за студенти от Геодезически факултет, УАСГ, 2022г.

**МАРКШАЙДЕРСКО ОСИГУРЯВАНЕ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ВЕРТИКАЛНА ШАХТА „ВЪРБА-1”,
РУДНИК „ВЪРБА-БАТАНЦИ”, „ГОРУБСО – МАДАН” АД**

Ива Чавдарова
„ГОРУБСО – МАДАН” АД, 4900 Мадан, chawdarowa.98@gmail.com
Десислава Атанасова – Венкова
„ГОРУБСО – МАДАН” АД, 4900 Мадан, dessislava.atanassova@abv.bg
Александър Цонков
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, altzon@abv.bg

**MINE SURVEYING IN THE OPERATION OF VERTICAL SHAFT "VARBA-1", "VARBA-BATANCI" MINE,
"GORUBSO – MADAN" JSC**

Iva Chavdarova
"GORUBSO – MADAN" JSC, 4900 Madan, chawdarowa.98@gmail.com
Desislava Atanasova – Venkova
"GORUBSO – MADAN" JSC, 4900 Madan Madan, dessislava.atanassova@abv.bg
Alexander Tzonkov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, altzon@abv.bg

ABSTRACT

The results of activities carried out during surveying the operation of the vertical shaft "Vurba-1", mine "Vurba-Batanci", "GORUBSO - MADAN" JSC are presented in the report.

In connection with deformations that occurred in the fastening of the vertical shaft and in the mine workings near it, a horizontal attachment of the working horizons and profiling of the shaft in the disturbed section was carried out. By means of appropriate measurements, the deviation angles of the lifting equipment were calculated. A special observation station was created on the surface of the earth and in the mine workings to monitor the deformation state of the rock massif. The obtained results are commented.

Въведение

Преди две години в бетоновия крепеж на вертикална шахта „Върба-1” в рудник „Върба - Батанци”, между хор.790 и хор.740, са забелязани пукнатини с ориентация североизток-югозапад и наклон около 30°.

На неработните хоризонти над хор.740, крепежът в близките до шахтата изработки, е силно компрометиран. В северната галерия на хор.740 се наблюдават пукнатини, които с течение на времето визуално нарастват. В работните хоризонти под хор.740 (хор. 590 и 540), където оводняването на масива е силно изразено, също се наблюдават нарушения на крепежа в изработките близо до шахтата.

Целта на доклада е да се представят резултатите от маркшайдерски контролни дейности при изследване състоянието на вертикална шахта „Върба-1”. Към момента през тази разкриваща изработка се извършва превоз на хора, материали и добити количества минна маса. Затова е необходимо да се установи причината за деформациите и при възможност да се вземат мерки за обезопасяване на съоръжението.

Общи сведения за рудник „Върба – Батанци”

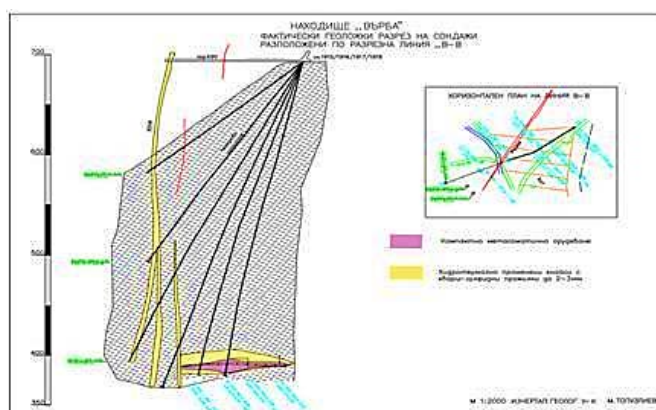
Рудник „Върба - Батанци” е един от рудниците на „ГОРУБСО - МАДАН” АД. Находището съдържа значителни запаси от оловно-цинкови руди и се разработва по подземен начин, чрез прилагане на система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки.



Фиг.1. Панорамна снимка на промишлената площадка на у-к „Върба – Батанци“, заснета с дрон

Находище „Върба“ е открито за добив през 1952 г. и работи до 1999 г. През 1968 г. пропада шахтата и добивът е преустановен. Впоследствие шахтата е възстановена [1]. През 2007 г. започва процедура по възстановяване на рудника и ремонт на ВШ „Върба-1“ от повърхността (940 m надморска височина) до хор.740. С многократното наводняване на рудника до кота 736 m и след неговото отводняване част от хвостозапълнението в отработените пространства е изнесено от водата. На хор.740, в галерия „Север“, се наблюдават пукнатини с размер от 1 – 2 cm, успоредни на основната жила.

До 1980 г., находище „Върба“ се смята изцяло за жилно находище, но в по-късни години от камери за дълбоко сондиране (на хоризонти 640 и 590) и последвалото проучване с дълбоки сондажи, са открити и зачислени в баланса запаси от метасоматична руда. Съдържанията са високи, а дебелината на рудното тяло варира от 1 m до 20 m. По-маломощни са метасоматичните тела в северния фланг на находището, където заместването е изцяло в амфиболити [1]. Основните рудни минерали са идентични с тези от останалите метасоматични орудявания в района. Най-ниската кота на подсеченото метасоматично орудяване е 230 m в южния край на находището.



Фиг.2. Геоложки разрез на сондажи в северния фланг на находището [1]

В северната част рудните жили са две и имат простирание СЗ-ЮИ, а западат на ЮЗ или СИ под стръмни ъгли. Вместени са в мощна зона от хидротермално изменени скали. Контактите им с вместващите скали са слаби. Двете жили са успоредни и отработването се е осъществявало много трудно, поради слабите вместващи скали. Често блоковете са пропадали и изземването им е ставало чрез самообрушаване [1].

Някои по-важни данни за находището са дадени в таблица 1.

Таблица 1

Елементи	„Върба” - юг	„Върба” - север
Азимут на простирание на рудните жили	330 – 360 °	370 – 400 °
Азимут на западане на жилите	30 - 60 °	270 - 300 °
Ъгъл на наклона на жилите	70 - 95 °	80 - 100 °
Максимална мощност на жилите	4,0 m	10,0 m
Минимална мощност на жилите	0,7 m	1,5 m
Брой на жилите	1	2
Наклон на скалите	30 - 70 °	50 - 70 °
Посока на потъване на скалите	СИ-ЮЗ	ЮЗ
Максимална мощност на изменените скали	15 m	25 m

Рудните жили са неустойчиви, склонни на места към самообрушаване, поради което при прокарване на минните изработки е предвидено тяхното закрепване за управление на скалния натиск. Вместващите скали са брекчи, конгломерато-брекчи, брекчо-конгломерати, биотитови, амфибол-биотитови и гранитизирани гнайси, амфиболити и мрамори.

Основните сулфидни минерали, застъпени в рудата, са галенит, сфалерит, пирит, халкопирит и арсенопирит. Първичните нерудни минерали са представени от кварц, калцит и анкерит.

Определянето на физико-механичните свойства на рудата и скалите е извършено първоначално при проучване на находището (1950 – 1952 г.): обемно тегло на рудата – средно 2,97g/cm³, обемно тегло на скалата – средно 2,50 g/cm³ [1].

Запасите в находището са разкрити с три вертикални шахти. Шахта „Върба-1“ разкрива запасите от хор.940 до хор.540. Оборудвана е с клетков подеи за вагони ВНР-1,0 m³ (фиг.3).



Фиг.3. ВШ „Върба-1“



Фиг.4. ВШ „Върба-2“ на кота 735,23 m



Шахта „Върба-2“ (фиг.4) е прокарана от хоризонт 920 до кота 175 m. Шахтата не е армирана и проектно е заложено използване на двуетажна клетка за вагони ВНР-1,7m³.

Вертикална шахта „Батанци“ разкрива запасите от кота 840 m до кота 490 m. Оборудвана е с клетков подеи за вагони ВНР-1,0 m³. През нея не се извършва вертикален извоз на добитата минна маса, а служи за пропускане на хора и се използва за втори изход.

Основна разкриваща изработка е и щолнята на хор.720 до Рудоземската обогатителна фабрика, която ще бъде проширена със сечение 14 m² и ще служи за транспорт на добитата руда с подземни автосамосвали с товароподемност 20 t.

Управлението на скалния натиск над и около отработените пространства се осъществява чрез закрепване с метални арки, дървени рамки, анкерни болтове и мрежа или чрез засводяване на

горнището на изработките. Видът на крепежа се определя в зависимост от здравината на скалите, структурните нарушения и напукаността на масива. С бариерни целици се охраняват шахти и околошахови съоръжения и изработки, както и по-големите дерета [1].

Преработката и обогатяването на оловно-цинковата руда, добита в рудник „Върба - Батанци“, се осъществява в Рудоземската обогатителна фабрика.

Нормативни изисквания за маркшайдерско осигуряване при експлоатацията на вертикални шахти

Наблюдения за деформации на шахтния крепеж и други съоръжения

Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция [4], чл.198, при откриване на деформации в шахтния крепеж и на съоръжения на повърхността, маркшайдерската служба трябва да вземе следните мерки за наблюдаване на появилите се деформации:

1. Закрепване на репери в стените на вертикалната шахта в местата на появилите се деформации, чийто брой, разстояние между тях и честота на наблюдения се определят съвместно с главния инженер на рудника в зависимост от характера на деформациите.
2. Профилиране стените на шахтата в зоната на деформирания участък.
3. Измерване на появилите се пукнатини - по местоположение и размери.
4. Закрепване на репери в основите на надшаховата кула и сградата на подземната уредба за наблюдаване на пукнатините и появата на премествания.
5. Закрепване на точки от осите на шахтата на подшайбената площадка и на ригелите за наблюдаване състоянието на надшаховата кула.

Профилиране на вертикалната шахта в зоната на деформирания участък

В процеса на експлоатация на вертикалните шахти, веднъж в годината, се извършва маркшайдерска проверка за вертикалността на стените и армировката. Всичко това е регламентирано в чл.200, чл.201, чл.202, чл.203, чл.204, чл.205, чл.206 и чл.207 на Техническата маркшайдерска инструкция:[4]

Чл. 204 Профилирането на шахтата се извършва по две взаимно перпендикулярни сечения:

1. По линията, свързваща центровете на водачите.
2. По сечение, перпендикулярно на указаното в точка 1 и минаващо между двете клетъчни отделения.
3. За някои специални случаи освен горните два профила се допуска и профилиране в друго направление.

Чл. 205. Разстоянията от базисните точки (линия, равнина) до водачите, крепежа и стените на шахтата, трябва да се измерва с грешка, не по-голяма от:

- 1) до водачите ± 5 mm;
- 2) до крепежа на шахтата ± 10 mm;
- 3) до стените на шахтата ± 20 mm.

Извършване на съединителна снимка

Съединителната снимка (наричана още ориентировка) е комплекс от измерителни и изчислителни маркшайдерски работи, в резултат на които се създава геометрична връзка между маркшайдерската основа на земната повърхност и тази в подземните минни изработки. Съединителната снимка е една от най-отговорните маркшайдерски работи.

Съединителните снимки биват хоризонтални и вертикални. При хоризонталните съединителни снимки особено голямо значение има точното определяне на посочния ъгъл на първата подземна полигонова страна, тъй като грешката в него предизвиква нарастване на грешката в положението на крайната полигонова точка, пропорционално на отдалечаването ѝ от рудничния двор. Пренасянето на посочния ъгъл от земната повърхност в рудника се извършва по няколко метода: геометричен, физико-механичен (жироскопичен, магнитен) или оптичен. Пренасянето на координатите X и Y се извършва с полигонов ход или отвеси. При вертикалната съединителна снимка пренасянето на котата H се извършва с помощта на нивелация, стоманена жица, дълга шахтна лента или ролетка.

Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция [4] за контрол се правят две или повече независими ориентировки. Допустимата разлика между посочните ъгли на една и съща страна, получени при две хоризонтални съединителни снимки, е:

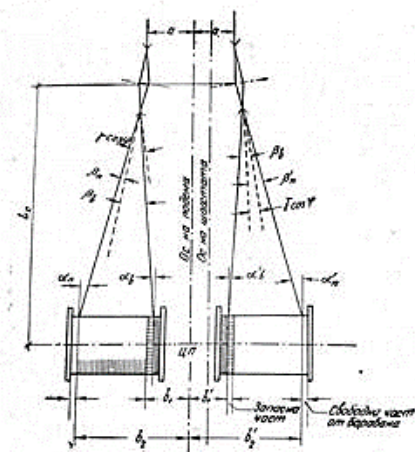
$$\Delta\alpha^{cc} \leq 175 \cdot \sqrt{\frac{H}{50}}, \quad (1)$$

където H е дълбочината на шахтата до ориентирвания хоризонт в метри.

Съгласно [4] допустимата разлика между две независими пренасяния на надморската височина е $\Delta H = 0,02 + 0,0002H$, m, (2)

където H е дълбочината на шахтата до ориентирвания хоризонт в метри.

Проверка ъглите на девиация



Фиг.5. Проверка ъглите на девиация

За всички типове подедни машини подедната ос трябва да е перпендикулярна на оста на главния вал на подедната машина.

При спускане и издигане на подедния съд в шахтата се премества положението на подедното въже върху работната част на барабана на подедната машина. Вследствие на това се изменя и ъгълът между въжето и линията, перпендикулярна на оста на вала на барабана.

При крайни положения на въжето върху барабана тези ъгли придобиват максималните си значения. Различават се два вида ъгли на девиация [4]:

Ъгъл на девиация на барабана при подедната машина – това е ъгълът между въжето на подедната машина и вертикалната равнина, перпендикулярна на оста на барабана на машината (фиг.5).

Ъгъл на девиация при направляващата шайба – това е ъгълът между въжето на подедната машина и вертикалната равнина, перпендикулярна на оста на барабана на шайбата (фиг.5).

Маркшайдерско осигуряване при експлоатацията на вертикална шахта „Върба-1“ и резултати от него

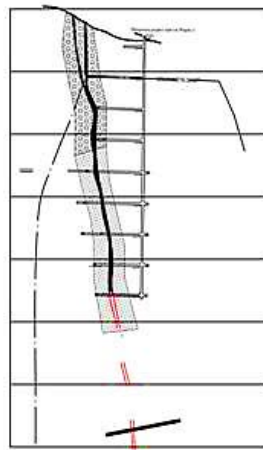
Маркшайдерските дейности включват:

1. Изучаване на геоложката характеристика в района на вертикалната шахта

По геоложки разрез, в зоната между двата споменати хоризонта – хор.790 и хор.740 (фиг.6), са разположени два вида скали (брекчо-конгломерати и гнайси) с ясно изразена граница между тях, със западане североизток-югозапад. Брекчо-конгломератите са до повърхността, а гнайсите – в дълбочина. В района на рудник „Върба-Батанци“ многобройните тектонски нарушения са с глинеста примазка и са силно оводнени, което влияе на напрегнато-деформационното състояние на скалния масив.

2. Извършване на измервания и определяне на ъглите на девиация на подедната уредба

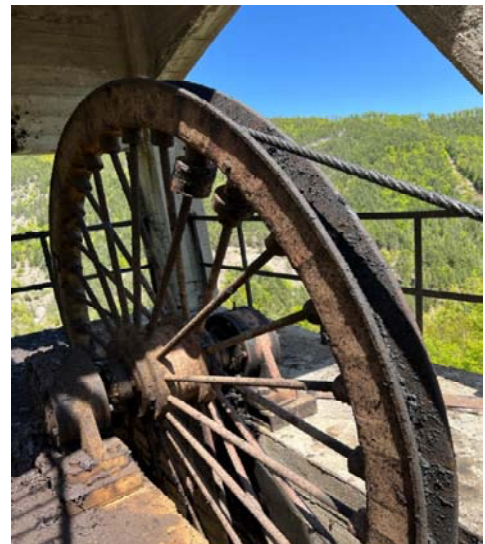
Вертикалната шахта „Върба-1“ е оборудвана с еднобарабанна подедна машина и две направляващи шайби. За определяне стойностите на ъглите на девиация в Техническата маркшайдерска инструкция е разгледан случаят само за двубарабанна подедна уредба. За нуждите на „ГОРУБСО - МАДАН“ АД е изготвен нормативен документ [3], утвърден в дружеството, съгласно който е извършена проверката на стойностите на ъглите на девиация. Направени са необходимите измервания при барабана на подедната машина и при направляващите шайби. Въз основа на получените резултати са изготвени чертежи (фиг.5 и фиг.7) и са изчислени ъглите на девиация по методиката, предложена в [3].



Фиг.6. Напречен геоложки разрез на скалите при ВШ „Върба-1“



Фиг.7. Проверка на ъглите на девиация на ВШ „Върба-1“



Фиг.8. Шайба на ВШ „Върба-1“

Максималната допустима стойност на ъглите на девиация е $1^{\circ}30'$, съгласно [4]. При по-голяма стойност въжето трие по реброто на шайбата, неправилно се износва футеровката ѝ и барабана на подемната машина, в резултат на което се износва по-бързо подемното въже.

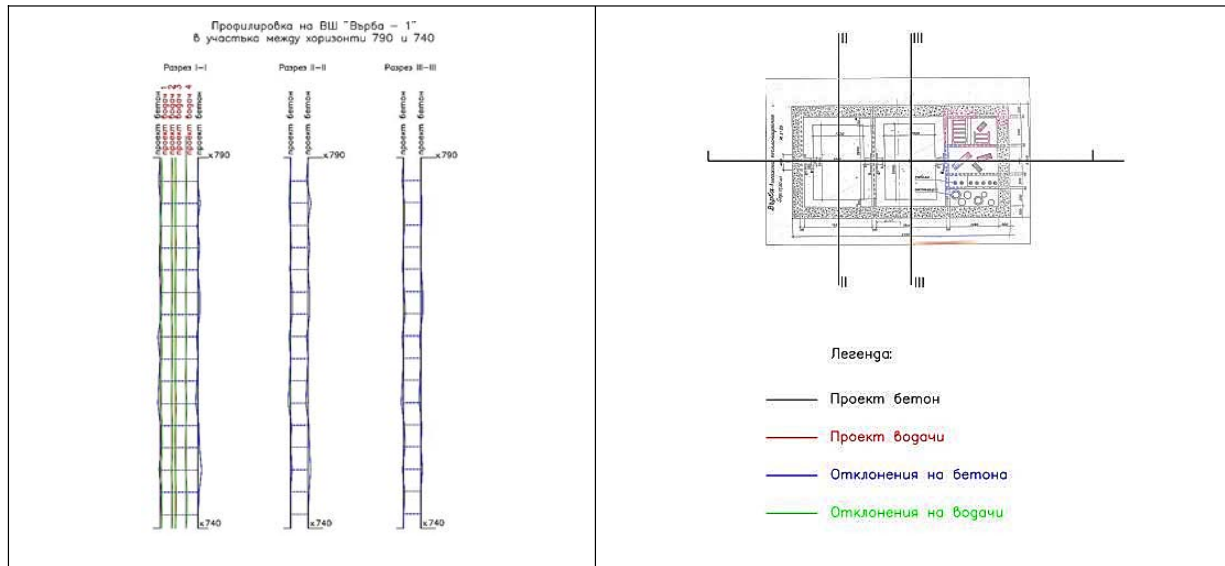
Изчислените ъгли на девиация не отговарят на изискваната максимално допустима стойност. Това предполага ревизия на цялата подемна система.

3. Извършване на профилировка на вертикалната шахта в зоната между хор.790 и хор.740

Извършена е профилировка на вертикалната шахта само в зоната на забелязаните пукнатини поради невъзможността да се спре вертикалния извоз за по-продължителен период от време. Отчетени са разстояния до водачите в двете клетъчни отделения на вертикалната шахта и до бетоновия крепеж в тях.

На фиг.9 е показана схемата на профилировката на вертикалната шахта в зоната между хор.790 и хор.740. Определени са отклоненията от проектното положение на крепежа и армировката във вертикалната шахта през интервал от 3 m (разстоянието между хоризонталните конструктивни елементи). Максималните стойности на отклоненията на крепежа в наблюдавания участък варират от 6

до 10 см в различните направления. Отклоненията на водачите се изменят от 3,5 до 4,5 см в зоните на двете клеткови отделения. С оглед безопасността при работа и за повишаване точността на резултатите от профилировката на шахтата би могло да се помисли за възможността за използване на някои от разгледаните в [2] методи за заснемане контурите на минните изработки със съвременни технологии и средства.



Фиг.9. Схема на профилировка на ВШ „Върба-1” в зоната между хор.790 и хор.740

4. Извършване на хоризонтална съединителна снимка на трите работни хоризонта

Извършена е хоризонтална съединителна снимка (ориентировка) на хор.740, хор.590 и хор.540 за определяне на единни координати на изходните точки на всеки от наблюдаваните работни хоризонти.



Фиг.10.

Съгласно [4] средната грешка при пренасяне на посочения ъгъл на първата дълга страна на ориентирувания хоризонт не трябва да превишава величината:

$$M_{CB} = \frac{\Delta\alpha}{2\sqrt{6}}, \quad (3)$$

където $\Delta\alpha$ се определя по формула (1).

Допустимата и реализираната точност на свързване са посочени в таблица 2.

Таблица 2

M_{CB} [cc]	Хор.740	Хор.590	Хор.540
$M_{CB\text{доп}}$ [cc]	71	95	101
$M_{CB\text{реал}}$ [cc]	102	104	103

5. Извършване на наблюдения за контролиране състоянието на скалния масив в близост до вертикалната шахта на земната повърхност и на работните хоризонти

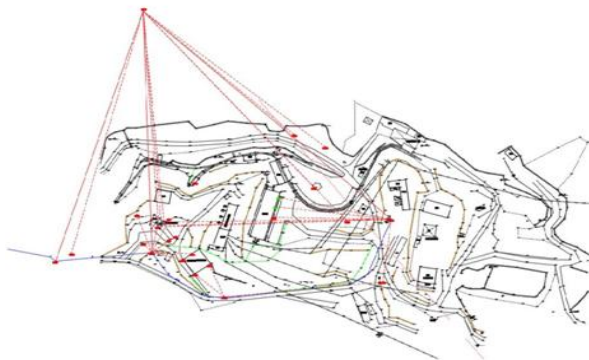
С цел установяване на евентуални хоризонтални и вертикални премествания на земната повърхност и в подземните изработки, в близост до шахтата, са стабилизирани контролни точки.

На повърхността това са стълбчета за принудително центриране на инструмента и сигналите (за определяне на премествания в хоризонтална и във вертикална равнина) и поредица от точки, чрез които ще се определят вертикални премествания на сгради, надшахтовата кула, асфалтовия път между гр.Мадан и с.Върба.

В рудника, на хор. 740, 590 и 540, в галериите близо до шахтата, са стабилизирани точки в стените и тавана на изработките (фиг.14).

5.1. Наблюдения на земната повърхност в района на вертикална шахта „Върба-1”

На повърхността е изградена опорна мрежа от точки, за определяне на хоризонталните и вертикалните премествания на наблюдаваните точки. Координатите на изходните точки 1001 и 1002 са определени с GNSS измервания. Изходните и контролните точки са стабилизирани, като основите им са бетонирани на 1 m дълбочина. Оборудвани са с винт за принудително центриране. Изходните точки са разположени извън деформационната зона. Контролните точки са стабилизирани на промишлената площадка, в близост до надшахтовата кула, на сградата на подемната машина, на краката на надшахтовата кула. Поставени са марки във височина на кулата за следене на хоризонталните премествания (фиг.12). Ситуацията на изходните и наблюдаваните точки е дадена на фиг.11.



Фиг.11. Ситуация на изходни и наблюдавани точки



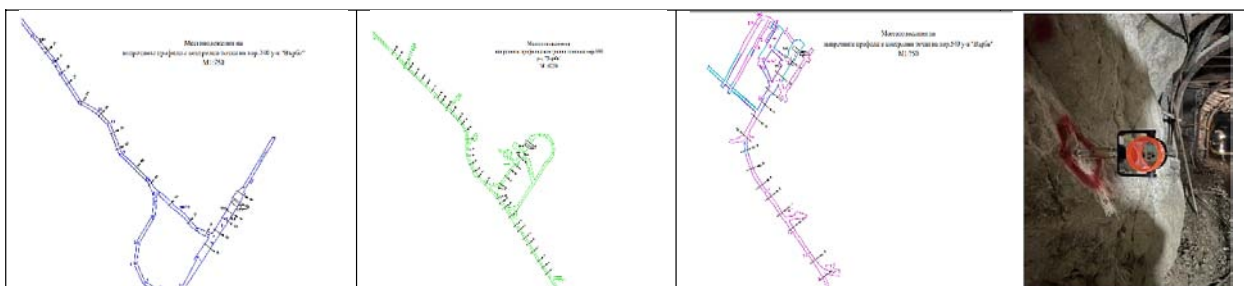
Фиг.12. Наблюдавани точки на надшахтовата кула

Извършени са две независими наблюдения за координиране в хоризонталната и във вертикалната равнина на наблюдаваните точки. Осреднените резултати от тях са приети за изходни. Координатите и надморските височини, получени от всяко следващо измерване, ще бъдат сравнявани с тях, както и с резултатите от всяко предходно измерване.

5.2. Наблюдения в избрани участъци от подземни изработки на трите работни хоризонта

За изследване на деформационното състояние на скалния масив около вертикалната шахта, на хоризонти 740, 590 и 540 е изградена специална наблюдателна станция.

На всеки от наблюдаваните работни хоризонти, извън зоната на очаквани деформации, са стабилизирани като изходни по 3 опорни точки и по 2 нивелачни репера. От тях, в изработките до вертикалната шахта са разположени в напречни профили по три наблюдавани точки – две в стените и една в тавана (фиг.14). Профилите са разпределени през приблизително еднакви разстояния в избрани участъци от галериите (през 10-15 m), както е показано на фигура 13.



Фиг. 13. Местоположения на напр. профили с контр. точки на хор. 740, 590 и 540

Фиг. 14. Набл. точка

От предварително координираните чрез хоризонтална съединителна снимка за всеки от хоризонтите изходни точки, с тотална станция, по полярен метод са определени пространствените координати на наблюдаваните точки. За целта са използвани последователно метода на обратната засечка (за координиране и ориентиране на станцията) и измерване по полярен метод на контролните точки от профилите, които са видими от съответната станция.

Наблюденията в изработките на трите работни хоризонта ще продължат регулярно, с цел определяне на евентуални закономерности при изменение на деформационното състояние на скалния масив.

Коментар на резултатите от маркшайдерските наблюдения

Във връзка с осигуряване безопасна и безаварийна работа на вертикалната шахта в доклада е показан реда за работа при маркшайдерското осигуряване и са представени извършените наблюдения и измервания в шахтата, на земната повърхност и в изработки на работните хоризонти:

1. Определени са отклоненията от проектното положение на крепежа и армировката във вертикалната шахта. Максималните стойности на отклоненията на крепежа в наблюдавания участък варират от 6 до 10 cm в различните направления. Отклоненията на водачите се изменят от 3,5 до 4,5 cm в зоните на двете клеткови отделения. Тези отклонения засега не предизвикват проблеми за вертикалния извоз в шахтата.

2. Изчислените ъгли на девиация надвишават определения в [4] допуск от $1^{\circ}30'$. Това вероятно е причина за периодични ремонти и предполага ревизия на цялата подемна система.

3. Извършена е хоризонтална съединителна снимка за привръзване на наблюдателните линии на работните хоризонти в близост до вертикалната шахта към координатната система на повърхността.

4. Оценена е точността на ориентировката за трите хоризонта. Тъй като получените резултати надвишават незначително допустимите стойности, то наблюдаваните точки на хоризонтите могат да послужат като изходна основа за последващите регулярни определяния на пространствени изменения на точки от масива в различни зони спрямо вертикалната шахта.

5. Чрез периодично определяне на координатните изменения в хоризонтално и вертикално отношение на стабилизирани точки на земната повърхност ще се дефинират зони околко вертикалната шахта с различни направления и различна интензивност на преместванията.

6. Правилната и навременна интерпретация на резултатите от измерванията ще покаже необходимостта от вземане на конкретни ефективни мерки, гарантиращи безопасното състояние на съоръженията от надшахтовия комплекс на повърхността.

Използвана литература

1. Архивна документация на „Върба - Батанци“ АД, у-к „Върба - Батанци“.
2. Бегновска, М., Съвременни методи, технологии и средства в маркшайдерското осигуряване на минни обекти, ИК „Св. Иван Рилски“, София, 2022.
3. Методическо ръководство за маркшайдерските работи при строителството, експлоатацията и реконструкцията на вертикални шахти и свързаните с тях надземни и подземни комплекси за условията на СМОК „Горубсо“ - инж. Стефан Паунов, инж. Благой Джалов, инж. Ангел Доцев.
4. Техническа маркшайдерска инструкция, ДИ „Техника“, 1969.

ИЗГРАЖДАНЕ И НАБЛЮДЕНИЕ НА КОНТРОЛНО-ИЗМЕРВАТЕЛНА СТАНЦИЯ В ГЛАВНА ИЗВОЗНА ГАЛЕРИЯ В У-К „КРУШЕВ ДОЛ“, „ГОРУБСО-МАДАН“ АД

Десислава Атанасова-Венкова¹

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, гр. София, България,
dessislava.atanassova@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Вследствие развитието на минните работи, прокарването на изработки с по-големи сечения и освобождаването на големи отработени пространства в участък „Крушев дол“, възниква необходимост от изучаване и контролиране на деформационните процеси и опазване на подземни обекти от влиянието им. В участък „Крушев дол“, една от главните извозни галерии е в близост до отработено пространство с големи размери. Това е важна капитална изработка и е от жизнено важно значение нейното опазване. В доклада е представена изградената наблюдателна станция (контролно-измервателни профили и репери) за проследяване деформационното състояние на масива около галерията. Извършени са началните маркшейдерски наблюдения, резултатите от които ще послужат за сравнение със следващите измервания. Въз основа на данните за реализирани пространствени премествания на наблюдаваните репери в подземните изработки ще се определя деформационното състояние на масива към различните моменти на провеждане на наблюденията.

CONSTRUCTION AND MONITORING OF A CONTROL AND MEASUREMENT STATION IN THE MAIN EXPORT GALLERY "KRUSHEV DOL" SECTION, "GORUBSO-MADAN AD

Desislava Atanasova-Venkova¹

¹University of Mining and Geology is "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria,
dessislava.atanassova@abv.bg

ABSTRACT

As a result of the development of mining operations, the development of workings with larger sections and the release of large worked spaces in the "Krushev dol" section, there is a need to study and control the deformation processes and observe the underground objects from their impact. In the "Krushev dol" section, one of the main haulage galleries is close to a large working space. This is an important capital structure and its preservation is vitally important. The report presents the built observation station (control-measurement profiles and benchmarks) for tracking the deformation state of the massif around the gallery. The initial Markscheider observations have been made, the results of which will be used for comparison with subsequent measurements. Based on the data on realized spatial displacements of the observed benchmarks in the underground workings, the deformation state of the massif will be determined at the various moments of the observations.

Въведение

През последните 10 години, внедреният нов минен модел в у-к „Крушев дол“, дава възможност за по-бърз темп на добив на полезно изкопаемо. Резултатът от това е бързото освобождаване на големи отработени пространства, като част от тях са в близост до важни капитални изработки. Една такава е гал.550, като в близост до нея е разположена камера 6, с иззет обем около 55 000 m³. По главна галерия 550 се извършва превоз на полезно изкопаемо, материали и хора. Тя е основна връзка с южната част на находище „Крушев дол“.



Фиг. 1 - у-к „Крушев дол“ - подход към камера 6

Общи сведения за участък „Крушев дол“

Досега не е известно нито името на първооткривателя, нито имената на първите геолози, посетили находището. Установено е само, че първите проучвателни работи на находището са проведени през 1931 година. От 1948 година по находището е започната системна геоложка документация и опробване. Южната част на находището е известна като участък „Бучовица“ и отначало е проучвана и експлоатирана отделно. През 1959 година данните са обобщени в геоложки доклад. Понастоящем находище „Крушев дол“ се приема като обхващащо и двата участъка. Рудните тела на находището са локализирани в регионалния рудовместващ разлом „Илинден – Върба – Батанци – Яновска -Крушев дол – Бучовица – Андрю - Шумачевски дол“.

Находище „Крушев дол“ е разкрито с три вертикални шахти, от които действащи са ш.Капитална и ш.Спомагателна. Шахта Бучовица служи за вентилация на участъка. Около шахтите и под надземния рудничен комплекс има обособени предпазни целици, по които не се води експлоатация. На север контурът на находище „Крушев дол“ граничи с разлом, а на юг – с южния водораздел на р.Бучовица.

Вместващите скали са здрави и имат ясно изразени контакти с рудната жила и метасоматичните пластовете. При експлоатацията на геоложките блокове се обособяват целици, с които се управлява скалния натиск.

В находище „Крушев дол“ са установени два типа рудни тела - жилни и метасоматични. Жилните рудни тела са привързани към разломите от север-северозападната разломна група. Наблюдават се четири основни рудни зони.

Някои по-важни данни за находището са дадени в таблица 1.

Метасоматичните рудни тела имат голямо разпространение в находището. Те са установени, както в алохтонните, така и в автохтонните мраморни пластовете. Особено забележителни са метасоматичните залежи в автохтонните мрамори /т.нар. Втори мраморен хоризонт/, в които по всяка вероятност е локализирана по-голямата част от метала на находището. Те са образувани на местата на пресичане на мраморните пластовете от север-северозападни разломи, а особено голямо става площното им разпространение в местата на пресичане на З-СЗ и С-СЗ разломи. Метасоматичните рудни тела имат пластообразна, но понякога и сложна тръбообразна и стълбообразна форма. Вертикалната дебелина на метасоматичните залежи достига до 4 m в алохтонните и до 9.50 m в автохтонните мрамори. Пластообразните тела следват посоката на потъване на вместващите ги мраморни пластовете. В алохтона те потъват на север-северозапад, а в автохтона на запад-югозапад.

Орудяването е наложено върху хеденбергитови /по-рядко йохансенитови/ и родонитови скарни, но понякога е направо във мрамори. [1]

Таблица 1

Елементи	Рудна зона 1	Рудна зона 2	Рудна зона 3	Рудна зона 4
Азимут на простиране на рудните жили	320 – 340 °	310-340 °	315 – 335 °	320 °
Азимут на западане на жилите	75 – 80 °	60 – 75 °	60 – 85°	70 - 75 °
Ъгъл на наклона на жилите	70 – 90 °	75 – 95 g	70 - 95 °	70 °
Максимална дебелина на жилите	25 - 27 m	1,8 – 2,00 m	2,0 m	2,0 m
Минимална дебелина на жилите	0,1 – 0,2 m	0,5 m	0,7 m	0,5 m
Брой на жилите	Основна жила и множество апофизи	1	Кварцови прожилки	Не съдържа промишлено орудяване
Наклон на скалите	40 - 70 °	40 - 70 g	45 - 75 °	50 - 70 °
Посока на потъване на скалите	3-С3	3-С3	3-С3	3-С3
Максимална дебелина на изменените скали	25 m	10 m	10 m	10 m

В участък „Крушев дол“, прилаганите системи на разработване на рудните запаси в находището са две:

- Система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки;
- Камерно-стълбова система;

Методика, порядък и технически условия за маркшайдерско осигуряване на устойчивостта на обекти при експлоатацията на рудни находища по подземен начин

При експлоатацията на рудните находища по подземен начин, се създават празни пространства, с които се нарушава съществуващото естествено напрегнато състояние на скалния масив. Когато празните пространства достигнат критичните размери за дадени условия, вместващите скали губят своята устойчивост и започват да се деформират, а при определени условия процесът на деформиране може да достигне повърхността.

Основни фактори, влияещи върху проявите и развитието на процеса на движението на скалите и земната повърхност, са [2]:

- Структурни особености на скалния масив;
- Якостна характеристика на вместващите скали;
- Форма и размери на иззетите пространства;
- Дълбочина на разработване;
- Дебелина на рудните тела;
- Ъгъл на западане на рудните тела;
- Системи на разработване.

При опазване на съоръженията и обектите на земната повърхност от вредното влияние на подземните минни изработки се определя и оконтурява предпазна берма, с размери, в зависимост от вида на обектите.

Мерките за опазване на съоръженията и обектите в рудните райони се определят въз основа на параметрите на проявите и развитието на деформационните процеси, на технико-икономическа оценка и др. Част от прилаганите мерки за опазване са следните:

- Оставяне на предпазни целици с необходимите размери;

- Прилагане на подходящи системи на разработване, осигуряващи устойчивост на вместващите скали;
- Провеждане на специални систематични наблюдения на опазваните обекти с цел определяне на евентуални премествания в хоризонталната и във вертикалната равнина и достигането им до опасни за обектите стойности. Въз основа на резултатите от наблюденията може да се състави времеви модел на деформационния процес. Правилната му интерпретация служи за своевременно предупреждение за появата на опасни деформации и проектиране на необходимите защитни мероприятия;

Всички обекти и съоръжения в рудните райони, подлежащи на опазване, по своето значение, конструктивни особености и характер на последствията от вредното влияние на подземните изработки, се класифицират в три категории [2]:

Категория	Опазвани обекти	Критичен деформационен ниво (мм/г)	Безопасно ниво (мм/г)	Безопасно ниво (мм/г)
I	Главни водовни шахти, надшахтови кули, построения и камери на подземни машини, ел. източници трансформатори и кондензатори; здания на обектостроителни фирми с капацитет над 500 хил.т/г преработка на руда, заводски цехове и димови комина; обществени построения на три и повече етажа; жилищни построения на 4-ри и повече етажа; електростанции и централни компресорни станции с производителност над 100 т ³ /м; магистрални в.п. линии, в.п. мостове с отвор над 20 м., магистрални водопроводи и помпени станции; деривационни тунели и корита на големи реки и други	2	3	20
II	Спомогателни шахти и съоръжения на подземни комплекси и вентилаторите; руднични обектостроителни фирми с капацитет над 500 хил.т/г преработка; електростанции, компресорни станции с производителност над 100 т ³ /м; електромеханически работилници; в.п. линии и железопътни станции с местно значение; обществени построения на два етажа; жилищни построения на два и три етажа; естествени водовни и водопроводи, хлебопекарни, котелни и железопътни букари	4	6	10
III	Бъзови и други станции на външни линии, едноетажни обществени и жилищни построения, шосейни пътища, открити с високо напрежение водопроводи с местно значение	6	10	5 м

Фиг.2 – Класификация на опазвани обекти [2]

Маркшайдерските наблюдения имат за цел определянето на закономерностите в движението на скалите и получаването на данни, свързани с управлението на скалния натиск.

За изучаване характера на движението на скалите в рудника се залагат подземни наблюдателни станции. Формата на профилите и начинът на стабилизиране на реперите се определят в зависимост от конкретните задачи. Всяка профилна линия трябва да има най-малко два опорни репера, разположени извън зоната на движение и стабилизиращи като постоянни точки.

За извършване на наблюдения най-често се използват специални наблюдателни станции, състоящи се от профилни линии, разположени подходящо, съобразно наблюдавания обект. За обекти на земната повърхност се стабилизират изходни реperi от двете страни на профилните линии, на разстояние от крайния работен репер 50 до 100 m. Измерванията се извършват през определен интервал от време, координират се наблюдаваните точки в хоризонтална и вертикална равнина. Чрез измененията в стойностите на координатите им се определят съответни премествания и се изчисляват деформации. При всяко наблюдение се заснема положението на минните изработки, чието влияние върху обектите се оценява.

С маркшайдерските наблюдения се определят следните параметри:

- Ъгли на движение, ъгли на разкъсване, гранични ъгли;
- Големина и разпределение на вертикалните и хоризонталните премествания и деформации;
- Обща продължителност на движението на скалите и продължителност на отделните стадии;

- Размер и характер на деформациите и повредите на подработените съоръжения [3].
В зависимост от оценяваните параметри продължителността на наблюденията е различна.

Маркшайдерски наблюдения в главна извозна галерия на х.550

Минните работи, които се водят извън контура на камерата, но също в близост до главна извозна галерия на х. 550, са предпоставка за очаквани премествания в галерията (фиг.3). Това би застрашило запазването на целостта ѝ и би довело до нарушаване на производствения ритъм в рудника.

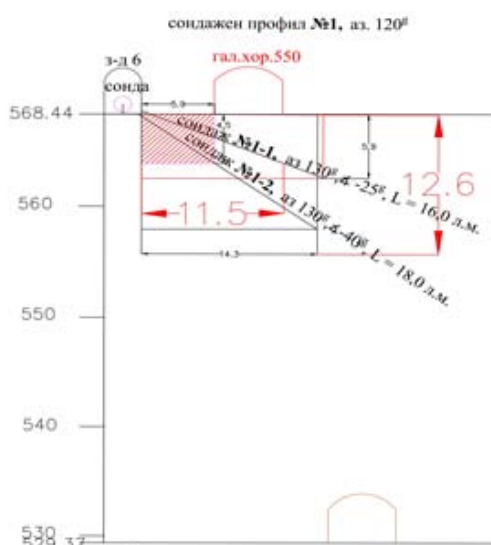
На изток от камера 6, експлоатацията е по метасоматично орудяване, наклонът на пласта е с посока запад – изток, като системата на разработване предполага освобождаването на нови пространства.

Масивът е изграден от здрави скали - гнайси и амфибол-биотитови гнайси, но на 6 m източно от галерията преминава разлом.



Фиг.3 – Камера 6

Извършено е сондиране от главна извозна галерия х.550, и е установен целикът между камера 6 и галерията (фиг.4).



Фиг.4 - у-к „Крушев дол“- сондажен профил
- Камера 6 и галерия 550“



Фиг.5- у-к „Крушев дол
-ситуация Камера 6 и галерия 550

Намалените отстояния са повод за извършване на маркшайдерски дейности по проследяване на евентуални премествания и анализ на техните стойности. Стабилизираните репери са в участък от 150 m. Разположени са в 18 броя напречни профили, като 8 от тях са в зоната, успоредно на камерата, а останалите (по 5 в двете посоки – преди и след нея). Наблюдаваните точки са по три в профил – две в стените и една на тавана на галерията (фиг.6).



Фиг.6 – Стабилизирани репери

Наблюдателната станция е привързана координатно (планово и височинно) към рудничната опорна мрежа. В двата края на наблюдавания участък са стабилизирани изходни точки, чиито координати ще се определят от рудничната основа преди всяко измерване.

Пространствените координати на всички точки ще се определят по полярен метод, а само надморската височина на точките на тавана на галерията – с прецизна геометрична нивелация.

Съгласно инструкцията за изследване на деформации [4] към момента са проведени две близки във времето измервания. Получените чрез резултатите им координати са осреденени и ще служат за сравнение за всяко следващо регулярно измерване. Ще се определят стойности на хоризонтални и вертикални премествания и на пространствени вектори за всяка от наблюдаваните точки. Ще се анализира влиянието на празното пространство в камерата върху галерията. Ще се изследва поведението на скалния масив при постепенното запълване на камерата с остатъчен материал.

Въз основа на получените стойности на преместванията ще се определя деформационното състояние на скалния масив в периода на провежданите наблюдения.

Литература

1. Работен проект на участък „Крушев дол“, „ГОРУБСО МАДАН“ АД.
2. Инструкция за опазване на съоръженията и обектите от вредното влияние на подземните минни изработки в рудните находища., 1980г.
3. Наръчник по Маркшайдерско дело, 1965г.
4. Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи, София, 1980.

НЯКОИ РЕЗУЛТАТИ ОТ АНАЛИЗ НА НОРМАТИВИТЕ ЗА МАРКШАЙДЕРСКО ОСИГУРЯВАНЕ В Р-К „ЧЕЛОПЕЧ“

д-р инж. Сергей Михалев Sergei.Mihalev@dundeepriceous.com
проф. д-р Станислав Топалов stopalov@gmail.com

ABSTRACT

The growing rates of underground resources extraction require a corresponding level of mine surveying activities. In such conditions, with traditional methods and equipment, it is no longer possible to ensure the necessary operational efficiency of mine surveying works. Increasing the productivity and effectiveness of mine surveying work is possible using highly efficient electronic-optical instruments, modern technologies, and contemporary methods, the essence of which is not rooted in the outdated regulations. Based on analyzes and evaluation of the current regulatory framework for mine surveying activities in the existing modern conditions, approval and imposition of new modern equipment and methods in Chelopech mine, phased changes in the regulatory framework for survey activities in the country are reasonably proposed.

Въведение

Промените и усъвършенстването на средствата и технологиите, във времето, не са изменили основните маркшайдерски задачи свързани със:

- събиране на информация от земните недра с помощта на пространствено-геометрични измервания през етапите на проучването на находищата на подземни богатства, разработването им и консервирането/ликвидирането на минно-добивните обекти;
- трансформиране на набраната информация във вид необходим за решаване на характерни задачи на геолого-проучвателното и минното дело;
- подпомагане опазването на недрата и рационалното използване на подземните богатства, както и за използването на информацията при строителството и експлоатацията на подземни съоръжения, които не са свързани с добива на подземни богатства.

Предмет на маркшайдерските дейности са изучаване на минния масив, находището на подземни богатства, вмествашите скали, частта от земната повърхност, намираща се в зоната на влияние на минните работи, сондажни и минни изработки, свързани с минните работи и процесите на минното производство, и др.

Стремежът, маркшайдерството да отразява действителното състояние на обекта и протичащите в него процеси, безусловно е свързан с използване на най-съвременни прибори, средства и технологии за събиране на информация, нейната обработка и представяне [1]. Така, в развитието на маркшайдерството са се обособили две направления:

- свързани с качествените изменения на техниката и методиката на извършваните маркшайдерски работи, използване на нови инструменти, снимачни методи, методи за ориентиране, съвременни автоматизирани инструменти и технологии;
- разработване на нормативно-правни и инструкционни документи, регламентиращи и регулиращи маркшайдерската дейност.

Общ профил на състоянието на нормативната уредба

Нарастващите напоследък темпове на добив в много находища на подземни богатства неизбежно налагат съответно ниво на маркшайдерско осигуряване на минните дейности, изискващо необходимата оперативност и ефективност.

Основните документи, уреждащи статута, правата, задълженията и начините за решаване на основните задачи на маркшайдерските служби и отдели у нас са разработвани през периода 1950 - 1980 година, и отразяват (също и взаимстват) опита основно на СССР, ГДР, Чехословакия и Полша, както натрупания опит на българската маркшайдерска школа. По обхват и значение, основно място

заема известната „Техническа маркшайдерска инструкция” от 01.01.1968 година [2], която предвид времето в което е разработена, е съчетание на технически норми, учебно помагало, и методически указания за маркшайдерско обслужване на рудниците и на промишлените площадки по време на строителството и експлоатацията.

От позицията на съвременните научни постижения, тези маркшайдерски нормативни документи имат обаче и своите слаби страни [3]:

- те са разработени за съвсем различна макро среда - социалистически закони, централно планиране, многостепенна управленска пирамида, ограничен достъп до техническия прогрес;

- регламентирани са подходи и технологии, съответстващи на техническото състояние към 1970 година (към този период са валидни конструкции на инструменти, разработени още до Втората световна война).

- по много причини инструкциите и другите документи наподобяват методически указания или дори учебна литература.

Всичко това изисква постепенно актуализиране и осъвременяване на основни нормативни документи, на първо място - Техническата маркшайдерска инструкция.

Развитието на средствата, технологиите, начините за получаване, обработка и представяне на маркшайдерската информация, постиганата точност и т.н. налага и смяна на парадигмата по отношение маркшайдерското осигуряване при подземния добив, особено в условията на необходимост от обслужване на минно строителство и високотехнологичен добив в съвременна минно-добивна среда като тази в р-к „Челопеч“.

В тази връзка е извършен анализ и оценка на съществуващата утвърдена нормативна база за маркшайдерско осигуряване в съвременни минно-добивни предприятия и чрез съпоставяне на постигнати резултати с предявяваните изисквания са предложени етапни промени на регламентиранияте.

Освен анализа на нормативните документи за маркшайдерско осигуряване в България е отчетено отражението на промените у нас върху минно-добивната индустрия. Наред с това е извършен обстоен преглед на нормативните документи, регламентиращи маркшайдерското осигуряване на минно-добивната дейност в страни със силно развита минна промишленост и дългогодишен опит (напр. Австралия, Великобритания, Република Южна Африка, Русия и др.). Проследено е както технологичното, така и методологичното развитие на маркшайдерството във времето, а също и редица постижения у нас, вкл. и прилагането на съвременни маркшайдерски практики при редица основни задачи и технологични процеси в р-к „Челопеч“.

След сравняване на резултатите от прилагането на съвременни маркшайдерски технически средства и технологии с изискванията на нормативните документи, са изведени предложения за етапни указания (норми) към дейностите на маркшайдерската практика в р-к „Челопеч“.

Допълнения към действащи нормативни маркшайдерски документи у нас

През 1997 г. у нас е издаден Правилник за събиране, съхраняване и представяне на маркшайдерска информация в мини „Марица Изток” АД (разработен от проф. д-н М. Маждраков и гл. ас. инж. Т. Трендафилов) [4], който се отнася само за обектите в комплекса и е утвърден от Изпълнителния директор на дружеството. Той е задължителен за всички, извършващи маркшайдерски и геодезически работи (маркшайдерските служби на АД и неговите поделения или от външни изпълнители) в обектите и за целите на мини „Марица Изток” АД.

Регламентирани са мерните единици, необходимите компетенции, за компютърната обработка на маркшайдерската информация от дипломирани маркшайдери. Отделено е внимание на метеорологичните условия при които е допустимо извършването на полеви измервания (при температура от 0° до 30°, при липса на снеговалеж и при видимост над 0.5 km).

Описани са маркшайдерската информация, основните ѝ характеристики и изискванията към нея с оглед времето на съставяне на правилника (необходимите, поставени от действащата уредба

изисквания и предопределените от навлизащите нови технически средства и методи за придобиване, възможности за съхраняване и обработване, както и структура, осигуряваща нейната еднозначност). За техническите средства са дефинирани необходими минимални параметри и период на метрологичен контрол. Посочени са норми за точност при привеждане на аналоговите графични документи в дигитален вид и обхвата на източниците на информация. Регламентирани са предписания по създаването ѝ, нейното непрекъснато или периодично актуализиране, и методите, средствата и нивата на съхраняване. Предвидени са изисквания и за осигуряване на надеждността на тези процеси, чрез защита на три нива – приложен софтуер, операционна система (достъп до компютърна система) и при използване на компютърни мрежи. За реализиране са посочени правила и процедури. Разработени са и два варианта за структура и изпълнение на маркшайдерските работи.

Създаването на посочения Правилник за събиране, съхраняване и представяне на маркшайдерска информация в мини „Марица Изток“ АД, за времето си, се явява необходимо допълнение към действащата нормативна уредба. В него са обосновани (аргументирани) използване на технически средства, различни от изискваните в инструкцията, необходими точности и условия, допускане на нови методи и средства за обработване, съхраняване и представяне на маркшайдерската информация, което основно облекчава маркшайдерския труд, осигурява по-висока детайлност и съхранена обективност, цели постигнати от маркшайдерите предимно с натрупан опит, запас от солидни знания, и аналитичен подход.

Освен спазването на националната нормативна база, регламентираща маркшайдерското осигуряване в р-к „Челопеч“, методиките, нормативите, изчислителната част и анализите са съобразени и подчинени на въведени и разписани инструктивни документи, изготвени от водещи специалисти, и утвърдени от ръководството на минната компания. В т. нар. „Процедури/работни инструкции за маркшайдерските дейности“, осемнадесет на брой, са определени отговорностите, последователността от действия, изисквания към качеството, правила за безопасност и т.н. на маркшайдерските дейности на територията на дружеството. Същите, поради прилагания в определен момент „австралийски модел“ на работа, са създадени на базата на Австралийската инструкция за маркшайдерски дейности (Code of Practice Mine Survey) [5], а впоследствие са осъвременени и съгласно правилата в минно-добивното дружество са утвърдени (акредитирани) от представител на сертифициран орган [6]. Основно, те обхващат следните области:

- 1) Маркшайдерски дейности/процеси - Surveyors Processes v-01 (DPMCH PR_06-01_01)
- 2) Ежедневни (текущи) маркшайдерски измервания и моментен ситуационен план - Daily Heading Survey and Passport Reports v-02 (DPMCH WI_06-01_06.3)
- 3) Безопасност – извършване на замери на производствени (добивни) камери (CMS) - Safety - Underground Stope Surveying (CMS Surveys) v-01 (DPMCH WI_06-01_02.6.11)
- 4) Проверка и комбинирана настройка на инструменти – тотална станция - Instrument Checks and Combined Adjustment - Total Station Instruments v-01 (DPMCH WI_06-01_03.2.1)
- 5) Маркшайдерски маркировки - Surveying Marking v-01 (DPMCH WI_06-01_04)
- 6) Задаване на контролни точки и измерване - Wall Station Establishment and Survey (Bulgarian) v-01 (DPMCH WI_06-01_03.4.5.1)
- 7) 3D снимки - 3D Survey v-01 (DPMCH WI_06-01_05)
- 8) Трасиране и заснемане на геоложки сондажи - Tracing and Pick-up of Geological Drill Holes v-01 (DPMCH WI_06-01_02)

Основната част от изискванията за маркшайдерско осигуряване добива на подземни богатства, в частност на подземния, у нас, в Русия, в Южна Африка и др. са обхванати в единен документ, а в Австралия тези процеси са регламентирани от няколко. Основната причина за това е наличието на различни изисквания и практики в отделните териториални единици на страната.

Съвременните нормативни изисквания в Австралия са описани в няколко инструкции, приложими в различните щати на страната. Двата основни документа регламентиращи правилата за безопасна работа в рудниците в страната са „Mines safety and Inspection Act 1994“ [6] с последно издание от 2018 г и „Mines Safety and Inspections Regulation 1995“ [7] с последна актуализация също

през 2018 г. По своята същност тези два документа, в голяма степен, съответстват на българския „Правилник по безопасност на труда при подземното разработване на полезни изкопаеми“. Целите на тези два документа са:

- да насърчават осигуряването на безопасност и здраве при работа на персонала ангажиран в рудниците;
- да подпомагат работодателите и служителите да идентифицират и минимизират опасностите в работната среда;
- да защитят служителите от различни рискове свързани с работния процес, като елиминират тези рискове или с налагането на ефективен контрол;
- да осигурят процедури на работодателите и служителите, които да допринасят за развитието на законодателството в сферата на безопасността;

В двата документа накратко (в рамките на 6-8 страници) са дадени основни насоки и изисквания към маркшайдерските дейности, методите, средствата и изпълнителите за тяхното осъществяване по безопасен начин.

В структурно отношение Практическата маркшайдерска инструкция за Маркшайдерска служба се състои от четири глави и две приложения, а именно:

➤ глава 1 - сфера на приложение, обработка и съхранение на маркшайдерска информация, основни положения по изготвяне плана на минните работи, общи изисквания и процедури по необходимите трансформации от местна към официално приетата координатна система, препратка към Австралийският стандарт AS 4368:1996 за изготвяне на Планове на минни работи, съдържащ общоприети правила и принципи за обозначаване

➤ глава 2 - Стандарти и процедури в маркшайдерската дейност - Обзор на определени изисквания, задължения на маркшайдера за ползване на координатните системи, изграждане и поддържане на т.нар. Надземна маркшайдерска и Подземна маркшайдерска база, предписания за развиване на Полигонови ходове, общи указания по Свързване на надземни и подземни маркшайдерски работи (съединителна снимка), Точност при измерване на превишения, условия и ред за Съхранение и предоставяне на информация за маркшайдерските работи, Изисквания при работа в недостъпни изработки, инструкции за работа в недостъпни изработки, и периодичност и начин на Поддръжка и калибриране на маркшайдерското оборудване.

➤ глава 3 - План на минните работи - общи сведения по отношение Отговорности към изготвяне на плана, изисквания към Изготвяне на плана, методи за Съставяне на плана, изисквания при Изготвяне на план чрез цифрови методи и/или чрез Ръчно съставяне и неговото съдържание, необходимост от добавяне на допълнителна информация за съществуващ риск или опасност за рудника, за рудници в непосредствена близост или близки разработвани пластове и т.н., процедурите по Утвърждаване на плана, Действия при временно преустановяване или окончателно прекратяване на дейността, при прекратяване изпълнението на задълженията на отговорния маркшайдер, Други изисквания за планове, в зависимост от специфичните условия, Изисквания за предаване на плана на минните работи на Държавния регулаторен орган в рамките, регламентиращи сроковете и периодичността.

➤ глава 4 - Формат и съдържание на плана, детайлно специфицира спазването на необходимите изисквания към информацията, която следва да съдържа и осигурява съответния план, както и съдържанието на типовете необходима и допълнителна информация, видовете планове и разрези и т.н.

➤ Приложение 1 - Законови разпоредби – основни положения и свързани текстове както със Закон за безопасни условия и инспекции в минното предприятие 1994, така и от Наредби за безопасни условия и инспекции в минното предприятие 1995.

➤ Приложение 2 - Речник – освен редица въведени абривеатури са представени и определения на използвани термини, длъжности и понятия.

Актуалните нормативи за маркшайдерско осигуряване в щата Нов Южен Уелс са определени от [8] „Маркшайдерска инструкция за измервания и изчертаване на планове“ (Survey and drafting directions

for mine surveyors, 2015). В този документ са регламентирани изискванията към маркшайдерските дейности във въглищните мини, рудните находища и кариерите за добив на полезни инертни материали. Състои се от 58 страници, от които 26 са приложения и таблици, а основната текстова част е разпределена в девет основни части (1. Общи Положения; 2. Дефиниции; 3. Маркшайдерски стандарти и процедури; 4. Дигитален Маркшайдерски План; 5. План на рудника; 6. Предаване на план на рудника; 7. План за закриване на рудника; 8. Други планове, и 9. Стандарти за създаване на дигитални руднични планове).

Направление Маркшайдерство в р-к „Челопеч“ – основни задачи, структура, постигнати резултати

На всеки маркшайдерски екип се възлагат мащабни, многостранни и важни задачи, чието решение в крайна сметка определя безопасността и ефективността на минните работи, а също така и рационалното използване на недра и опазването на околната среда.

Най-често основните задачи се свеждат до:

1. **Създаване, поддържане и представяне на актуалния модел на минните изработки** - преди време дейностите свързани с изпълнението на тази задача са заемали до 50 % от ефективното време на маркшайдерите.

2. **Отчитане на обема на подготвителните, нарезните и добивните работи** (задача, пряко свързана с първата, но притежаваща значителен социален и икономически ефект при: осигуряване връзка между производителност и справедливо заплащане на труда; контрола на оперативното отчитане на добива и на резултатите от търговската дейност, и т.н.

3. **Изучаване на природните условия на находищата** – задача, която не бива да се разбира самоцелно, защото е свързана с управлението (тя следва да съдържа: пространствено разпределение на основните показатели - дебелина, съдържание на полезни и вредни компоненти, физико-механични и инженерно-геоложки параметри; характер на разпределението им и корелационни връзки между тях.

4. **Осигуряване на основните технологични процеси в рудниците и развитието на минните работи** – задача, особено важна при съвременните високопроизводителни технологии - масово взривяване, високопроизводителни машини и т.н. (качественото и навременно маркшайдерско осигуряване има голямо значение за постигане на желаните резултати).

5. **Осигуряване на устойчиво развитие на рудника в околната среда** - с конкретни измерения в: изпреварващо определяне и придобиване (закупуване) на терени, необходими за провеждането на минните работи; осигуряване на безопасни деформации на района, над или около минните работи; изучаване на фактическите деформации на района, над или около минните работи, и в самият рудник; планиране и отчитане на загубите от полезни изкопаеми, с оглед тяхното значение за концедента и концесионните условия; решаване на задачи във връзка с техническата и биологичната рекултивация и продажбата, арендата или използването на земята.

6. **Участие в етапите от управлението на рудника** - прогнозиране, планиране, регулиране и текущ контрол, и отчитане и анализ на резултатите, на база изводи от предните задачи

Необходимите маркшайдерски компетенции за осигуряване на качествено и действено изпълнение на тези задачи изискват и водят до значителни промени и допълнения в методологията, техниката и използваните технологии на маркшайдерските дейности. В същото време, въвеждането на нови високопроизводителни инструменти в практиката на маркшайдерската служба осигурява необходимо ниво на точност и ефективност на резултатите от измерванията, което несъмнено дава своя положителен ефект и върху организацията на маркшайдерското осигуряване.

Прилаганата система на разработване в р-к „Челопеч“ – камерна система със запълнение, заменила предходната - с подетажно обрушаване, е довела до увеличаване на годишния добив, което налага и съответно ниво на маркшайдерско осигуряване. Това изисква освен кадрова осигуреност и висока оперативност на извършваните маркшайдерски работи. Увеличаването щата на маркшайдерския отдел не се оказва най-ефективното решение, затова увеличаването на

производителността и резултатността на маркшайдерския труд е постигната чрез прилагане на съвременни прибори, съвременни технологии, и подходящи методи на работа.

Маркшайдерският екип на р-к „Челопеч“, като неделима част от иновативната компания, следва, развива и оптимизира най-добрите световни практики при маркшайдерското осигуряване на подземно разработване на находища на полезни изкопаеми [9,10,11,12].

Основните, най-често изпълнявани маркшайдерски дейности в р-к „Челопеч“ могат да се обособят в следните групи:

- Създаване и поддържане на опорната маркшайдерска мрежа (основен елемент за коректно изпълнение на всички останали маркшайдерски задачи);
- Задаване направления на минните изработки (в т. ч. на проучвателни сондажи от повърхността и подземни такива, добивни сондажи, направления за осите на изработки и др.);
- Заснемане на прокараните всички видове минни изработки и създаване на модел (3D в цифров вид) на реалните подземни обекти;
- Изготвяне на количествени сметки и справки с различни адресати;
- Мониторинг на зони на движение на земната повърхност и състоянието на минните изработки.

Разгледани по групи [3], са анализирани резултатите от конкретно изпълнявани и изпълнени маркшайдерски дейности в р-к „Челопеч“ - Съединителни снимки; Опорни маркшайдерски мрежи в р-к „Челопеч“ (Опорна мрежа изградена от точки първи и втори ред, Опорна мрежа изградена от точки трети ред), Заснемане на минни изработки (капитални, подготвителни и нарезни, и на добивни изработки), и др.

Извършените анализи на резултатите от прилаганите маркшайдерски методи, техники и технологии за изграждане, поддържане и използване на опорните мрежи доказват постигане на висока производителност, ефективност и напълно достатъчна прецизност на резултатите от маркшайдерските работи, при осигуряване на максимална безопасност за операторите.

В зависимост от конкретните задачи и изискванията към тях, например за различни приоритети - точност, детайлност, или експресност на маркшайдерските снимки и измервания, следва да се избира съответен подходящ метод на заснемане на обекта, удовлетворяващ зададените критерии.

Възможността за избор на различни методи и техническо оборудване за осъществяване на конкретна цел е основния фактор, допринесъл за развитието и повишаването на ефективността на извършваните в р-к „Челопеч“ маркшайдерски дейности.

Използваните в р-к „Челопеч“ съвременни техники и технологии в маркшайдерските практики и постигнатите резултати при успешното решаване на изброените основни задачи, разгледани в светлината на действащите инструктивни материали, показват че е необходима етапна промяна на някои от тях.

Натрупаният през последните двадесет години опит при прилагането на новата уредба дава основание за маркиране и на някои несъответствия [1], като нерядко, практиката е по-различна от законовите постановки, което изисква индивидуални решения на евентуално възникващи проблеми. Възможните решения са или промени в изброените закони, или в свързаните с тях правилници и инструкции, регламентиращи маркшайдерското осигуряване.

Наличната нова законова макрорамка - закони, която би трябвало да регламентират маркшайдерското осигуряване на всички етапи от жизнения цикъл на минните обекти, пожелателният характер на редица норми и противоречивостта на други, както и липсата на единна концепция за съдържание и начин на събиране, обработване, представяне, съхраняване и поддържане на маркшайдерската информация, налага необходимост от регламентиране на маркшайдерската дейност.

Едно възможно решение е приемане на вътрешни правила (за **Етапна маркшайдерска практика**), които да уреждат техническите средства и технологии (включително ИТ) [13] обосновани от съпоставяне и анализ, на получени чрез различни методи и средства, резултати през последните години. Тези, приети и непротиворечащи на действащите нормативни документи, правила следва да обхванат основните задачи, стоящи пред маркшайдерската служба.

Предложенията в [3] са изготвени на практиката и резултатите на примера на рудник „Челопеч“, но могат да се използват или адаптират във всички подземни рудници със съвременно маркшайдерско оборудване.

Използвана литература

1. Маждраков, М. Маркшайдерство - методика на маркшайдерските работи в откритите рудници, Университетско издателство „Св. Климент Охридски“, София, 2007
2. Техническа инструкция за извършване на измервателните маркшайдерски работи при проучването, строителството и разработването на находищата на полезните изкопаеми, София, Техника, 1969
3. Михалев С.: Анализ на нормативите за маркшайдерско осигуряване в р-к „Челопеч“, Дисертация, МГУ "Св. Ив. Рилски". София, 2022 г.
4. Правилник за събиране, съхраняване и представяне на маркшайдерска информация в мини „Марица Изток“ АД, 1997. (разработен от проф. д-н М. Маждраков и гл. ас. инж. Т. Трендафилов).
5. Code of Practice Mine Survey (Second Edition), Government of Western Australia, Department of Mines and Petroleum, 2011.
6. Mines safety and Inspection Act 1994, Version 06-d0-02, 10 Nov 2020
7. Mines Safety and Inspection Regulations 1995, Version 06-g0-00, 05 Dec 2020
8. Survey and drafting directions for mine surveyors, 2015
9. Михалев С., Ст. Топалов., маркшайдерски методи и практики прилагани в рудник "Челопеч", Сборник доклади от III Национална научно-техническа конференция с международно участие "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", 08 – 11 октомври 2012, Девин, България, (с.253 – 261) (ISSN: 1314-7056).
10. Михалев С., Д. Сосеров, Ст. Топалов., Предпоставки за актуализация на нормативната уредба за маркшайдерските дейности в миннодобивните предприятия., Сборник доклади от VI Национална научно-техническа конференция с международно участие "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, (с. 209 – 213) (ISSN: 1314-7056)
11. Михалев С., Р. Димитров, Х. Добрев., Приложение на безпилотни летателни апарати при подземен добив на полезни изкопаеми., Сборник доклади от VII Национална научно-техническа конференция с международно участие "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", 05 – 08 октомври 2020, Девин, България, (с. 156 – 167) (ISSN: 1314-7056)
12. Сосеров Д., С. Михалев, Ст. Топалов., Съвременни маркшайдерски средства и технологии за събиране на геопространствена информация при подземен добив и визуализирането ѝ чрез системи за виртуална реалност., Сборник доклади от VI Национална научно-техническа конференция с международно участие "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, (с. 202 – 208) (ISSN: 1314-7056)
13. Иванова И., Преглед на техническите норми при маркшайдерското осигуряване на рудници. Сборник доклади от III национална научно-техническа конференция с международно участие "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", 08 – 11 октомври 2012, Девин, България.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА ДОПЪЛВАЩА МЕТОДИКА ЗА ИЗМЕРВАНЕ, ОПРЕДЕЛЯНЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ДАННИТЕ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННИ ИЗМЕНЕНИЯ НА ЗЕМНО-НАСИПНА СТЕНА НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ

Недко Тодоров

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, nt.todorovv@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Геодетическите наблюдения на устойчивостта на стената на хвостохранилищата са важна и неотлъчна част от експлоатацията на съоръжението. Въпреки безспорните предимства на използвания створен метод за определяне на хоризонталните премествания на характерни точки от стената, интерпретацията им не дава достатъчна обективност на преместванията. Избрана е линейно-ъгловата мрежа, като допълващ метод на измерване, тъй като за конкретния обект дава най-добри резултати. Анализът и онагледяването на резултатите преминава през определяне на успоредните и перпендикулярните движения на наблюдаваните точки спрямо стената, определяне на скоростта и посоката на вектора на преместването им. Направени са съответните изводи и препоръки.

PROPOSAL FOR AN ADDITIONAL METHODOLOGY FOR THE MEASUREMENT, DETERMINATION AND INTERPRETATION OF THE DATA FROM STUDIES OF DEFORMATION CHANGES OF AN EARTH-FILL WALL OF A TAIL IMPORT

Nedko Todorov

University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, nt.todorovv@gmail.com

ABSTRACT

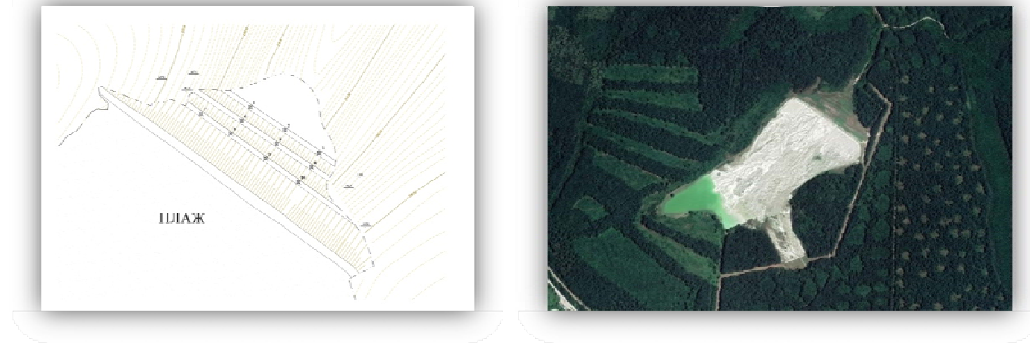
Geodetic observations of the wall stability of tailings ponds are an important and integral part of facility operation. Despite the indisputable advantages of the used created method for determining the horizontal displacements of characteristic points of the wall, their interpretation does not provide sufficient objectivity of the displacements. The linear-angular grid was chosen as a complementary measurement method, as it gives the best results for the specific object. The analysis and visualization of the results goes through determining the parallel and perpendicular movements of the observed points relative to the wall, determining the speed and direction of the vector of their displacement. Relevant conclusions and recommendations have been made.

Обект на изследванията в представената разработка е методиката за измерване и интерпретацията на данните при осигуряване на устойчивостта на земно-насипна стена на хвостохранилище, обслужващо обогатителна фабрика за преработка на кварц-каолинова суровина.

Хвостохранилището се намира в североизточната част на страната и е основен технологичен участък на обогатителната фабрика намираща се в близост до него, която преработва кварц-каолинова суровина (фиг. 1). Съоръжението е от наливен тип, видът на минните отпадъци не е разнороден, а е ограничен от отпадъчни пясъци и глини. Категоризирано е като съоръжение за минни отпадъци тип „Б“ съгласно Директива 2006/21/ЕС. Настоящата му височина е между кота 203, на която е изградена каменна призма, кота 213 и кота 236, до която чрез земно-насипен материал са проведени мероприятия по надграждането му. Доставка на отработения материал от обогатителната фабрика до съоръжението за минни отпадъци е реализирано чрез хвостопровод от метални тръби с фланцови съединения с променлив габарит от $\varnothing$ 300-315 mm.

Съществен елемент при експлоатацията и поддържането на което и да е хвостохранилище, е изследването на хоризонталните и вертикални деформации на стената [2]. От нейната устойчивост

зависи правилната и надеждна експлоатация на съоръжението и запазването на безопасни условия за персонала, околните населени места и природата.



Фиг. 1

Целта на настоящата разработка е анализ на метода за изследване на хоризонталните и вертикални деформации и последващата им интерпретация. Предлага се допълваща към прилаганата в момента методика на измерване и интерпретация на данните, даваща обективна оценка за пространствените премествания на наблюдаваните точки за хвостохранилището.

Теоретични основи на прилагания створен метод

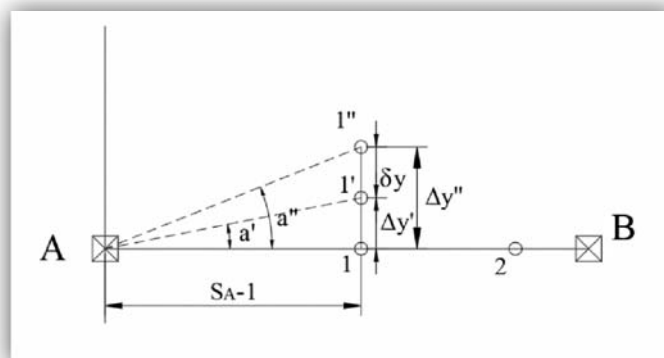
Створният метод (струнен, оптичен или лазерен) за определяне на хоризонтални премествания, се използва предимно за праволинейни обекти, какъвто е и изследваният обект. Въвежда се локална правоъгълна координатна система, абсцисата на която съвпада с визирната линия на створа, а ординатата (по която ще се определят преместванията) сочи перпендикулярно на створната линия, която е и посоката на опасните деформации за съоръжението. В зависимост от избрания створен метод се използват подвижни или неподвижни сигнали (фиг. 2). Измерват се малки (паралактични) ъгли с ъгломерни инструменти с точност на измерена посока $2''$. Хоризонталните посоки се измерват в 3 гируса, като преди всеки гирус инструментът се хоризонтира наново. Надеждността на визирната линия на створа е в пряка зависимост от местоположението на изходните наблюдателни стълбове, които трябва да са стабилизирани извън зоната на деформации. Избягват се визури, близки до масивни обекти и такива, предизвикващи голям топлинен градиент [3]. При изследвания обект определянето на изместванията от створа става чрез измерване на малките ъгли, заключени между посоката на створа и посоката към съответната наблюдавана точка (ф-ла 1). Разстоянията от наблюдателните стълбове до наблюдаваните точки се измерват само при първото наблюдение с висока точност (ф-ла 2).

$$Q_i = \frac{\beta_i^{cc}}{\rho^{cc}} D_i, \quad (1)$$

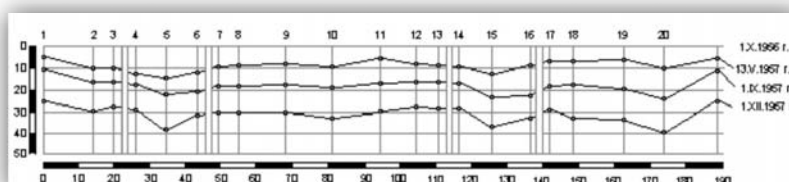
$$\frac{m_{Di}}{D_i} \leq \frac{\Delta Q_{min}}{10Q_{max}} \quad (2)$$

където Q_{max} е максималното очаквано отместване от створа, ΔQ_{min} е минималната стойност на преместването, а $\rho = 636620''$

Интерпретацията на данните от хоризонталните измервания се онагледява чрез графики (профили) на движението на наблюдаваните точки, перпендикулярно на створа (фиг. 3).

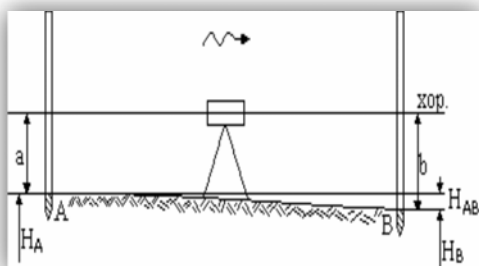


Фиг.2. Схема на измерването на малки (паралактични) ъгли



Фиг.3. Профил на преместванията, перпендикулярни на створа

Надеждността и високото ниво на точност правят геометричната нивелация най-подходящият метод за определяне на височинното положение на наблюдаваните точки. Разбира се, точността е функция на използваната апаратура, която според [3] трябва да включва нивелир с точност от порядъка на 0.7 mm/km. Зависи също и от правилния ред на работа (фиг. 4). При провеждането на геометричната нивелация трябва да се спазват изискванията за дължина на визуите под 25 m, свеждане до минимум отчети под 0.30 m над 3.00 m, спазване на реда на работи при използването на двускални лати и др.



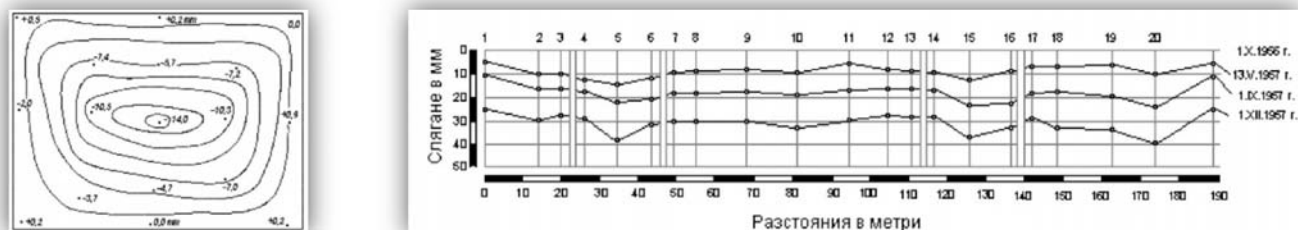
Фиг. 4. Постановка на геометрична нивелация

$$\Delta H_{AB} = a - b \quad (3)$$

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad (4)$$

Където a и b са отчети по латите, а ΔH_{AB} е превишението между точките.

Графичното представяне на данните от вертикалните измервания включва профили и графики с изолинии на вертикалните премествания на наблюдаваните точки.



Фиг.5. Графична интерпретация на вертикалните движения

Анализ на метода на изследване и интерпретацията на данните от хоризонталните и вертикалните измервания за хвостохранилище към ОФ „Сеново“

За хвостохранилището към е изготвен проект за контролно измервателна система (КИС), разработен от НИПРОРУДА през 1967г.. Стената на съоръжението разполага с 3 берми (фиг.1), върху които са разположени 10 броя контролни точки [4]. За изследване на хоризонталните деформации е избран метода на оптичния створ, реализиран с по два наблюдателни стълба в двете страни на стената и по 1 контролен стълб за контролиране на наблюдателните точки на всяка берма. От своя страна наблюдателните стълбове се контролират чрез линейно-ъглова мрежа, включваща 4 триангулационни точки, разположени в близост до обекта. Определянето на изместванията от створа става чрез измерване на малки (паралактични) ъгли (фиг.2).

Анализирайки наличната аналогова документална информация се установи, че до края на 20-ти век хоризонталните посоки са измервани с Theo 010A, в 3 гируса, а геометричната нивелация е изпълнявана с Ni 007 и инварни лати, в прав и обратен ход. Функция на хоризонталните и вертикалните измервания са аналогичните им деформации, които в пълната си част са таблично представени, а в ограничен порядък и графично. В хоризонтално отношение табличното онагледяване представлява сравнение между стойностите на нулево, предходно и настоящо измерване, дефиниращи премествания единствено перпендикулярни на створната линия (фиг.6), докато резултатите от прецизната нивелация се показват чрез сравнителни таблици и графики за сляганията и издиганията.

НС №	Хоризонтални, mm	Хоризонтални, mm	Разлика, mm	Вертикални, mm	Вертикални, mm	Разлика, mm
Дата	13.04.2021	22.11.2021		13.04.2021	22.11.2021	
1	46	47	1	-26	-7	19
2	60	72	12	-33	-28	5
3	50	53	3	-15	-6	9
4	462	457	-5	-73	-60	13
5	187	184	-3	-118	-104	14
6	132	134	2	-50	-38	12
7	-1206	-1225	-19	-82	-66	16
8	60	41	-19	-104	-85	19
9	170	153	-17	-153	-138	15
10	67	58	-9	-104	-89	15

Фиг.6. Таблица съдържаща данни за преместванията на наблюдаваните точки

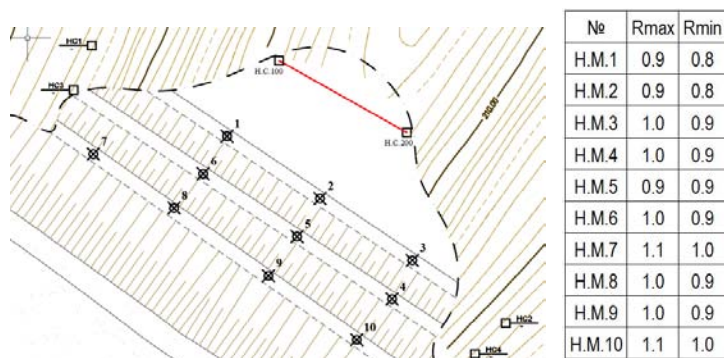
В началото на новия век, с навлизането на съвременните компютърни технологии и развитието на геодезическите инструменти, комбинирани с иновативната мисъл на маркшайдерите, се създават предпоставки за прилагане на други методи на измерване, обработка, представяне и последваща интерпретация на получените резултати за реализирани хоризонтални и вертикални премествания на наблюдаваните точки и обекти.

Предложение за допълваща методика за измерване, определяне и интерпретация на данните от деформационния процес

Въпреки неоспоримо работещият створен метод, щадящ време и средства, той притежава няколко недостатъка, които ограничават обективността на получените резултати. Директното определяне на линейното отклонение от створа свежда до минимум разнообразната интерпретация на данните, тъй като се регистрират премествания само в една посока (перпендикулярна на створа). Следствие на този недостиг на информация за скоростта, посоката и големината на вектора на преместване на всяка наблюдавана точка, може да доведе до неблагоприятни последствия. Примери за такива последствия са скъсаната дига на шламохранилище в гр.Перник, собственост на ТЕЦ "Република", през пролетта на 2020 година, както и една от най-големите трагедии на миналия век, причинена от скъсването на предпазна дига на хвостохранилище "Мир", причинила огромно природно бедствие, загуба на човешки животи и големи материални щети.

Възможностите на съвременните геодезически инструменти осигуряват определяне на пространственото положение на наблюдавани точки чрез едновременно измерване на ъгли и дължини. При подходящо взаимно разположение на изходни и наблюдавани точки е удачно приложението на метода на ъглово-линейната мрежа. За конкретния случай се предлага неговото използване, тъй като дава най-добри резултати при оценка на точността на определените координати на контролираните точки, в сравнение с други геодезически методи [1].

За наблюдавания обект са стабилизирани два нови наблюдателни стълба (Н.С.100 и Н.С.200), които са координирани от съществуващата в района триангулационна мрежа чрез ъглово-линейни измервания. Използваният инструмент е „Leica TS09+“. Местоположението им е определено чрез предварителен анализ на точността така, че да осигурява минимални радиуси на елипсата на грешките (фиг.7)



фиг.7. Местоположение на новите наблюдателни стълбове

Основното предимство на ъглово-линейната мрежа пред створа (в случая) е възможността за определянето на координатите на наблюдаваните точки и последващата им статистическа обработка, целяща анализ на точността на получените резултати. За текущата разработка са проведени 5 измервания, в рамките на 4 месеца. Всяка една наблюдавана марка е измервана двустранно (от Н.С.100 и Н.С.200) в 3 гируса. Височинните измервания са направени спрямо зададения проект за КИС.

КООРДИНАТЕН РЕГИСТЪР ЗА Н.М.1						
Дата:	Y [m]	X [m]	H [m]	mx [mm]	my [mm]	mH [mm]
01.1.2022 г.	9515485.803	4735800.887	100.0150	1.0	0.8	0.2
03.3.2022 г.	9515485.805	4735800.888	100.0152	1.0	0.8	0.5
20.3.2022 г.	9515485.804	4735800.885	100.0172	0.9	1.1	0.4
03.4.2022 г.	9515485.802	4735800.886	100.0142	1.1	1.0	0.3
25.4.2022 г.	9515485.812	4735800.881	100.0118	0.8	0.9	0.3

Фиг. 8- част от получените резултати при измерванията на наблюдателна марка 1

Анализът на резултатите преминава през няколко етапа. Първият е определянето на вектора на преместване на всяка изследвана точка. Преминава се през изчисляването на успоредните и перпендикулярните на стената движения на наблюдаваната точка (фиг.9). От съществено значение за правилната интерпретация на данните от измерванията е определянето на скоростите на вектора на преместване в успоредно и перпендикулярно направление (фиг.10) за всеки от наблюдаваните интервали.

Дата:	$\Delta Y_i - \Delta Y_0$	$\Delta X_i - \Delta X_0$	Вектор δ	α [g]	α_{II} [g]	α_L [g]	S_{II} [mm]	S_L [mm]
	[mm]	[mm]						
01.1.2022 г.	0	0	0	0.0000	137.6059	37.6059	0	0
03.3.2022 г.	2	1	2	70.4833	137.6059	37.6059	1	2
20.3.2022 г.	1	-2	2	170.4833	137.6059	37.6059	2	-1
03.4.2022 г.	-1	-1	1	250.0000	137.6059	37.6059	0	-1
25.4.2022 г.	9	-6	11	137.4334	137.6059	37.6059	11	0

Фиг. 9- табличен анализ на преместванията за наблюдавана марка 1

ДВИЖЕНИЕ НА δ УСПОРЕДНО НА СТЕНАТА				ДВИЖЕНИЕ НА δ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО НА СТЕНАТА		
Дата:	Сум.прем.	Преместване	Скорост	Сум.прем.	Преместване	Скорост
	$i - 0, [mm]$	$i, i-1, [mm]$	$[mm/ден]$	$i - 0, [mm]$	$i, i-1, [mm]$	$[mm/ден]$
01.1.2022 г.	0	0	0.00	0	0	0.00
03.3.2022 г.	1	1	0.02	2	2	0.03
20.3.2022 г.	2	1	0.05	-1	-3	0.18
03.4.2022 г.	0	-2	0.16	-1	0	0.02
25.4.2022 г.	11	11	0.50	0	1	0.06

Фиг. 10- таблично представяне на скоростта на преместване наблюдавана марка 1

Изхождайки от получените координати на наблюдаваните точки са изчислени хоризонталните разстояния между тях, групирани по берми (фиг.11). Графично са представени данните за движението по координатните оси в избрана координатна система по стойностите, показани във фиг.9 - ($\Delta Y_i - \Delta Y_0$ $\Delta X_i - \Delta X_0$). Изготвена е схема на преместванията на наблюдаваните точки в избраната координатна система (фиг.13).

Дата:	S [m]	S [m]
	H.M.1-H.M.2	H.M.2-H.M.3
01.1.2022 г.	40.200	39.961
03.3.2022 г.	40.198	39.964
20.3.2022 г.	40.201	39.959
03.4.2022 г.	40.196	39.965
25.4.2022 г.	40.174	39.966



Фиг. 11- хоризонтални разстояния между наблюдаваните точки на берма №1



Фиг. 12. Движение по координатните оси на наблюдавана марка 1



Фиг. 13. Схема на движението на наблюдавана марка 1

Вертикалната постановка на проблема изглежда по идентичен начин. На база получените надморски височини по методиката зададена в КИС на ХТС, таблично са оформени сляганията спрямо първоначалното и предходното измерване, изчислени са скоростите на слягане и са графично показани (фиг.14).

Дата:	Сум.прем. $i - 0, [mm]$	Преместване $i - i - 1, [mm]$	Скорост [mm/ден]
01.1.2022 г.	0	0	0.00
03.3.2022 г.	0	0	0.00
20.3.2022 г.	2	2	0.12
03.4.2022 г.	-1	-3	0.21
25.4.2022 г.	-3	-2	0.11



Фиг.14

Методът на измерване чрез линейно-ъглова мрежа позволява надежден и издържан начин за хоризонтално определяне на изследваните точки по бермите на съоръжението [2]. Изчисляването на координатите им и последващото изчислително и графично представяне дават солидна информация за състоянието и скоростта на движение на векторите на премествания. В комбинация с графики от вида показан на фиг.13 и фиг.14 нагледно може да се проследи пространственото движение на която и да е точка. Заложеният в КИС на хвостохранилището метод за определяне на хоризонталните премествания няма да бъде нарушаван, а допълнен и развит. На база определените хоризонтални разстояния между реперите (в успоредна, и в перпендикулярна на стената посока) в отделните измервания, анализът може да се допълни и с повърхнинен модел на линейните деформации на площта на цялата стена за всеки интервал. По тези графики за всеки интервал може да се анализира изменението на линейните деформации във времето върху цялата изследвана площ.

Използвана литература

1. Цонков, Ал., М. Бегновска, Ст. Пайталов. Резултати и анализ на експериментални изследвания чрез маркшайдерски измервания за следене устойчивостта на стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“ към „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД. IX Международна конференция по геомеханика, 07 – 11 септември 2020, Варна, България, с. 225-233. ISSN 1314-6467.
2. Цонков, Ал., М. Бегновска, Ст. Пайталов. Оценка на възможността за приложение на някои геодезични задачи при наблюдения за устойчивостта на стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“ към „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД. Седма национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 05 – 08 октомври 2020, Девин, България, с. 91-99. ISSN 1314-7056.
3. Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи, София, 1980.
4. Инструкция за наблюдения, измервания и опробване на хвостохранилища, София, 1971.

МОНИТОРИНГ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ ПРИ КАРИЕРИ В БЛИЗОСТ ДО ИНФРАСТРУКТУРА

проф.д-р инж. Николай Жечев - МГУ "Св.Иван Рилски", катедра „Подземно строителство“

E-mail: n_rafailov@abv.bg

инж. Хрисимир Христов – управител „Суперстат 2000“ ЕООД

E-mail: superstat2000@gmail.com

проф. д-р инж. Стоян Джамбазов - ХТМУ, катедра „Технология на силикатите“

E-mail: djam@uctm.edu

инж. Рафаил Рафаилов –асистент МГУ "Св.Иван Рилски", катедра „Подземно строителство“

E-mail: r_rafailov@mgu.bg

ABSTRACT

Monitoring of quarries near structures and populated areas is considered safe in many cases. This approach is due to the visual judgment of more blasting participants and the wider range of surface safety indicators.

During monitoring, it turns out that the task does not have an unambiguous solution. It turns out that when blasting works, effects occur that are not inherent in underground construction.

The first effect is that when measuring near the source of the explosion, there are no pronounced longitudinal and transverse waves. These waves occur at greater distances, and in this zone the waves are radial and tangential.

The second effect is the ability to measure the reference velocity of the medium.

In third place is the effect of vertical impact. The case is analogous to the surface pressure in liquids. Due to the lack of a weighting mass, facilities near the blast experience increased vertical momentum.

In the development, the impacts on nearby facilities were investigated and the zone of influence of the blasting works and the safety of the nearby settlement was located.

The research has an innovative nature and, together with the developed software, gives a clear picture of the impacts and consequences on the environment. Based on the analysis of the results, recommendations are made for optimization and safety of the blasting works.

1. Въведение

Добивът на различни типове скални материали чрез взривни работи е доказал себе си метод, с който се постига икономически ефект и времева ефективност.

Логичен критерий в минната практика е търсенето на допустим баланс между по-високи обеми отбити маси за един етап на взривяване и взривосеизмичното въздействие върху близко стоящи сгради и съоръжения. Измерването на породените вибрации при взривни работи се извършва с прецизни велосиметри на различни фирми ("Summit Vipa" - DMT, Германия, "Minimate Blaster"- Instanel, Канада, "Mini Supergraph" - Nomis, САЩ и др.), които регистрират сеизмични въздействия със скорости над 0,5mm/s.

За оценка и анализ на породените от взривните въздействия вибрации на средата се използват различни практически критерии (подредени по тяхната сложност):

- Таблично задаване на допустимите числови стойности на скоростите на вибрация на средата (particular velocity), в зависимост от типа на съоръжението, без значение на честота на вибрациите (бърз, но приблизителен метод);
- Привеждане на измерените 3D скорости на средата в съответната степен на земетръсно въздействие съгласно със скалата МШК. В зависимост от чувствителността на сградата на сеизмични въздействия се определя допустимата степен по МШК на принудените вибрации, без значение на честота на вибрациите (прилага се у нас);
- Нормиране на допустимите скорости на вибрации на ниво терен на сградата или съоръжението, в зависимост от честотата на вибрациите – графична функция „допустима скорост-честота“, (DIN4150-3, ONORM, SN640 312 или др.);
- Математическа обработка (диференциране относно t) на записаните 3D скорости и получаване на 3D акселерограми. Решаване на диференциалното уравнение на движението за единични осцилатори с различни собствени честоти и съставяне на съответните 3D спектри на реагиране (Shock Response Spectrum) за определен % на затихване (напр. 5%). Получените спектри на

реагиране се използват като входно въздействие за софтуер за изчисляване на реакцията на конструкцията на охраняваното съоръжение по Метод на крайните елементи (FEM).

В настоящата статия се описва начина на измерване на вибрациите и анализа за тяхната допустимост за околните съоръжения при изпълнение на индустриални взривни работи в открита мина в с. Пчелари.

ИЗМЕРВАНЕ И ЗАПИСВАНЕ НА СКОРОСТИТЕ НА ТРЕПТЕНЕ НА ПОЧВЕНИЯ МАСИВ

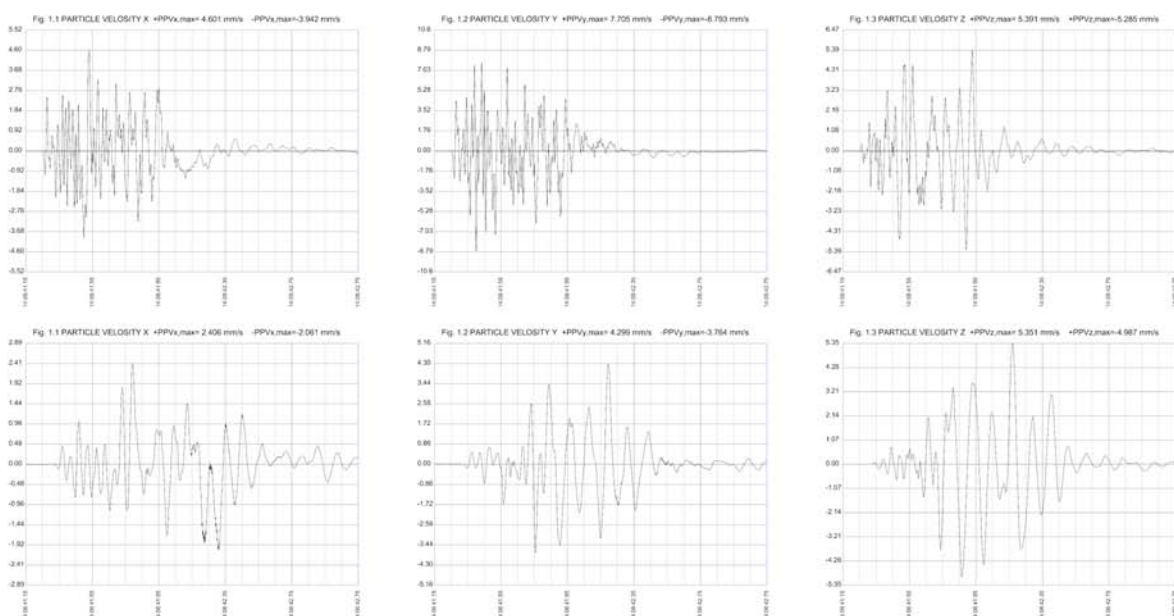
За измерване на скоростите на вибрациите бяха използвани два високоточни велосиметъра “Vira-Summit” на немската фирма DTM. За получаването на прецизни резултати, измервателните сензори са твърдо фиксирани със сегментни анкери M10 към съществуващи бетонни конструкции на водосток и фундамент за кула по следният начин:

„Sensor 1841ebab“ е разположен на 150m от взривният фронт, а „Sensor 1d113bcc“ на 300m, съгласно схемата (в дясно се вижда част от с.Пчелари – 1200m) – фиг. 1:



Фигура 1. Разположение на сензорите в зоната на мина Пчелари

Записаните по време на взривното въздействие скорости на трептене на средата са дадени на фиг.2



Фигура 2. Записани скорости по X,Y,Z от двата сензора

2. Опитно определяне на скоростта на надлъжните вълни C_p

При монтиране на два велосиметъра на разстояние L е възможно да се определи скоростта на надлъжните вълни C_p по времето Δt на закъснението на един и същи динамичен пик

$$C_p = L / \Delta t$$

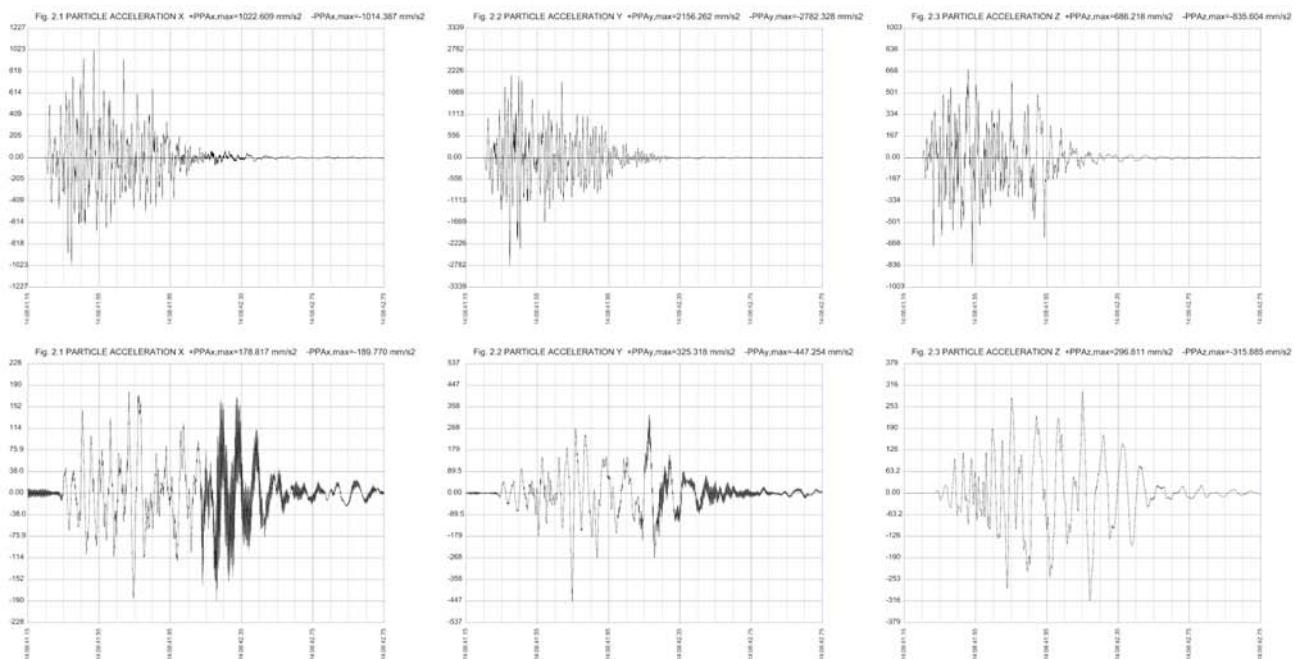
От фиг.2 се вижда, че времето на забавянето на фронта на вибрациите между „Sensor 1841ebab“ и „Sensor 1d113bcc“ е равно на 0,1s. Оттук определяме скоростта на фронтовата вълна:

$$C_p = 150,0 / 0,1 = 1500 \text{ m/s.}$$

Чрез диференциране на скоростите по времето са получени акселерограмите по X,Y,Z от двата сензора:

$$a_{i+1} = V_{i+1} - V_i / (t_{i+1} - t_i); \quad [\text{m/s}^2]$$

3. Анализ на честотите

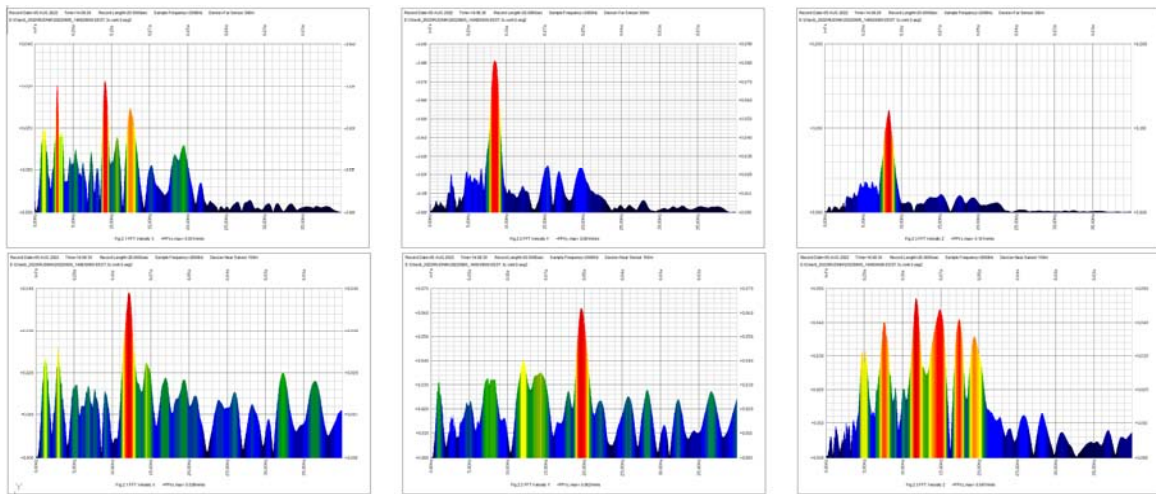


Фигура 3. Изчислени акселерограми по X,Y,Z от двата сензора

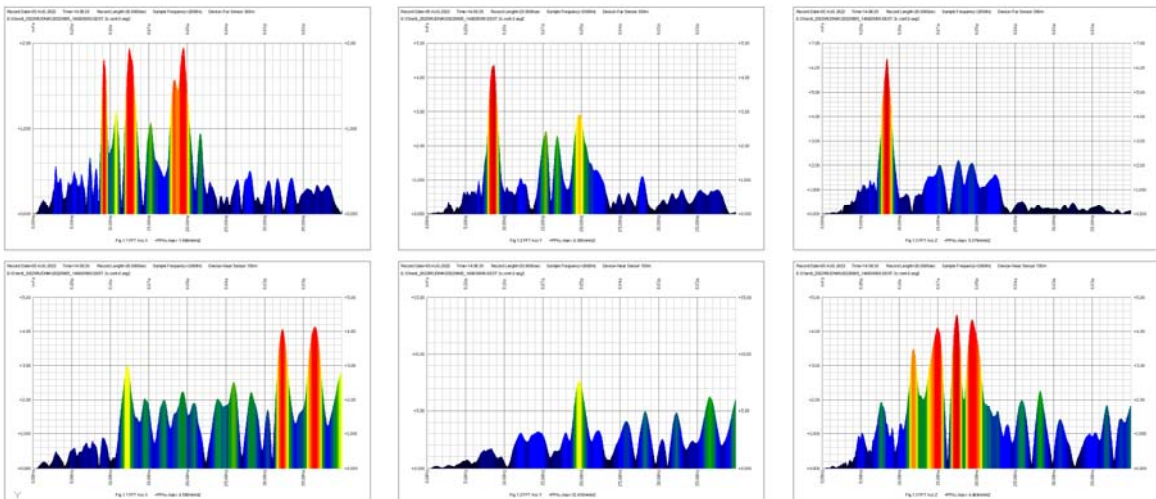
Анализът на честотите на вибрациите (съставяне на зависимост Амплитуда-Честота) е извършено по два принципно различни начина:

1. Разлагане на получените акселерограми в ред на Фурие чрез метода FFT (бърза трансформация на Фурие) – опция разпространена в използваните в практиката софтуери за анализ на вибрации. Този метод не е подходящ за анализ на строителни конструкции, тъй като не може директно да бъде отчетено затихването на средата върху амплитудите.

Характерно за случая е, че се наблюдава промяна на честотният спектър на скоростите на вибрациите на средата при „Sensor 1841ebab“ (първи ред) и „Sensor 1d113bcc“ (втори ред).

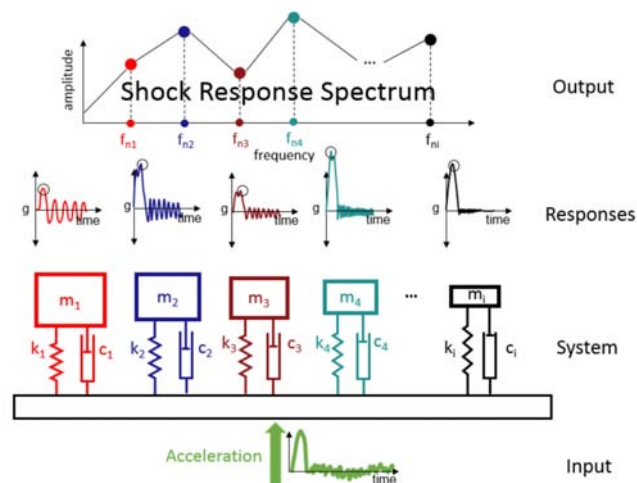


Фигура 4. Изчислени честотни FFT спектри за скорости за двата сензора по оси X, Y, Z (по близкия сензор до взрива първи ред)



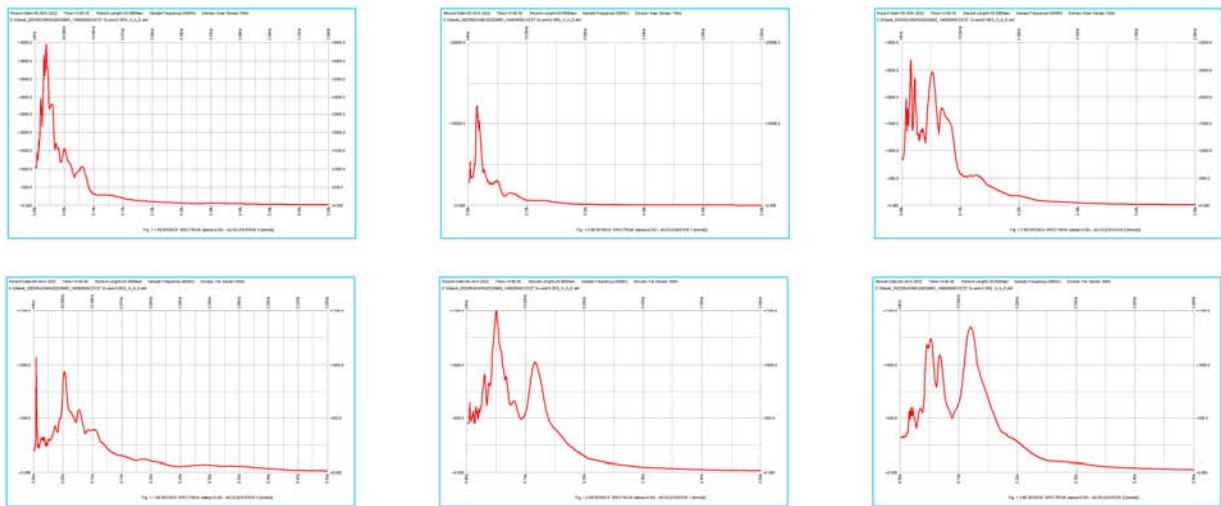
Фигура 5. Изчислени честотни FFT спектри за ускорения при двата сензора по оси X, Y, Z

2. Съставяне на 3D Shock Response Spectrum – за получаването на SRS е създаден софтуер по долната принципна схема:

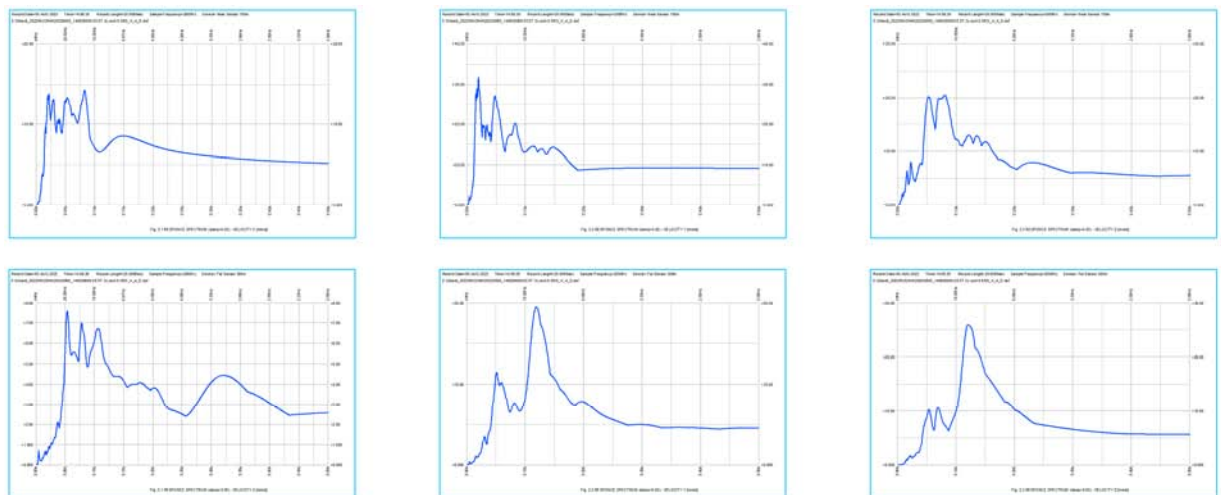


Получените при SRS (затихване на конструкция = 5% от критичното) за скоростите и ускоренията на вибрациите на средата са показани на фиг.6 и фиг.7.

От графиките се вижда, че усилването на измерените ускорения за конструкции с периоди на собствени трептения близки до дадените, варира между 2 и 3 пъти. Необходимо е да се отбележи, че ускоренията на вибрациите от близкият сензор до взрива сензор 1 към сензор 2 намалява за 150м от 2 до 6 пъти. Този факт показва бързо затихване на влиянието на взривните работи и гарантира безопасността на селищните постройки, които са над километър от взрива. Относително високата стойност на ускорението по "z" в близост до взривните работи предизвиква увеличен импулс върху леки постройки и хора поради липса на затежаваща маса, но не поражда опасни последствия.



Фигура 6а. Изчислени честотни SRS спектри за ускорения при двата сензора по оси X, Y, Z - „Sensor 1841ebab“ (първи ред) и „Sensor 1d113bcc“ (втори ред).



Фигура 6б. Изчислени честотни SRS спектри за скорости при двата сензора по оси X, Y, Z- „Sensor 1841ebab“ (първи ред) и „Sensor 1d113bcc“ (втори ред)

4. Анализ на резултатите

Цифрова рекапитулация на данните записани от двата сензора са дадени в долните репорти:

	K1(X)	K2(Y)	K3(Z)
Channel name	Vipa-408 : X	Vipa-408 : Y	Vipa-408 : Z
[Maxima]	4.60 mm/s	8.79 mm/s	5.39 mm/s
Time of maxima	11.53 s	11.40 s	11.93 s
KBFmax	1.962	3.265	2.429
ZC frequency	22.2 Hz	43.5 Hz	13.2 Hz
FFT frequency	12.2 Hz	19.7 Hz	11.8 Hz
Peak displacement	79.5 μ m	86.2 μ m	97.2 μ m
Peak acceleration	1022 mm/s ²	2156 mm/s ²	686.2 mm/s ²
Vector resultant (Vr)	9.101 mm/s		

	K1(X)	K2(Y)	K3(Z)
Channel name	Vipa-442 : X	Vipa-442 : Y	Vipa-442 : Z
[Maxima]	2.41 mm/s	4.30 mm/s	5.35 mm/s
Time of maxima	15.79 s	16.20 s	16.17 s
KBFmax	0.887	1.829	2.383
ZC frequency	8.1 Hz	9.7 Hz	9.2 Hz
FFT frequency	9.2 Hz	8.5 Hz	8.4 Hz
Peak displacement	42.2 μ m	135.3 μ m	96.2 μ m
Peak acceleration	178.8 mm/s ²	325.3 mm/s ²	296.8 mm/s ²
Vector resultant (Vr)	5.376 mm/s		

След получаване на гореуказаните параметри следва стойностите им следва да се сравнят с нормативно допустимите, съгласно с действащите норми в дадената страна. За анализ разглеждаме най-високата скорост на вибрация, която като вектор е $V=9,101\text{mm/s}$ за зона 150m и $V=5.376\text{mm/s}$ за зона 300m.

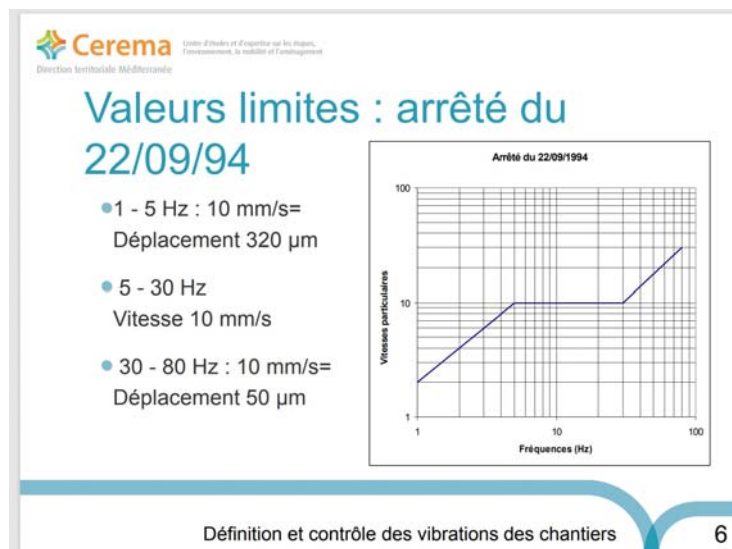
- В българските норми [2] от коефициента на Протодяконов се задава безопасна скорост и на тази база се изчислява количеството ВВ. От измерената пикова скорост и C_p се определя относителната деформация при динамичното въздействие. От получената относителна деформация се определя приведената степен на сеизмичност по МШК

За скорост на вибрация $V=9,101\text{mm/s}$ отчитаме въздействие, еквивалентно на II до III степен за зона R=150m. За скорост на вибрация $V=5,371\text{mm/s}$ отчитаме въздействие, еквивалентно на I за зона R=300m

За допустимост на максималната скорост на вибрация $V=9,101\text{mm/s}$ премествания може да бъде доказано и по следните два критерия:

Table 3.6.1 Range of Common Residential Criteria and Effects

12.7 mm/s (0.5in/s)	Bureau of Mines recommended guideline for plaster-on-lath construction near surface mines (long term, large scale, low frequency vibrations) (RI 8507)
19.1mm/s (0.75in/s)	Bureau of Mines recommended guideline for sheetrock construction near surface mines (RI 8507)
25.4 mm/s (1.0in/s)	OSM regulatory limits for residences near surface mine operations at distances 92-1524 meters (301-5000 feet)
50.8 mm/s (2.0 in/s)	Widely accepted limit for residences near construction and quarry blasting (BuMin 656, RI 8507)
137mm/s (5.4 in/s)	Minor damage to the average house subjected to quarry blasting vibrations (BuMin 656)
229 mm/s (9 in/s)	About 90% probability of minor damage from construction or quarry blasting. Structural damage to some houses depending on vibration source and character of the vibrations.
501 mm/s (20 in/s)	For close-in construction blasting, minor damage to nearly all houses and structural damages to some. For low-frequencies, major damage to most houses.



Допълнителни доказателства за безопасността на взривните работи може да бъде получена и по косвен път. Спектърът при взривните работи няма аналогична структура като земетръсния спектър(Фиг.6а,б). Първо стойностите на получените в точките на измерване на разстояние по-голямо от зоната на възможни нарушения, при взривяване ускоренията като част от земното ускорение са значително по-ниски, т.е. породените сеизмични сили са относително малки. Второ – при взривните работи липсва хоризонтален участък с високи стойности на ускоренията.

От получените акселерограми и спектри на реагиране, по методиката на сеизмично изследване по МКЕ чрез спектър на реагиране може да бъде определена стойността на коефициента на ускоренията и при необходимост да бъде проверена сигурността на съществуващите съоръжения в близост до динамичното въздействие. За да бъдат избегнати честотните вариации при ползване на конкретни акселерограми е препоръчително да се използва и обвивен SRS спектър на реагиране, получен от няколко акселерограми.

От направените изследвания за горна граница на опасната честота при съоръжения в близост до взрива може да се приеме 10 Hz. Тогава от спектъра на реагиране се определя отношението между индуцираните ускорения и земното ускорение стойност 0,05, което поражда над 5 пъти по-малко сеизмично въздействие в сравнение с проектната стойност 0,27 за района и не да предизвика по-голяма от безопасната четвърта степен на земетръс.

Индуцираната относителна деформация, предизвикана от скоростта на скалните частици при измерена максимална стойност 9,101 mm/s в зоната на прилежащия път при коефициент на сигурност 2 може да се изчисли чрез уравнение (1):

$$\varepsilon = 0,5 \cdot V_{\text{изм}} / 2C_p \quad (1)$$

$$\varepsilon = 0,5 \times 9,101 / (1500 \cdot 100) = 0.0000303$$

където:

ε = индуцирана относителна деформация;
 $V_{\text{изм}}$ = измерената скорост на скалните частици [m/s];
 C_p = измерената скорост на вълните в скалната среда, (m/s).

Деформацията на разрушаване на опън може по литературни данни за скалите да бъде изчислена чрез Уравнение(2):

$$\varepsilon_t = \sigma_t / E \quad (2)$$

$$10 \text{ MPa} / 10 \text{ GPa} = 0.001$$

където:

ε_t = деформация при разрушаване на опън;

σ_t = якост на опън на скалата (МПа) и E = модул на еластичност (МПа).

Индукцираната относителна деформация при измереното максимално ниво на скоростите в зоната на прилежащия път е под 1% процент от разрушаването на опън на основната скала. По данни на голям брой изследователи, когато в дадена скала динамичното опънно напрежение σ е 14% от граничното, то се счита, че пукнатини вследствие на взривните работи не се получават. Фактът се потвърждава от липсата на констатации за пукнатини.

5. Заключение

След обработка и анализ на записаните параметри на взривните работи, за мониторинга на взривните работи следва да бъдат направени следните принципни изводи и допълнителни предложения които трябва да залегнат в бъдещите работни проекти за взривни работи и с цел да намалят динамичните вибрации в прилежащите съоръжения:

1. Достигнатите при взривяването най-високи стойности на скоростите, ускоренията и преместванията са безопасни за скалния масив и прилежащите съоръжения и сгради на селото;
2. След всеки етап на взривяване трябва да се анализира причините за получаване на различни пикови скорости в някои серии взривове и са давани препоръки как при следващи дейности пиковите в тези серии да бъдат минимизирани и изравнени. От акселерограмите се уточняват сериите на взривяване, закъснението, количеството ВВ, последователността и разположението на зарядите;
3. След всеки взрив е трябва да се прави анализ на зърнометричния състав на отбития скален материал и да се препоръча прецизиране на количеството взривно вещество;
4. За близките съоръжения трябва да се предприемат превантивни мерки за овладяване на вертикалното въздействие на взрива;
5. При близки разстояния до взривните работи би следвало да се разглеждат радиални и тангенциални вълни, а не надлъжни и напречни;
6. Направеното по настоящата методика измерване на скоростта на средата е възможно най-точното до момента;
7. Направените изследвания следва да бъдат разширени за нарастване на достоверността на получените резултати.

Като общо заключение, освен казаното по-горе, трябва в бъдеще при взривяване в т.нар. безопасни кариери да бъдат използвани два основни подхода:

- Уточняването на количеството ВВ не трябва да бъде както обикновено „отгоре-надолу“, а да се започва с минимални количества ВВ и при необходимост количествата да се увеличават, т.е. подходът да бъде „отдолу-нагоре“;
- Да бъде увеличен интервала на милисекундните закъснения на взривателите, т.е. да се спазват практическите изисквания за подземно строителство заради сигурността на близки съоръжения.

Литература:

1. Shock Response Spectrum (SRS) - Aug 29, 2019 • Community Article;
2. Стефанов, Д., Избрани глави от подземния рудодобив, Техника, 1986;



МИНСТРОЙ ХОЛДИНГ АД

Водеща компания в добива на оловно-цинкови руди



Минстрой Холдинг АД
бул. „Д-р Г. М. Димитров“ №57
1700 София
tel.: +359 2 963 55 55
fax: +359 2 962 50 85
www.minstroy.com