

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ

„СВ. ИВАН РИЛСКИ“

маг. инж. Кирил Бочков Куцаров

**НАУЧНИ АСПЕКТИ И АНАЛИЗ НА ПРИНЦИПИ ЗА
ПРИЛАГАНЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАН МИНЕН СОФТУЕР В
ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация

за получаване на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

Научна специалност „Подземен добив на полезни изкопаеми“

Научен ръководител:

Проф. д-р инж. Димитър Стоянов Анастасов

Рецензенти:

1. проф. д-р Методи Георгиев Маждраков
2. доц. д-р Георги Методиев Стоянчев

София, 2014

Защитата на дисертацията ще се състои на 22.07.2014 г. от 10.30 ч. в зала 236 на МТФ, на открито заседание на Научното жури, съгласно ЗРАСРБ, определено със заповед на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“.

Дисертационният труд, авторефератът, рецензиите и становищата на членовете на научното жури се намират в отдел „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, в сградата на Ректората, III етаж, стая 79.

Автора на научния труд работи в катедра „Подземно разработване на полезни изкопаеми“ към МГУ „Св. Иван Рилски“, гр. София, където е зачислен за задочен докторант по професионално направление 5.8 - „Проучване, добив и обработка на полезни изкопаеми“.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от разширен катедрен съвет на катедра „Подземно разработване на полезни изкопаеми“, назначен със заповед № Р-338/19.03.2014 г. на Ректора на МГУ „св. Иван Рилски“, проведен на 28.03.2014 г.

Дисертационният труд съдържа:

- 133 страници основен текст;
- 29 фигури;
- 1 таблица;
- 47 библиографски източници.

Автор: Кирил Бочков Куцаров

Заглавие: Научни аспекти и анализ на принципи за прилагане на специализиран минен софтуер в подземните рудници

Тираж: 25 броя

Издателска къща „Св. Иван Рилски“, София

Увод

Прилагането на минен софтуер при дейностите свързани с проучването и добива на подземни богатства намира все по-голямо приложение и е на път да се утвърди като стандарт. Причината за това се състои във възможностите на съвременните софтуерни приложения да генерират акуратни модели на природните дадености (релеф и геология) и оптимизирани модели на минните изработки и съоръжения, необходими за усвояване на запасите на находищата.

Дисертацията е насочена към използването на минен софтуер при находища експлоатирани по подземен или комбиниран (открит и подземен) способ. В първата част, на базата на извършеното задълбочено проучване, са описани възможностите на съвременните програмни продукти за генериране на геоложки модели, за избор на система на разработване, за проектиране на разкриващи и подготвителни изработки и за планирането и проектирането на рудници и съоръжения като цяло.

След запознаване с функционалността на минните софтуери, като изводи в първата част се дефинират и основните недостатъци на програмните приложения, относно планирането и проектирането на цялостни решения на подземни рудници. Именно в откроените недостатъци се състои и основният проблем, който е предмет на решаване в дисертацията.

Самото решаване на проблема е залегнало в третата част на дисертацията. Втората част е теоретични изследвания и в нея се описват принципите и тънкостите при работа с програмните продукти през целия процес на проучване – добив на подземни богатства. Дефинирано е понятието ефективност от използване на минния софтуер и начините за постигането и.

Експерименталните изследвания са в четвъртата част. Там са обосновани факторите определящи вида на моделите и избора на софтуерен продукт, в чиято среда да бъдат генерирани цялостните 3D модели на находища „Джурково“ и „Дружба“, концесионер, на които е „Лъки – Инвест“ АД.

На базата на разработените четири части, в петата част на дисертацията се открояват научните приноси на докторанта. Последната шеста част на дисертацията представлява списък на използваните литературни източници.

I. Анализ на състоянието на проблема

1. Софтуери за геоложки 3D модели на находища на подземни богатства

За генерирането на геоложки 3D модели са разгледани и анализирани възможностите 9 софтуера. Това са едни от най-популярните програмни продукти, съставляващи значителна част от пазарния дял в този сегмент както следва:

1. AutoCAD на производителя Autodesk;
2. AutoCAD Civil 3D на производителя Autodesk;
3. RockWorks на производителя RockWare;
4. Gems на производителя Geovia;
5. Surpac на производителя Geovia;
6. Vulcan на производителя Maptek;
7. MineSight на производителя Mintec;
8. Cae Studio на производителя Cae Mining;
9. Minex на производителя Geovia.

С изключение на програмния продукт RockWorks на производителя RockWare изброените останали осем софтуера са най-често споменаваните в престижния минен журнал Mining Magazine, издания от 01.2012-08.2013 г.

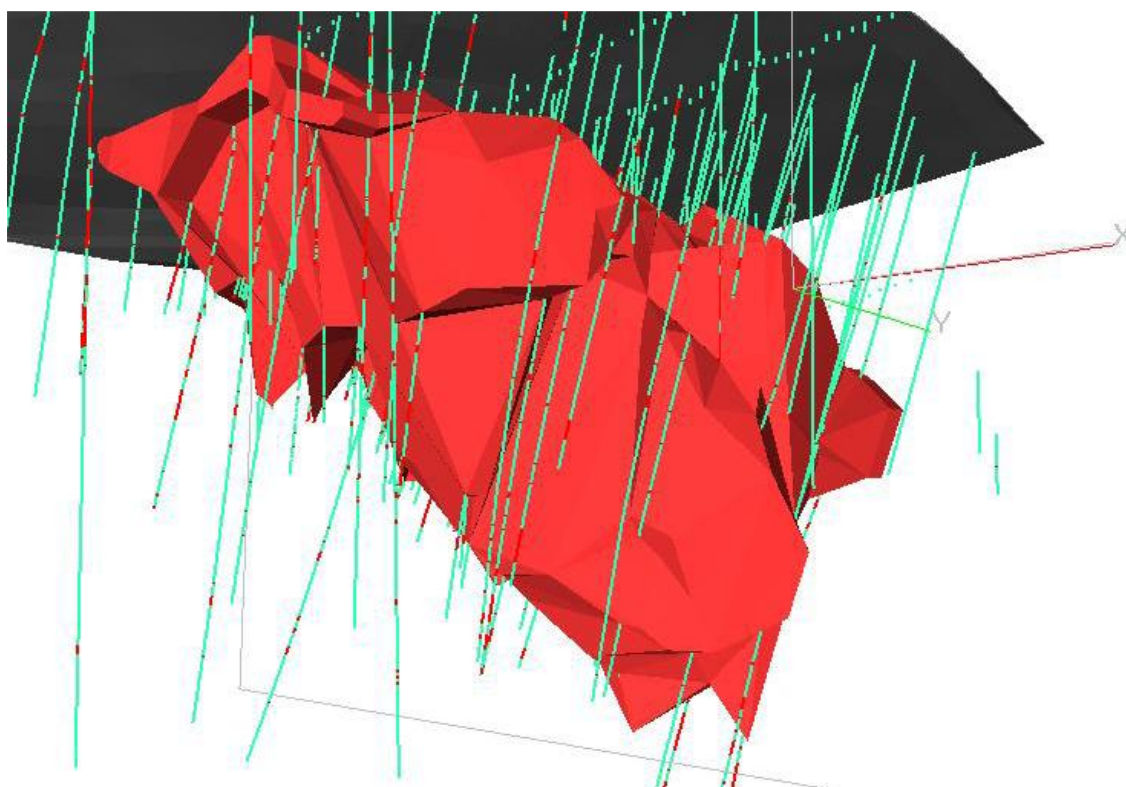
При запознаване с функционалността на описаните програмни продукти се придобива актуална картина за възможностите на съвременните компютърни приложения като цяло, за създаването и използването на триизмерни геоложки модели.

Установи се, че съществена разлика между предлаганите на пазара софтуерни продукти се явява във функционалността на генерираните 3D геоложки модели. В единия случай те представляват 3D модел само на морфологията на геоложките тела и геоложките структури. Тези 3D модели имат така да се каже чисто геометричен характер, затова те са класифицирани като триизмерни геометрични геоложки модели.

Вторият вид 3D геоложки модели (втори случай) обхващат в себе си функционалността на 3D моделите от първия случай. Те представляват комбинация от 3D модел на морфологията на геоложките тела и геоложките структури и модел на разпределението на качествените показатели в обема на геоложките тела. Тези 3D модели отразяват както

геометричните така и качествените характеристики на моделираните обекти, и затова те се класифицират като триизмерни геометрично-качествени геоложки модели. Известни са под названието 3D блокови геоложки модели и тяхната функционалност от гледна точка на изчисляване на запаси и проектиране на рудници далеч надхвърля тази на чисто геометричните геоложки модели.

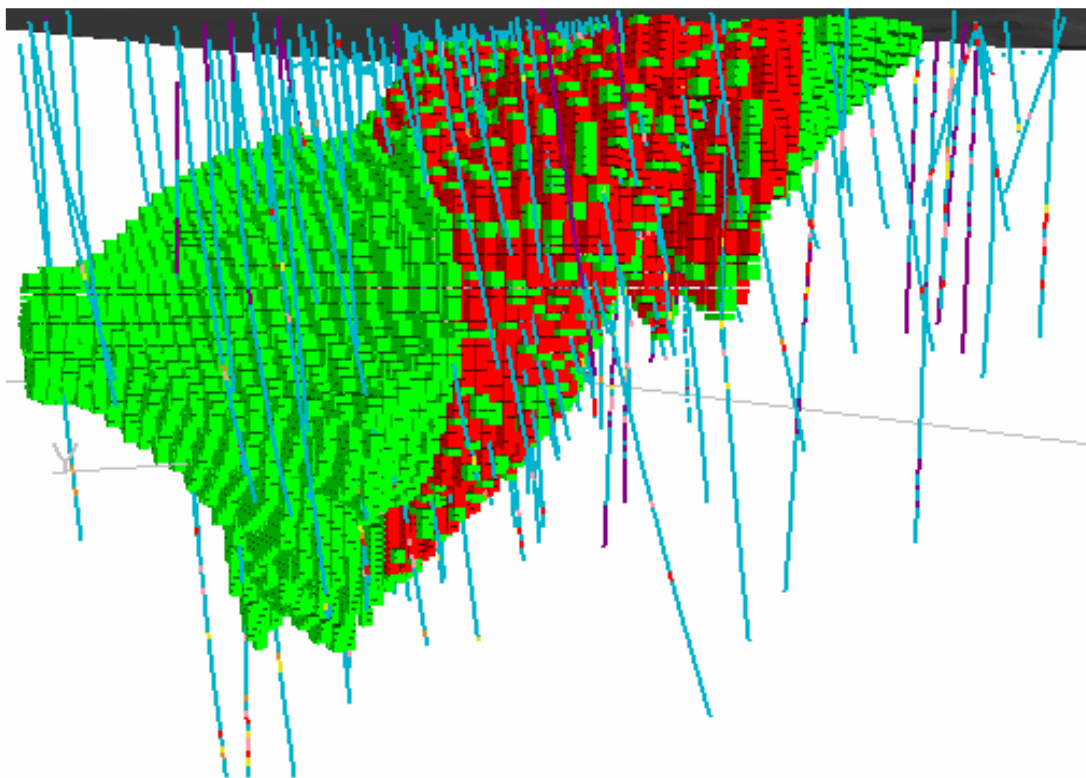
На следващата фигура са показани проучвателни сондажи и твърдо тяло, получено от обвързките в геоложките разрези (3D модел само на морфологията – първи случай).



Фиг. 1. Аксонометричен изглед на геоложки сондажи и триизмерно твърдо тяло.

При блоковото моделиране геоложките тела са представени чрез множество от обемни блокове (клетки – cells) с определени размери, като на всеки един блок (клетка) са присвоени (интерполирани) съдържанията на изследваните компоненти.

На следващата фигура е показан аксонометричен изглед на блоков геоложки модел и проучвателни сондажи.



Фиг. 2. Аксонометричен изглед на блоков геоложки модел и проучвателни сондажи.

За моделиране на пластови находища са разработени няколко програмни продукта. Особено при геоложките модели тук, е че не се използват блокови модели както при повечето софтуери за геоложко моделиране и минно планиране, а така наречените *gridded seam models*. Използването на тези модели позволява по-реалистичното моделиране на характеристиките на този тип находища. От там идва и тяхното предимство пред блоковите модели, когато се касае за пластови находища.

2. Софтуери за избор на системи за подземен добив

Съвременните софтуерни програми използвани при планирането и проектирането на минните работи нямат функционалност за решаване на въпроса с избора на система на разработване за подземен добив. Характерът на този въпрос предполага използването на програмни приложения с математическа насоченост. Именно затова проучването при разработването на настоящата глава е проведено извън сферата на масово използваните програми за минно планиране и проектиране.

Към момента въпроса за избор на система на разработване се счита за мулти-критерийно базирано решение - multi-criteria decision-making (MCDM). Оценяват се краен брой варианти на системи, чиито показатели зависят от множество фактори.

Най-популярните съвременни методи, които се прилагат при проблеми свързани с намирането на мулти-критерийно базирано решение, каквото е избора на добивен метод са както следва:

1. analytic hierarchy process – AHP;
2. analytic network process – ANP;
3. axiomatic design – AD;
4. utility models;
5. TOPSIS;
6. ELECTRE;
7. PROMETHEE.

Причината тези методи да се наложат в практиката е тяхното предимство да отчитат както финансовите, така и техническите и екологични аспекти на нещата произлизащи от оценките на факторите.

3. Минни софтуери за проектиране на 3D модели на разкриващи и подготвителни изработки

Тук, тъй като вече се навлиза в материята на проектиране, програмните продукти използвани за минно планиране и проектиране са разделени на две основни групи, според тяхната функционалност както следва:

1. Неспециализирани програми използвани в минното дело;
2. Специализирани минни софтуери.

Неспециализираните програми използвани в минното дело са тези софтуери, които притежават определена функционалност за извършване на пространствено геометрични построения (генериране на модели на дадени обекти) и извършване на пространствени и геометрични изчисления. Най-общо това са програми притежаващи „CAD“ функционалност.

Съвременните специализирани минни софтуери притежават както „CAD“ функционалност, така и възможности за автоматизирано решаване

на определени минно-проектантски задачи и най-вече възможности за генериране и работа с геоложки блокови модели.

Анализирането на състоянието на проблема за моделиране и проектиране на разкриващи и подготвителни изработки се извърши на база на запознаване с възможностите на следните софтуерни продукти използвани в минното дело:

Неспециализирани софтуери използвани в минното дело:

1. AutoCAD на производителя Autodesk;
2. AutoCAD Civil 3D на производителя Autodesk.

Специализирани софтуери за геоложко моделиране и минно планиране:

1. RockWorks на производителя RockWare;
2. Gems на производителя Geovia;
3. Surpac на производителя Geovia;
4. Vulcan на производителя Maptek;
5. MineSight на производителя Mintec;
6. Cae Studio със специализиран модул - Mine Layout Optimizer (MLO) на производителя Cae Mining;
7. Minex на производителя Geovia.

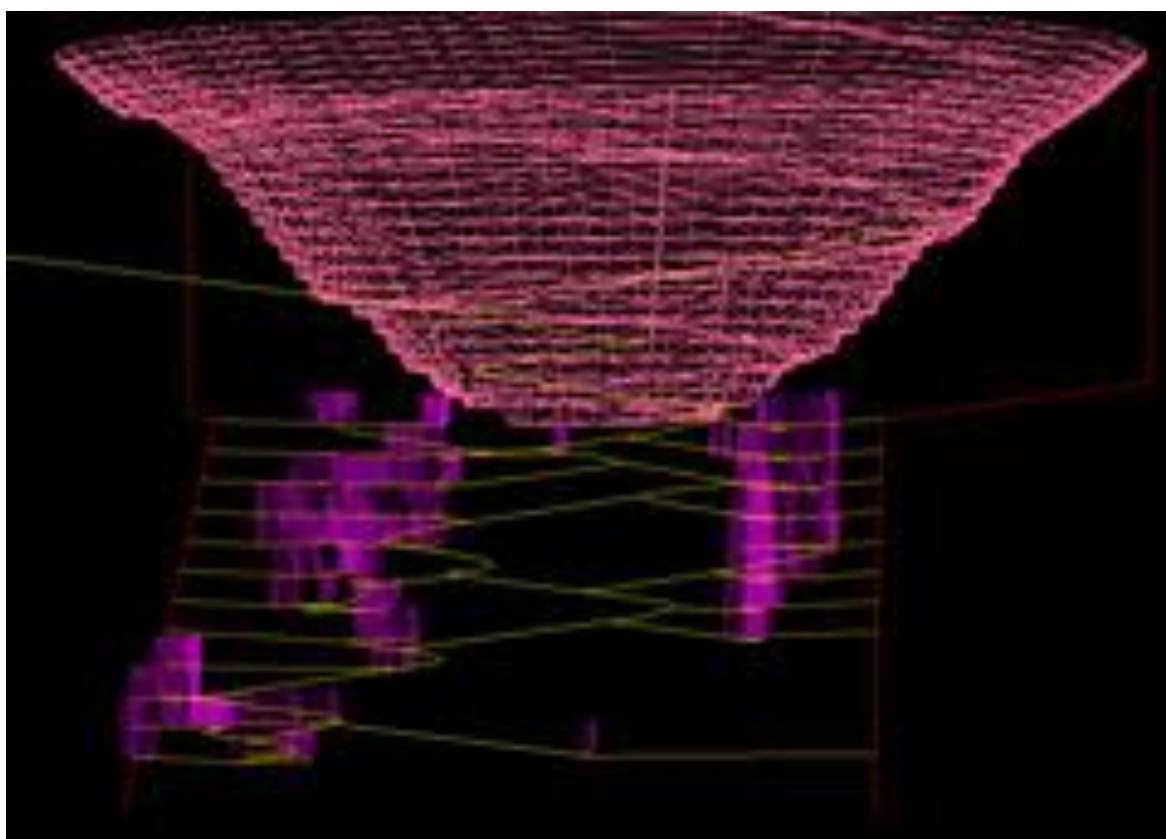
Освен изброените по-горе неспециализирани софтуери използвани в минното дело и геологията и специализирани софтуери за геоложко моделиране и минно планиране, за разработването на тази глава на дисертацията проучването на въпроса се задълбочи, като се анализираха и възможностите на две тясно профилирани за целта софтуерни приложения - DOT (Decline Optimisation Tool), и PUNO (Planar Underground Network Optimiser).

Въпросът с автоматизираното проектиране на оптималните варианти на разкриващите и подготвителни изработки обаче е решен частично. Това обстоятелство е следствие от спецификата на този въпрос, чието решаване изисква анализиране на голяма по обем и различна по характер информация, както и наличието на огромен брой варианти (решения) за оценяване и сравняване.

Към момента най-разпространените и наложени на пазара минни софтуерни приложения нямат функционалност да извършват автоматизирано проектиране на разкриващите и подготвителни изработки

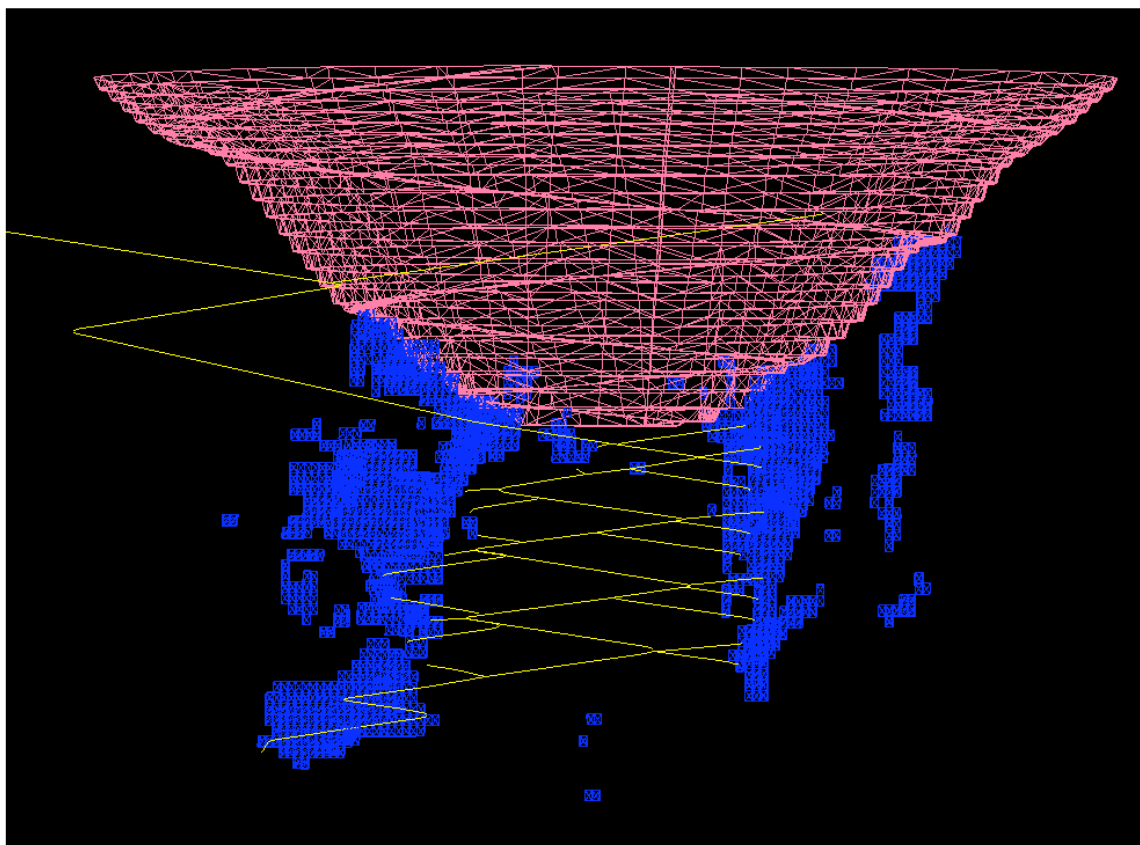
като една цяла мрежа. Липсват и възможности за автоматизирано проектиране на подготвителни изработки. Предлагат се единствено модули, които извършват по отделно (като самостоятелни обекти) автоматизирано проектиране на наклонени и хоризонтални разкриващи изработки.

На следващите две фигури са показани разреза на котлован и оптимизирани трасета на наклонени и хоризонтални разкриващи изработки за продължаване на добива в дълбочина по подземен способ, генерирани в среда на софтуерните приложения DOT (Decline Optimisation Tool) и PUNO (Planar Underground Network Optimiser).



Фиг. 3.

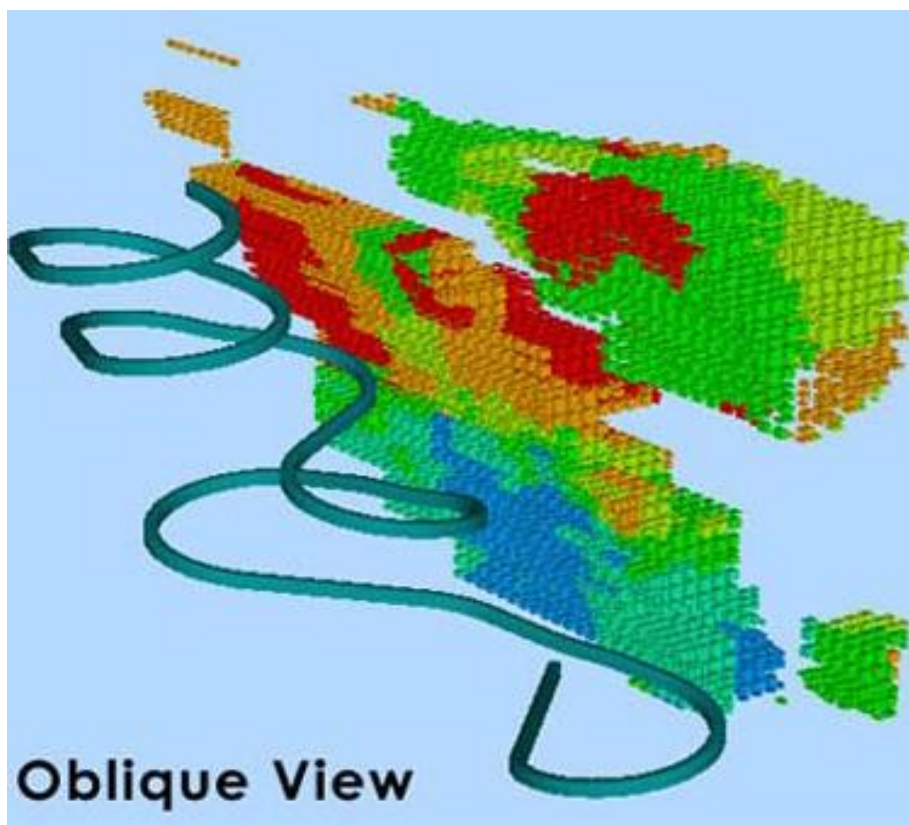
Фиг. 3 и 4. Разреза на котлован и оптимизирани трасета на наклонени и хоризонтални разкриващи изработки за продължаване на добива в дълбочина по подземен способ, генерирани в среда на софтуерните приложения DOT (Decline Optimisation Tool) и PUNO (Planar Underground Network Optimiser).



Фиг. 4.

За постигане на максимално използване на възможностите на системите, блоковият геоложки модел, който ще се използва като основа, следва да бъде генериран по определен начин. В смисъл, че в него трябва да са дефинирани всички литоложки разновидности имащи отношение към геометрията на трасето на изработка.

На следващата фигура е показано оптимално положение на наклонена разкриваща изработка, генерирана в среда на Cae Mining - Mine layout optimizer и блоков геоложки модел.



*Фиг. 5. Оптимално положение на наклонена разкриваща изработка, генерирана в среда на софтуера **Cae Mining** - Mine layout optimizer и блоков геоложки модел.*

4. Минни софтуери и 3D модели при планирането, проектирането и експлоатацията на рудници и съоръжения

В тази глава, анализирането на състоянието на проблема за моделиране, планиране и проектиране на рудници и съоръжения е извършено на база на запознаване с възможностите на следните софтуерни продукти:

Неспециализирани софтуери използвани в минното дело:

1. AutoCAD на производителя Autodesk;
2. AutoCAD Civil 3D на производителя Autodesk.

Специализирани софтуери за геоложко моделиране и минно планиране:

1. RockWorks на производителя RockWare;
2. Gems на производителя Geovia;
3. Surpac на производителя Geovia;
4. Vulcan на производителя Maptek;
5. MineSight на производителя Mintec;
6. Cae Studio със модула Mineable Shape Optimizer (MSO) на производителя Cae Mining;
7. Minex на производителя Geovia;
8. PCBC на производителя Geovia;
9. MineSched на производителя Geovia.

И специализираните приложения, или в случая на точка 3 модул (надстройка) за генериране на оптимален котлован на открит рудник:

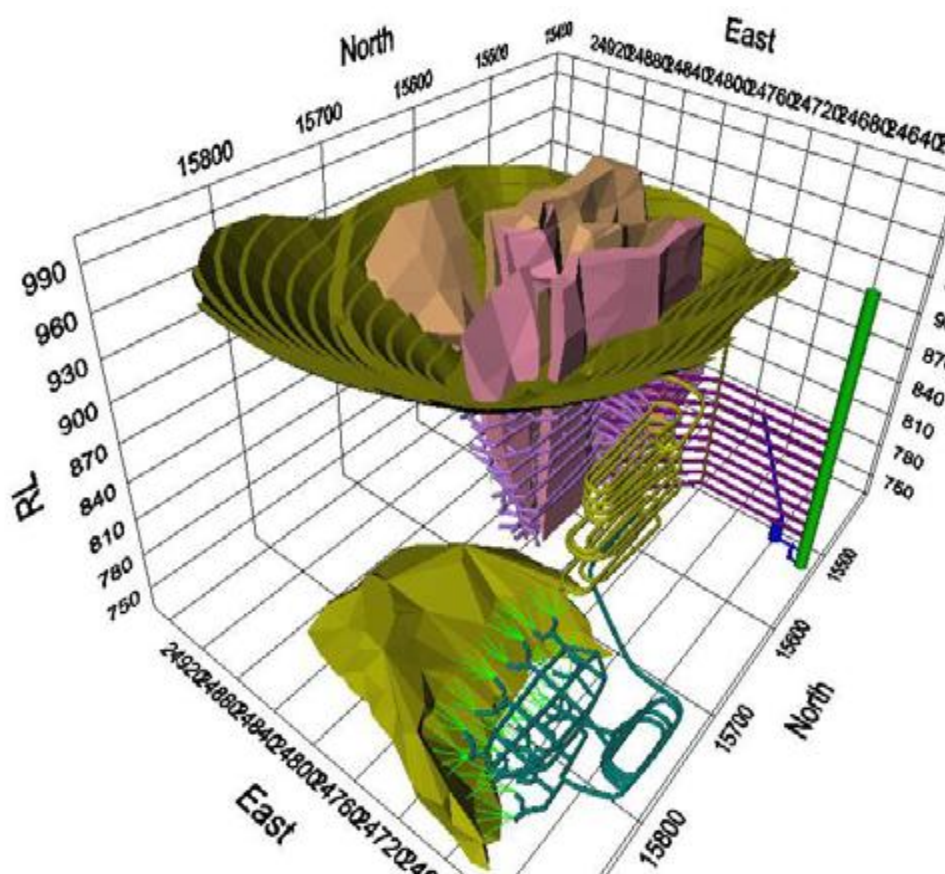
1. Cae NPV Scheduler на производителя Cae Mining;
2. Whittle на производителя Geovia;
3. Vulcan pit optimiser на производителя Maptek.

В рамките на тази глава се дават възможностите на софтуерните приложения за извършване на автоматизирано решаване на задачи свързани с планирането и проектирането на рудници и съоръжения.

За целта са описани различни случаи на приложение на програмите, като идеята е да се добие цялостна представа за възможностите на съвременните софтуери за извършване на автоматизирано планиране и проектиране рудници и съоръжения.

При комбиниран добив, за проектиране на минните изработки за усвояване на запасите по подземен способ, най-напред трябва да се знае геометрията на крайният контур на открития рудник. В случаят става въпрос за оптималният краен контур на котлована на рудника.

На следващата фигура е показан аксонометричен изглед на находище експлоатирано по комбиниран – открит и подземен способ.

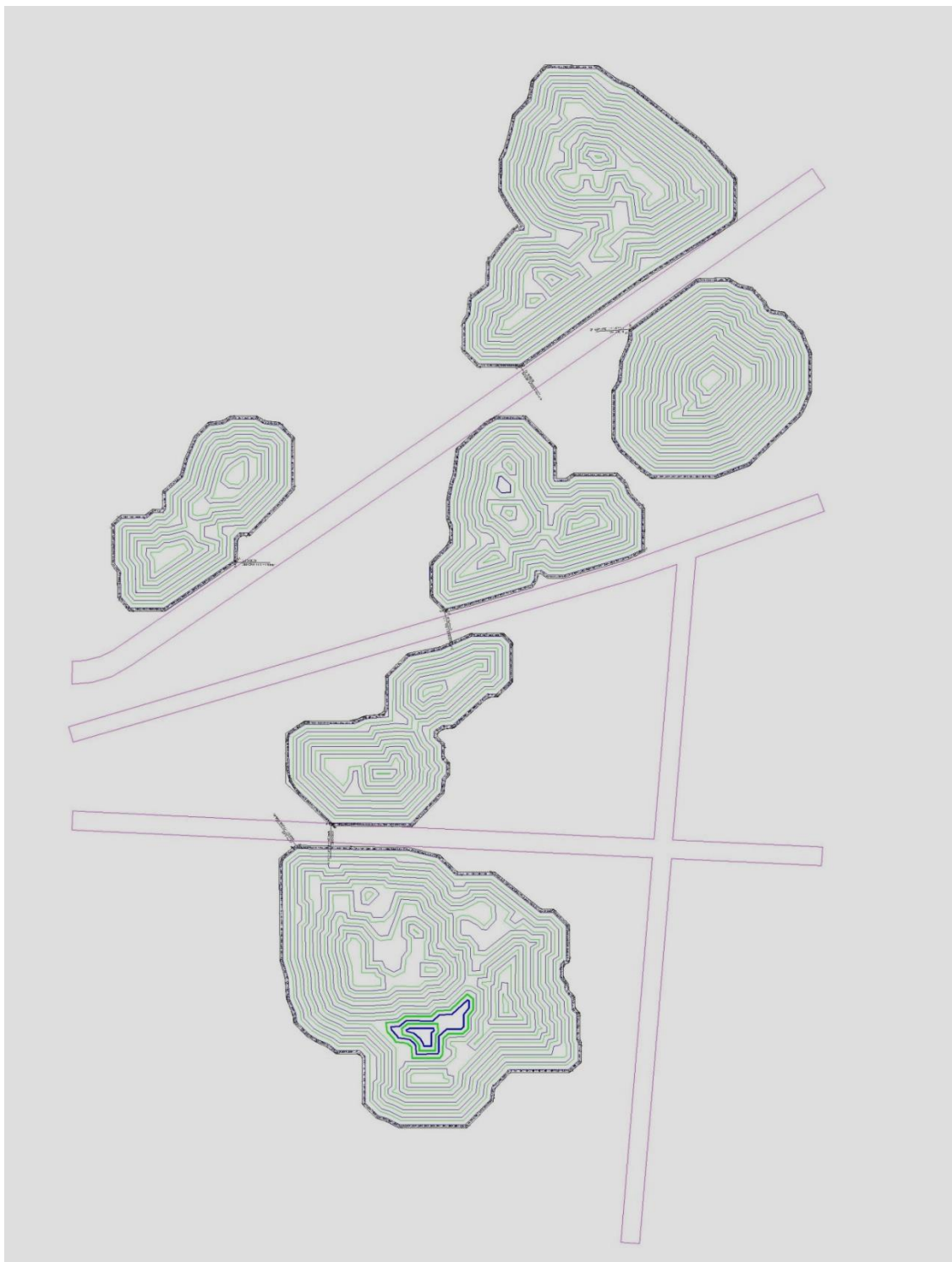


Фиг. 6. Аксонометричен изглед на находище експлоатирано по комбиниран – открит и подземен способ.

Достигането на оптималният контур на разработване на дадено находище експлоатирано по открит способ е един сложен за решаване проблем, датиращ от много години насам. Предложени са много теории как да се достигне до оптималният контур. По-известни от тях са „Плаващият конус” (Floating cone), „Всички комбинации” (Try everything”, „Brute force”) и „Лърч-Гросман” *Lerchsa-Grossman*.

Целта на тези методи е използвайки блоковият модел на находището да се определи геометрията на оптималният краен контур на открития рудник, при спазване на определени условия. Оптималният краен контур на открития рудник е този, който осигурява максимален нетен доход от разработването на находището като се съобразява със зададени технически ограничения и същевременно осигурява стабилитет на бордовете.

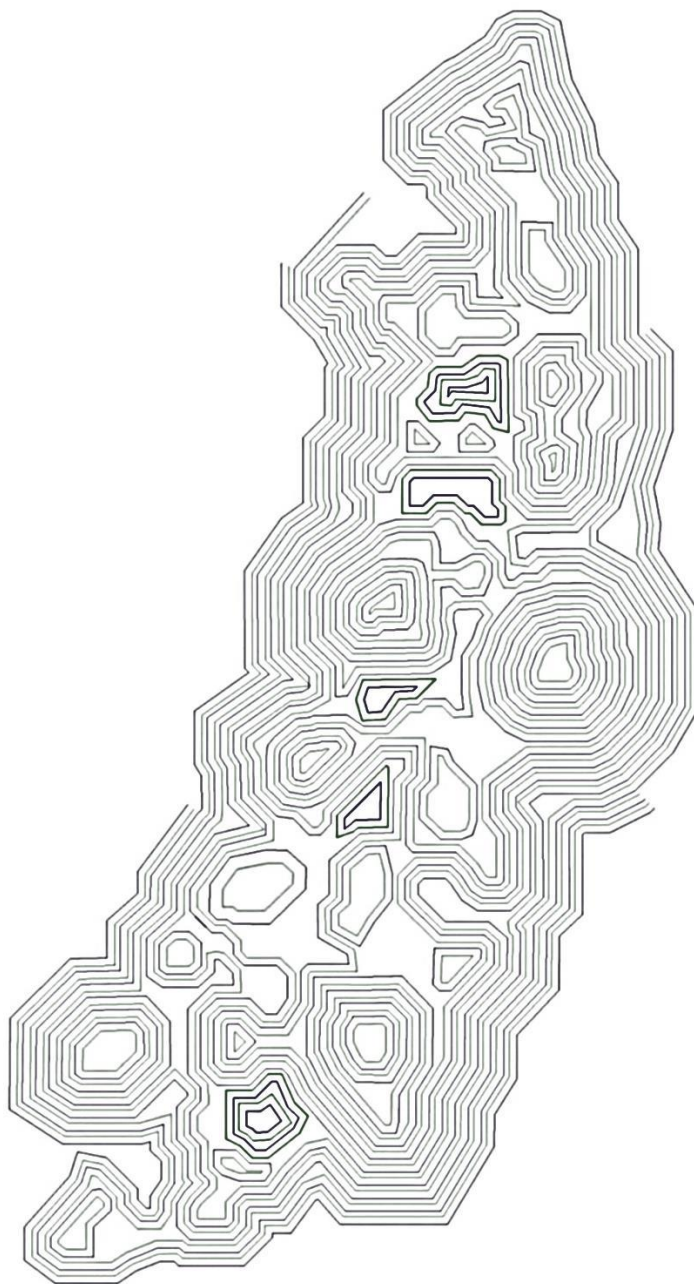
На следващата фигура е показан оптимален котлован генериран в среда на специализиран минен софтуер, разделен на няколко гнезда от охранявани линейни обекти.



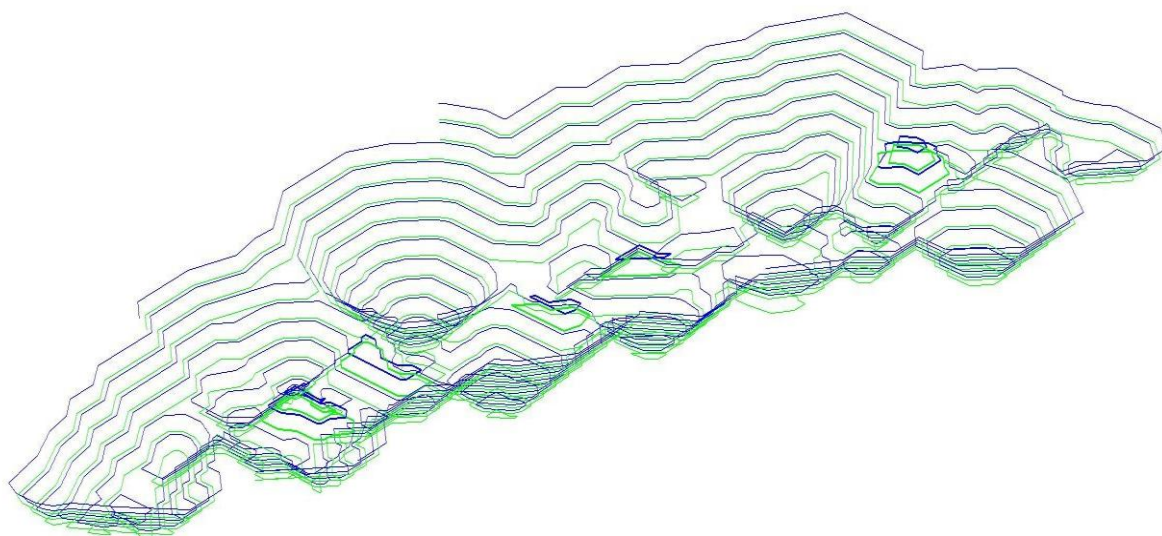
Фиг. 7. Оптимален котлован генериран в среда на специализиран минен софтуер, разделен на няколко гнезда от охранявани линейни обекти.

Другият важен принос на оптимизацията освен даването на оптимален краен контур на открития рудник е и така нареченият оптимален ред на изземване - *OES (optimal extraction sequence)*. Оптималният ред на изземване на запасите представлява последователността във времето, по която ще се развиват минните работи.

На следващите фигури са показани планов и 3D изглед на оптимален котлован генериран в среда на Cae NPV Scheduler, на производителя Cae Mining.



Фиг. 8. Планов изглед на оптимален котлован генериран в среда на **Cae NPV Scheduler** на производителя **Cae Mining**.



*Фиг. 9. 3D изглед на оптимален котлован генериран в среда на **Cae NPV Scheduler** на производителя **Cae Mining**.*

Целта на тази оптимизация (оптимален ред на изземване) е постигането на максимизация на нетния настоящ доход от находището – NPV (net present value). За това се изисква освен другите входни данни, потребителят да зададе годишната норма на дисконтиране и производителността на рудника за даден период от време.

По-нататм в тази глава се описват възможностите на някои софтуерни програми за автоматизирано решаване на определени задачи.

PCBC на производителя Geovia

Водеща роля при проектирането на рудници, разработвани чрез блоково обрушване, има софтуерното приложение на GEOVIA – GEOVIA - PCBC. Програмата е развивана и усъвършенствана повече от 23 години от опитни специалисти в областта, докато се превърне в лидер на пазара.

Gems на производителя Geovia

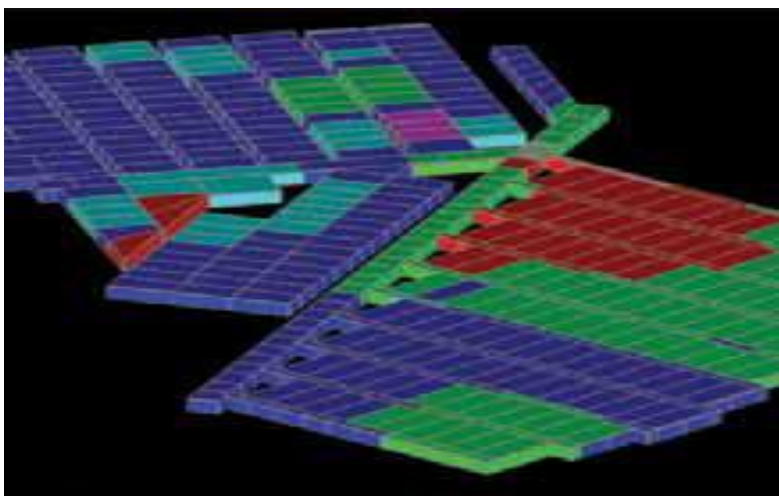
Geovia - Gems предлага софтуерни решения относно пробивно-взривните работи. Програмата разполага с модул за автоматизирано изчисляване на геометрията на отбивните сондажи.

Minex на производителя Geovia

Geovia - Minex е интегрирана система за геолошко моделиране и минно планиране на пластови находища. При рудодобива това най-често са находища на желязна руда или платина.

За подземно минно планиране програмата предлага набор от функции за автоматизирано моделиране на панели при системи на разработване с панелна подготовка.

На следващата фигура е показан триизмерен изглед на минни изработки за усвояване на запасите на руден пласт, генерирани в среда на програмният продукт Geovia – Minex.



Фиг. 10. 3D изглед на минни изработки оцветени според качествен признак на попадащите вътре в тях запаси.

MineSched на производителя Geovia

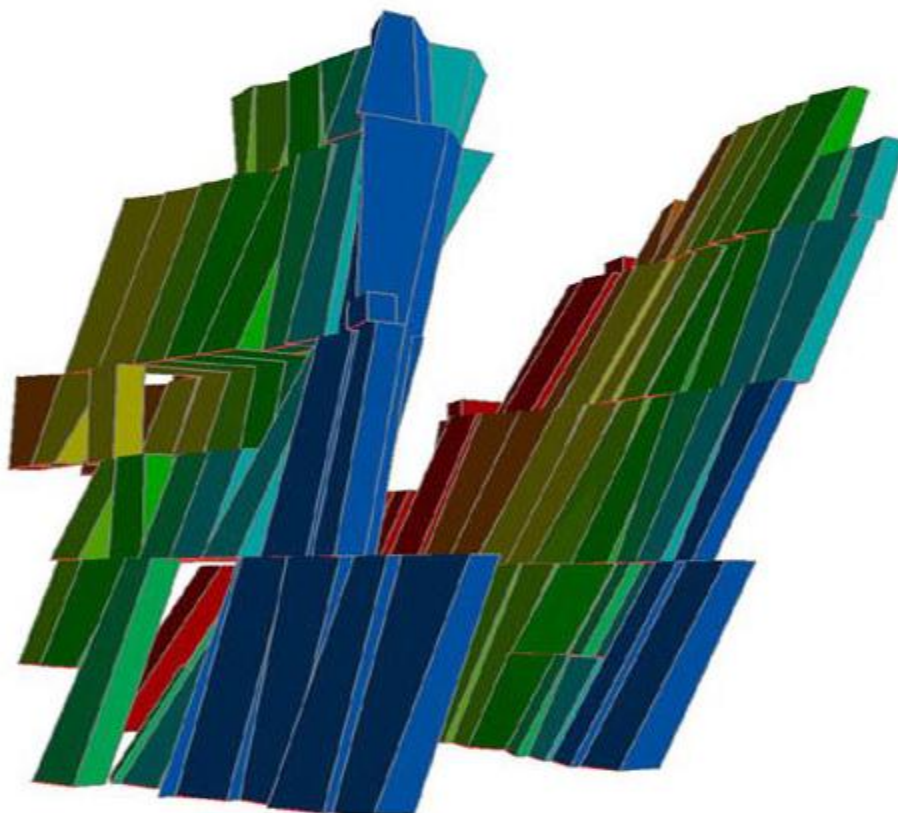
Програмата притежава функционалност за изготвяне на календарен график на развитието на минните работи. Графика във вид на таблица се изготвя автоматизирано, на базата на графичните модели на минните изработки.

Графичната симулация на последователността на минните процеси във времето, която софтуера предлага, е изключително полезна за установяване на верността на изготвения график.

Cae Studio със модула Mineable Shape Optimizer (MSO) на производителя Cae Mining

Използва се за намиране на формата и разположението на добивните блокове, които да осигурят максимален коефициент на извличане на запасите и едновременно с това и стабилитет на скалният масив, при системи на разработване без обрушване.

На следващата фигура са показани геометрии на добивни блокове за изземване на запасите на рудни жили, генерирани в среда на програмния продукт.



Фиг. 11. 3D изглед на геометрии на добивни блокове за усвояване на запасите от рудни жили.

Цел и задачи на дисертацията

Целта и задачите на дисертацията са дефинирани на базата на поставения проблем – Изготвяне на проекти, осигуряващи постигане на финансови разчети за максимален нетен настоящ доход от разработването на находищата на полезни изкопаеми по подземен способ, при текущото състояние на програмните продукти, не предлагащи цялостно автоматизирано проектиране на подземни рудници. Предвид обстоятелството, че в обозримо бъдеще едва ли ще се създаде софтуерна платформа за автоматизирано проектиране на подземни рудници, която да генерира конструкция на подземен рудник и развитие на минните работи, водещи до максимизиране на настоящият нетен доход, се избира подход, който използвайки съществуващата функционалност на програмните продукти и икономическата логика, която да се съблюдава при проектиране, да насочва екипа от проектанти към разработване и оценка на решения, които са възможно най-близко до търсените.

Така решаването на проблема се състои в съставяне на методически указания за разработване на генерални проекти за развитие на подземни рудници експлоатиращи хоризонтални и слабо наклонени пластови или пластообразни рудни тела, като целта е да се систематизира начинът на избор на варианти и реда на извършване на сравнения между тях и по този начин да се избере решението водещо до максимизиране на нетния настоящ доход от дейността на подземния рудник. Методиката също така трябва да постига своята цел чрез разработване и съответно сравняване на относително не голям брой варианти.

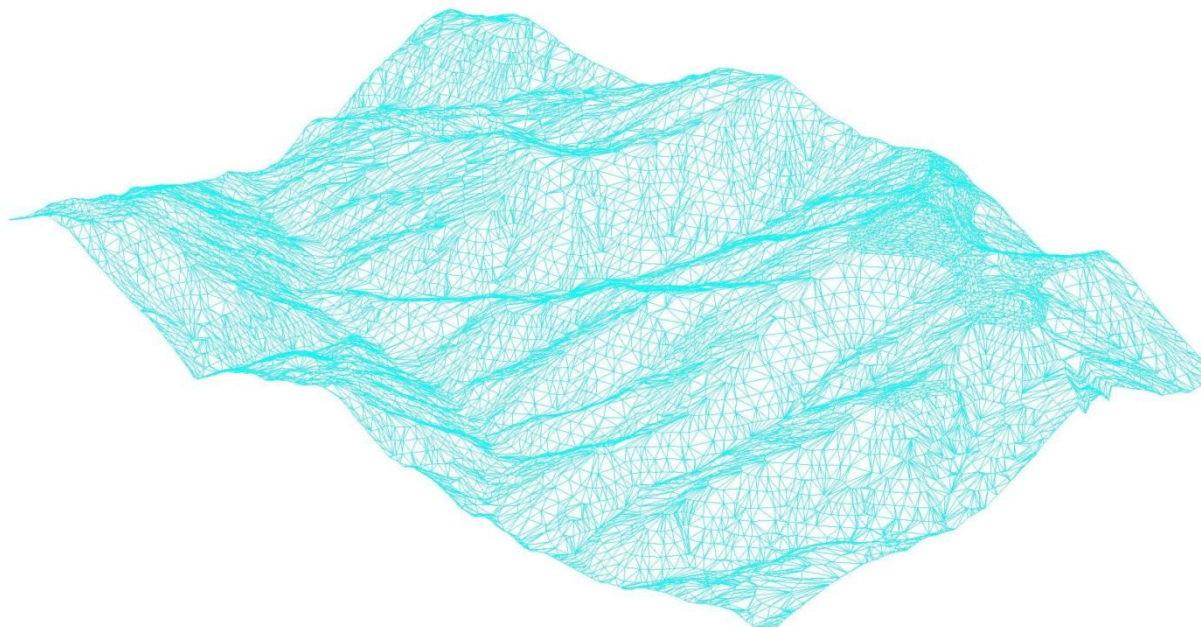
II. Теоретични изследвания

1. Анализ на принципите при прилагане на минен софтуер

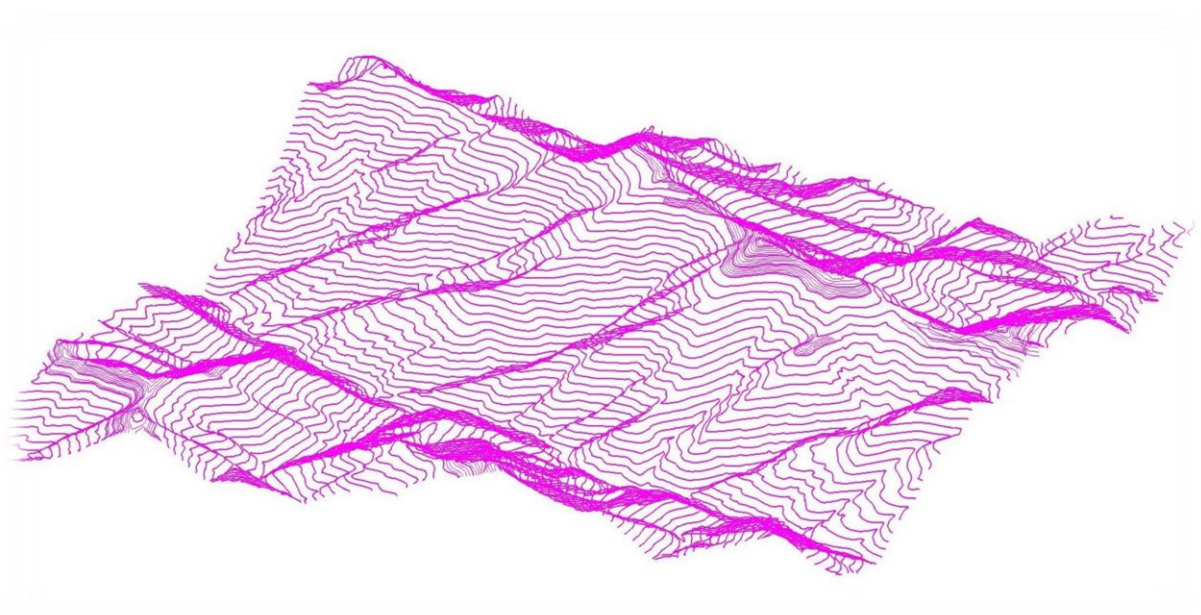
Тук се описва последователността на процеса, начина на работа с програмните продукти и специфичните моменти при това, за реализирането на един нов инвестиционен проект за проучване и добив на подземни богатства по подземен или комбиниран (открит и подземен) способ. По този начин най-нагледно се излагат фундаменталните принципи при прилагане на минен софтуер за всеки един отделен етап от този процес (проучване – добив на подземни богатства).

Първият модел, който най-често се генерира от софтуерните програми през този процес, е модела на релефа и съществуващите обекти на повърхността.

На следващите фигури са показани 3D повърхнина на ненарушен релеф (TIN – Surfaces) и триизмерни изолинии също на ненарушен релеф.



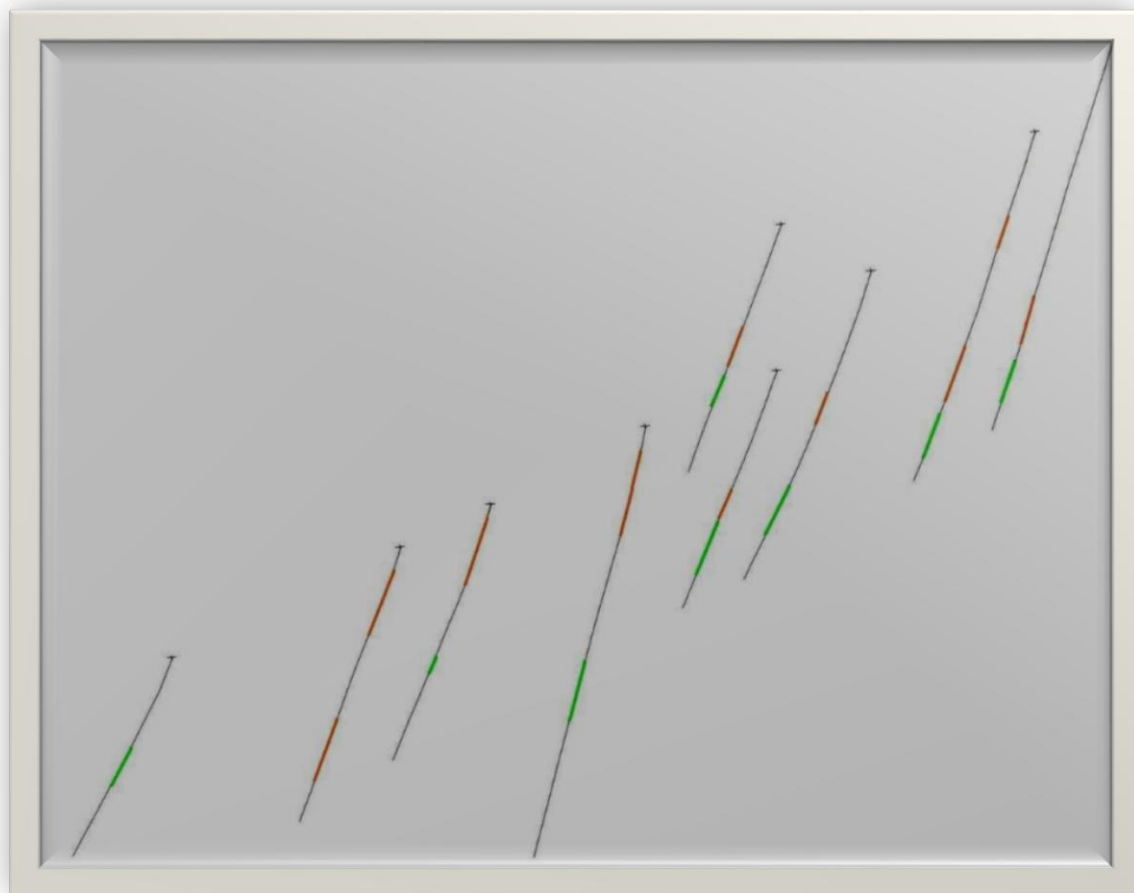
Фиг. 12. 3D повърхнина на ненарушен релеф (TIN – Surfaces).



Фиг. 13. Триизмерни изолинии на ненарушен релеф.

Следващият по ред модел в инвестиционния процес проучване – добив на подземни богатства, след този на релефа и съществуващите обекти на повърхността е модела на геологопроучвателните изработки.

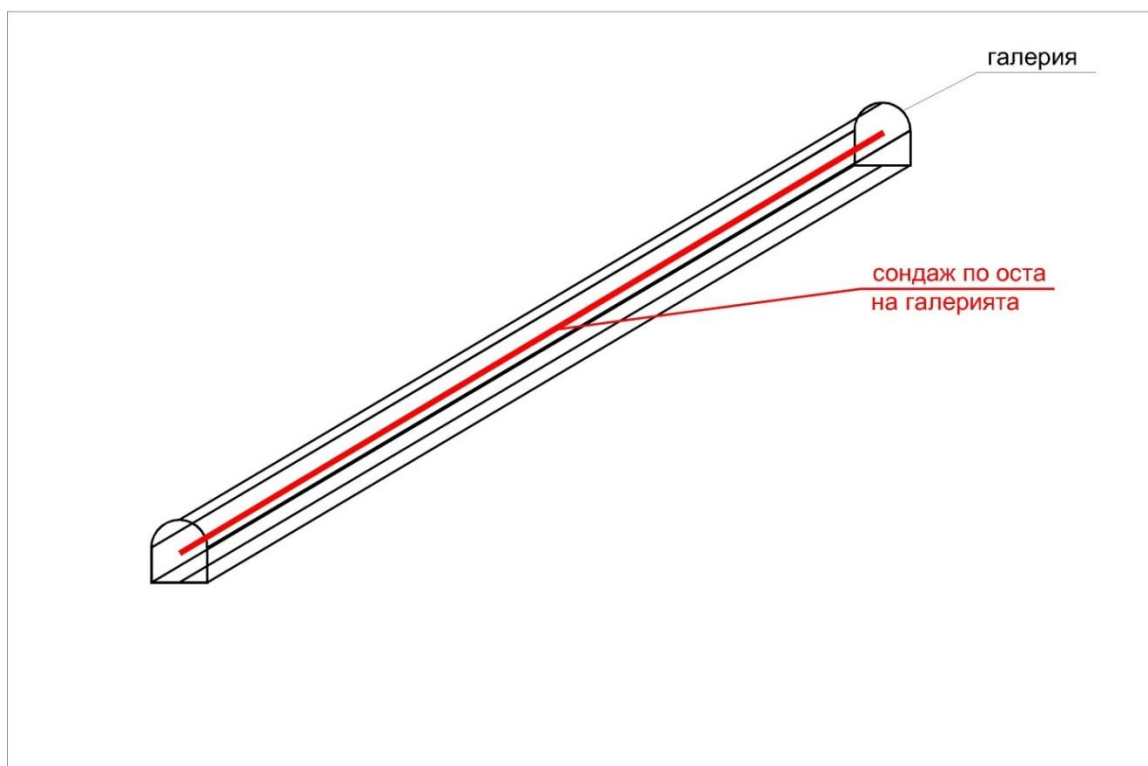
На следващата фигура е показан изометричен изглед на проучвателни сондажи с инклинация и прободите им през рудна жила (оранжев интервал) и метазалежи (зелен интервал).



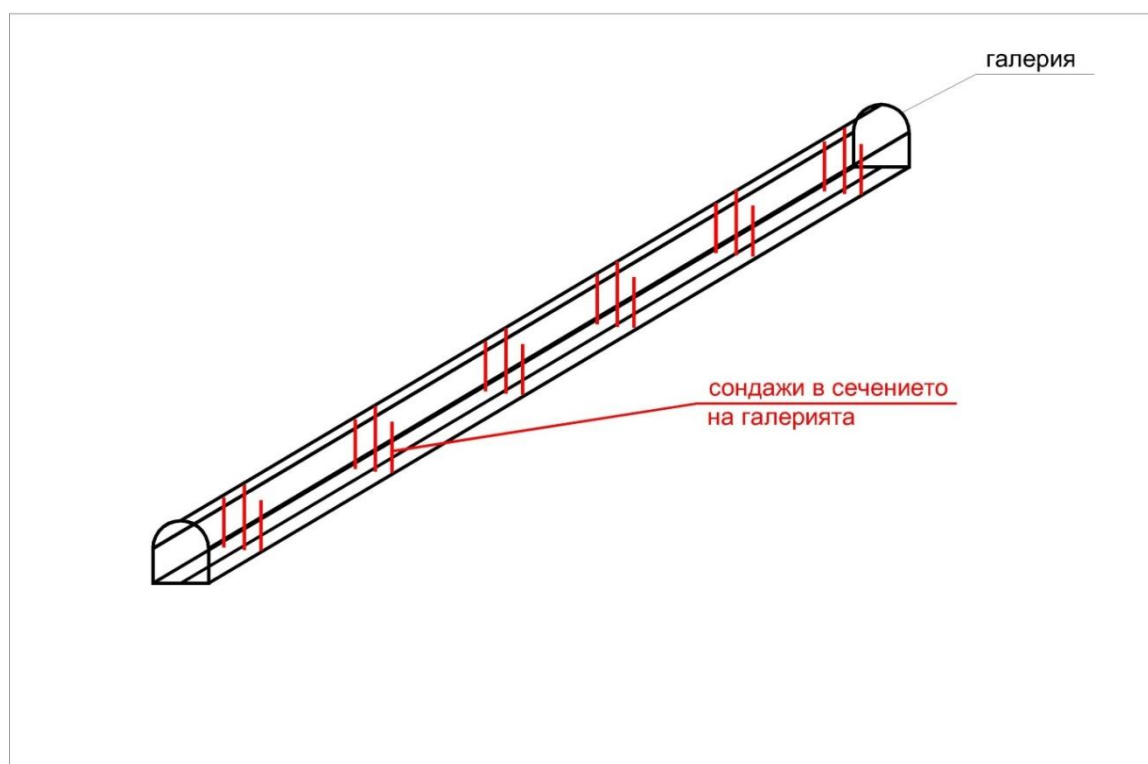
Фиг. 14. Аксонометричен изглед на проучвателни сондажи с инклинация и прободите им през рудна жила (оранжев интервал) и метазалежи (зелен интервал).

Важна особеност при създаването на този модел, е че в повечето софтуери за геоложко моделиране и минно планиране като проучвателни изработки може да се дефинират само сондажи.

На следващите две фигури са показани два варианта на представяне на проучвателната информация придобита от галерия. Първата фигура показва галерия представена със сондаж по оста ѝ, докато втората фигура показва същата тази галерия представена с вертикални сондажи, които следват направлението ѝ и се вписват във вертикалното и сечение.



Фиг. 15. Представяне на проучвателната информация, придобита от галерия, със сондаж по оста.



Фиг. 16. Проучвателна информация от галерия представена с вертикални сондажи, които следват направлението ѝ и се вписват във вертикалното ѝ сечение.

Следващият модел - Моделът на геологията представлява модел на цялата налична геоложка информация за проучваната площ и нейната интерпретация.

Геоложкият модел на находището е базата за проектиране на неговата експлоатация – необходимите минни изработки и съоръжения за усвояването му. Първите проектни дейности в това направление имат за цел да дефинират границите на запасите – тази част от рудното тяло, която отговаря на техническите изисквания на добива и преработката и същевременно нейното промишлено разработване е икономически рентабилно и осигурява желаната норма на възвращаемост на инвестициите. След определяне на запасите на находището се определят и границите на ресурсите – част от рудното тяло извън запасите, която или не отговаря на определени технически изисквания на добива и/или преработката или нейното промишлено усвояване към момента е икономически нерентабилно или и двете.

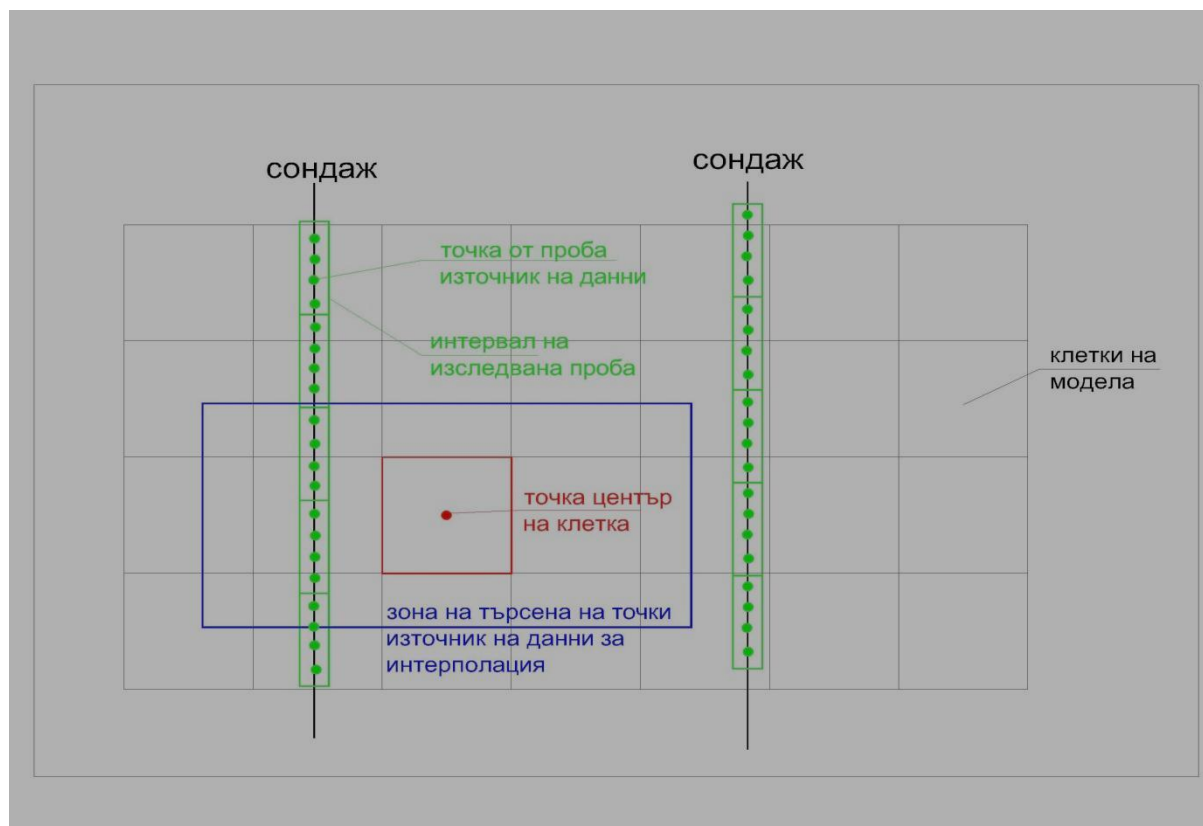
Така следва да се разграничават двата вида модела, геоложкият модел и модела на запасите и ресурсите. Геоложкият модел на находището е статичен модел, доколкото не се допълва с нова информация от проучване. Моделът на запасите и ресурсите е динамичен модел. Той зависи основно от текущите цени на суровините и от нивото на научно-техническия прогрес.

В тази връзка при съставянето на геоложките модели на находищата трябва първо добре да се изяснят техните цели. В смисъл какви данни трябва да съдържат, за да задоволят информационните нужди на проектните разработки, които ще се изготвят на базата на тези геоложки модели.

В този ред на мисли най-напред се определя типа на геоложкия модел. Дали да бъде чисто геометричен модел на морфологията на геоложките разновидности или геометричен модел и модел на пространственото разпределение на определени качествени показатели.

Тъй като интереса е насочен към блоковите геоложки модели, в дисертацията са описани техните характерни особености. На следващата фигура е показана принципна схема - разрез на клетки от блоков модел, сондажи с проби, представени с точки по оста на пробите и разположени през определен интервал, зоната на търсене на точки източници на данни, които да участват при интерполацията за присвояване на стойности на

точката – център на дадена клетка (в случая на показаната фигура - червената клетка).



Фиг. 17. Принципна схема на начина за присвояване на стойности на центровете клетките от блоковия модел.

Зоните на търсене на източник на данни и метода на интерполация зависят изцяло от генезиса на находището. В този аспект за тяхното правилно определяне са необходими задълбочени познания в областта както на геологията така и на геостатистиката.

Така стигаме до последния модел – модела на минните изработки и съоръженията, необходими за осъществяване на добива.

В дисертацията са описани възможностите на съвременните софтуерни продукти за генерирането на модели на минните изработки и съоръженията, необходими за изземване на запасите. Обяснен е смисълът и принципите на процеса на оптимизация за намиране на най-рационалния вариант на конкретния обект на проектиране.

Най-важното нещо при генерирането на моделите на минните изработки и съоръженията, необходими за осъществяване на добива е условието всички изработки и съоръжения да се разглеждат като една цялостна система, а не като отделни обекти. Оптималният вариант на една

минна изработка, разглеждана и проектирана като самостоятелен обект не винаги си кореспондира, по отношение на технологията на експлоатация с оптималният вариант на друга минна изработка, също разглеждана и проектирана като самостоятелен обект. Постигането на максимален нетен доход от разработването на находището е функция от оптимизирането на всички минни изработки и съоръжения заедно, като една система, а не от оптимизирането на всяка една изработка и съоръжение по отделно.

2. Изследвания за повишаване ефективността от използване на минния софтуер

Под понятието ефективност се разбира постигането на дадени крайни цели с влягането на минимално количество ресурси. При използването на минен софтуер за геоложко моделиране и минно планиране, ефективността се изразява в наличието на определени специфични функционалности на програмните продукти, позволяващи постигането на съвкупността от много цели.

Ресурсът в случая, който се вляга за постигането на целите, и за който може да се изисква да бъде редуциран е факторът време за завършване на определените задачи. Тъй като моделите, които се генерират при работата с минните софтуери служат за взимане на отговорни проектни и съответно инвестиционни решения, касаещи се за големи финансови ресурси, факторът време не е критерий, който участва в определяне на ефективността от използването на минните програмни продукти.

Тъй като различните софтуерни продукти предлагат различни в определена степен функционалности, може да се каже, че ефективното прилагане на минен софтуер започва и до голяма степен се обуславя с избора на най-подходящата програма, която да бъде внедрена и използвана в съответното предприятие. Под избор на софтуер не се разбира единствено избор (сравнение на възможностите) между два или повече програмни продукта. В много предприятия се работи с повече от един програмен продукт и в този смисъл съществува избор между една програма и комбинация от две или повече програми или избор между две двойки (или повече) софтуерни приложения.

Във връзка с това са анализирани основните принципи за избор на софтуер за геоложко моделиране и минно планиране, които имат най-голямо отношение към повишаване ефективността от тяхното използване.

III. Практическо решаване на проблема

1. Методика за проектиране на подземни рудници за експлоатация на хоризонтални и слабо наклонени пластови или пластообразни рудни тела

Целта на всеки един генерален проект за добив на подземни богатства е да осигури както безопасна и екологосъобразна експлоатация, така и постигането на максимален нетен настоящ доход от разработването на находището. При открития добив, оптималният котлован и последователността на изземване на запасите, водещи до максимален нетен настоящ доход се генерират автоматизирано. Същата тази задача, при подземния добив, поради определени обстоятелства, към момента не може да бъде решена автоматизирано.

Целта е да се систематизира начинът на избор на варианти и реда на извършване на сравнения между тях и по този начин да се избере решението водещо до максимизиране на нетният настоящ доход от дейността на подземния рудник.

Идеята на методиката е основана на икономическата теория за стойността на печалбата в бъдеще, чиято стойност се намалява с определена норма на дисконтиране. Това предполага в началните периоди на експлоатация да се разработват участъци с по-богатата на полезни компоненти руда и при минимални разходи за разкриване на тези участъци.

При така разработеният алгоритъм на работа, чрез сравняване на два варианта се постига избирането на генерално разположение на разкриващи изработки и ред на изземване на запасите, осигуряващи максимален нетен настоящ доход от разработването на даденото находище, при предварително зададена система на разработване. Така следва да бъде ясно, че методиката не избира пряко система на разработване, а само оптимално разположение на разкриващи изработки и ред на изземване на запасите. Оптимална система на разработване или

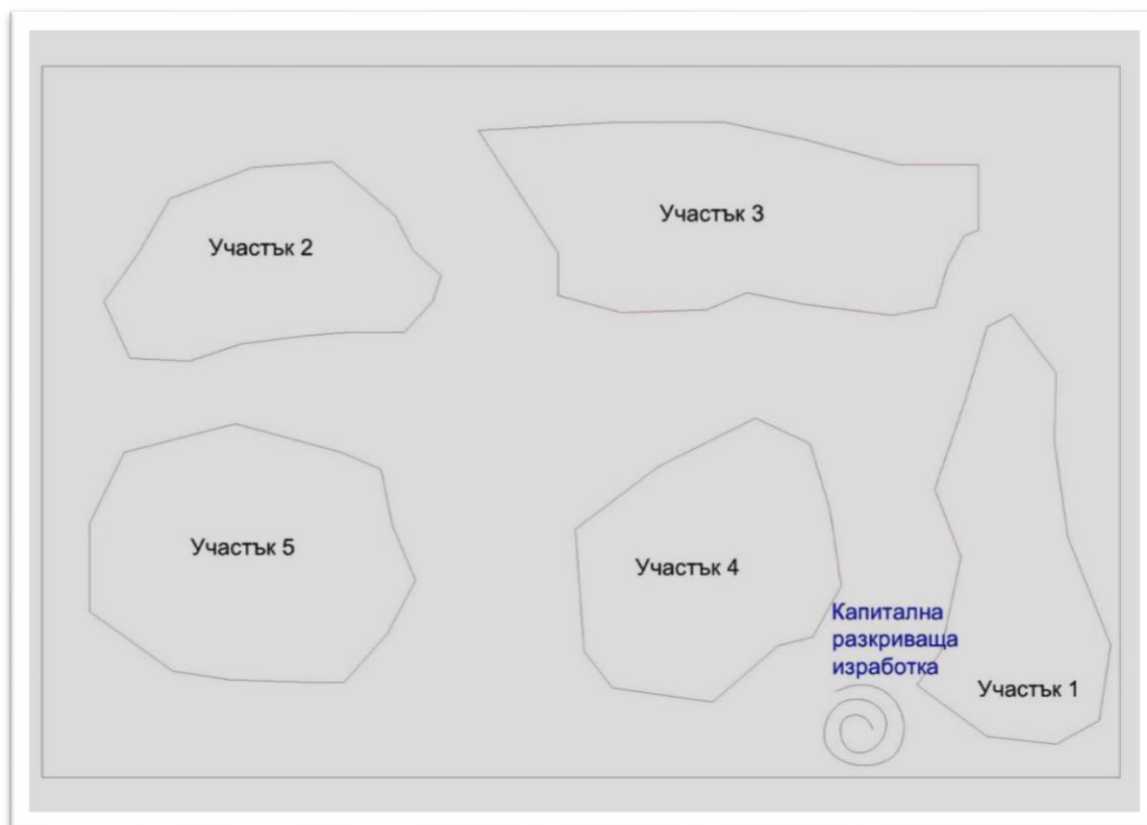
вариант на система се избира косвено, при сравняване на няколко оптимални варианта на конструкция на подземен рудник и ред на отработване на запасите, всеки определен за различни системи. Така при сравняването на вариантите, се приема този с най-добри финансови разчети, който е разработен при определена система.

Същността на методиката се състои в следното. Най-напред рудното тяло се разделя на няколко части – участъци обхващащи приблизително еднакъв обем руда, но всеки с различно качество (съдържание на полезни и/или вредни компоненти). Така се получава серия от участъци, чието качество на рудата постепенно се изменя с определена стъпка от такива с по-високо съдържание към такива с по-ниско съдържание на определени компоненти, като така се определя реда на изземване на запасите – в началото се разработва участъка с най-добро качество на рудата и постепенно се преминава към участъците с по-ниско качество на рудата и накрая последно се разработва участъка с най-ниско качество на рудата.

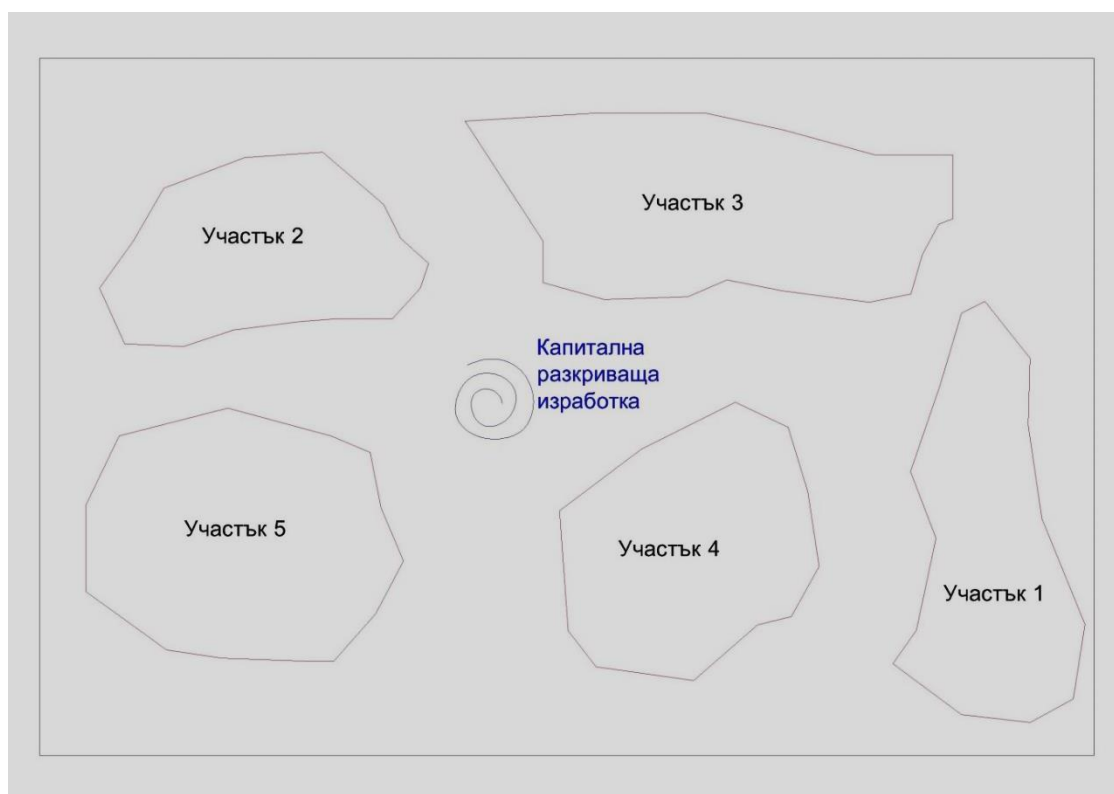
Разделянето на рудното тяло на участъци се извършва в среда на специализираните софтуери за геоложко моделиране и минно планиране. При разделянето на рудното тяло на участъци се спазват определени правила.

Идеята, е че ако разкриващи изработки са в близост до първия по ред разработван участък, разходите за разкриване в началния етап на експлоатация на находището ще бъдат минимални, което е важно за получаване на максимален нетен настоящ доход от добивната дейност. От друга страна това би довело до по-големи разходи за разкриване на някой от участъците, които се разработват след първият и затова се разработва и вариант, при който разкриващите изработки се проектират в близост до центъра на тежестта на находището. Така се оценяват и сравняват два варианта на разположение на разкриващи изработки, като се предполага, че оптималното решение за местоположение на тези изработки се съдържа в един от двата случая, този с по-добри финансови параметри.

На следващите фигури са дадени схеми на разположение на капиталната разкриваща изработка в двата варианта – в близост до първият по ред за изземване участък и в близост до центъра на тежестта на находището.



Фиг. 18. Схема на разположение на капиталната разкриваща изработка в близост до първият по ред за изземване участък.



Фиг. 19. Схема на разположение на капиталната разкриваща изработка в близост до центъра на тежестта на находището.

IV. Експериментални изследвания

1. Създаване на цялостни 3D модели на находища „Джурково“ и „Дружба“ от „Лъки – Инвест“ АД

Към момента основният източник на запаси от оловно-цинкови руди в дружеството се явяват метазалежите. Те представляват мраморни пластове, в които се е получило заместване на карбонати с полиметални минерали. Този процес в геологията е известен като метасоматоза.

Геологията на метазалежите в двете находища е изключително комплицирана, в следствие на интензивната тектонска дейност, която масива е претърпял в миналото. Това обстоятелство в голяма степен затруднява геоложката обвързка на мраморните пластове. Именно трудността при геоложката обвързка на мраморните пластове е една от основните причини дружеството „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД да вземе решение за възлагане на задача за създаването на триизмерни модели на геологията на двете находища.

Дефинирани са основните изисквания, на които генерираните модели трябва да отговарят, а именно:

- Да съдържат цялата налична информация, получена от проведените проучвателни и експлоатационни работи за геометрията на находищата и минните изработки. Под геометрия на находищата се разбира триизмерен модел на геоложките структури, получен на базата на обвързката на цялата налична проучвателна информация. Тази графична информация в изградените модели да бъде лесно достъпна и във форма, удобна за ползване. Да могат да се генерират в цифров вид и на хартия всички, необходими планове, разрези и аксонометрични проекции за оперативните и проектантски нужди на дружеството. Също така с помощта на моделите трябва да могат да бъдат лесно осъществени обемни изчисления и пространствено-геометрични построения, с помощта на които да бъдат решавани различни геоложки и минно-проектни задачи.
- Моделите трябва да могат лесно да се актуализират и информацията в тях коригирана и добавяна. Да бъдат отворени – да позволяват усъвършенстване и надграждане. Най-общо да позволяват лесно поддържане на актуалността на динамичните модели на

проучвателните изработки (сондажите), геологията и минните изработки.

Във връзка с дефинираните изисквания към моделите се определи те да бъдат изградени със следната структура, състояща се от четири основни звена:

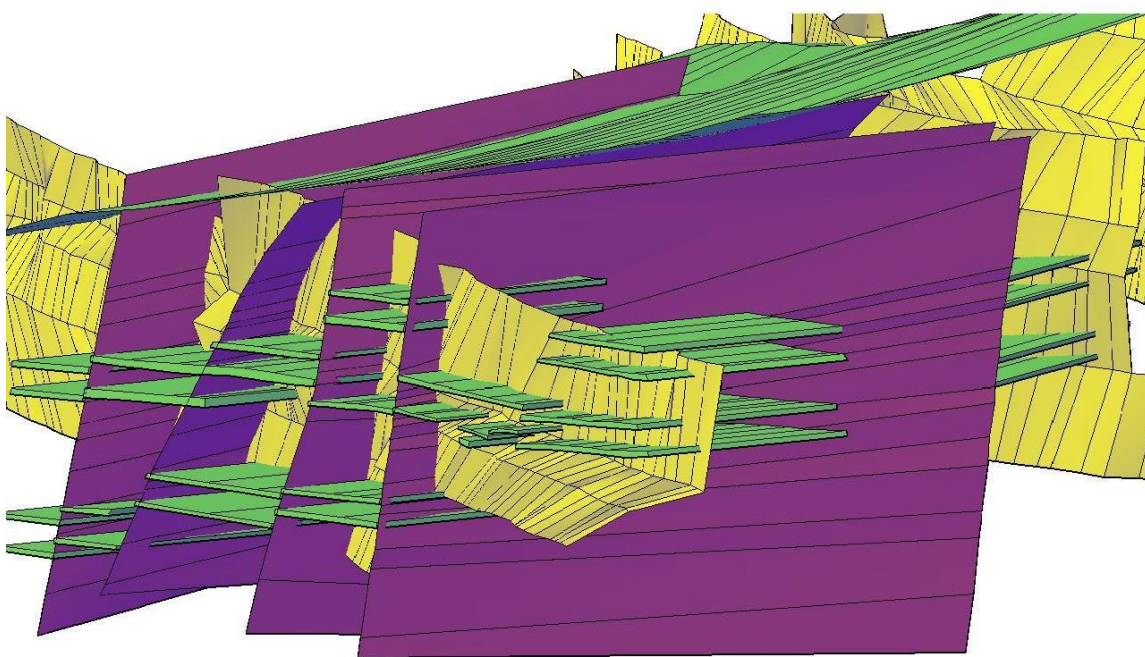
- Триизмерен модел на релефа и съществуващите обекти на повърхността;
- Триизмерен модел на съществуващите минни изработки на рудниците;
- Триизмерен модел на проучвателните сондажи и геоложките структури, засечени в тях;
- Триизмерен геоложки модел (жилни зони, разломни структури и мраморни пластове).

Изградени с тази структура моделите могат да бъдат наречени цялостни модели на находищата и рудниците. В смисъл, че съдържат данни както за геологията, така и за минните изработки, релефа и обектите на повърхността. Това от своя страна е предпоставка за най-пълноценно използване на моделите при решаването на задачи свързани с допроучването на находищата и тяхната експлоатация.

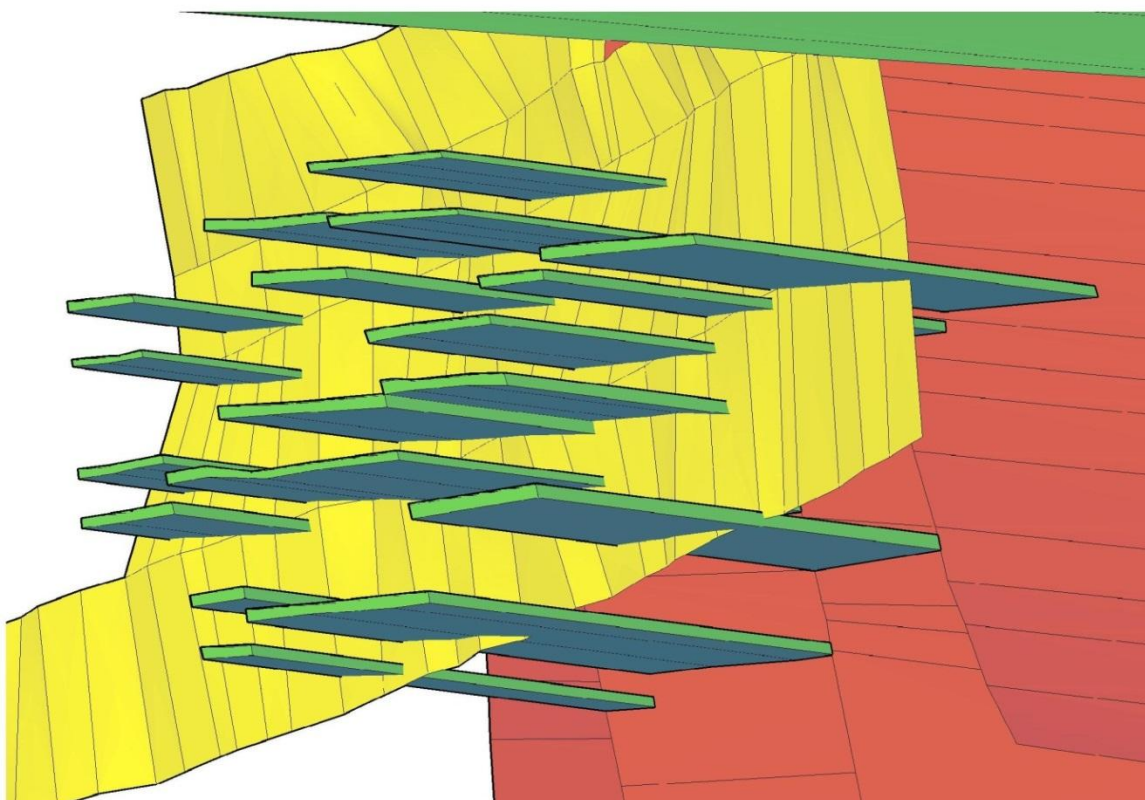
Към момента моделите са защитени пред експертния съвет на дружеството. Внедрени са в работата на предприятието.

Предвижда се в бъдеще чисто геометричните геоложки модели, които се използват понастоящем да бъдат заменени от геометрично качествени геоложки модели. Както вече споменахме геометрично качествените геоложки модели се изграждат на базата на чисто геометричните геоложки модели, като им се придава допълнително съдържание и функционалност. Тогава геометрично качествените геоложки модели ще позволят при изготвянето на цялостните проекти за експлоатация на находищата да се приложи разработената методиката в третата част на дисертацията. Така ще се постигне максимизиране на нетната настояща стойност от дейността на рудниците.

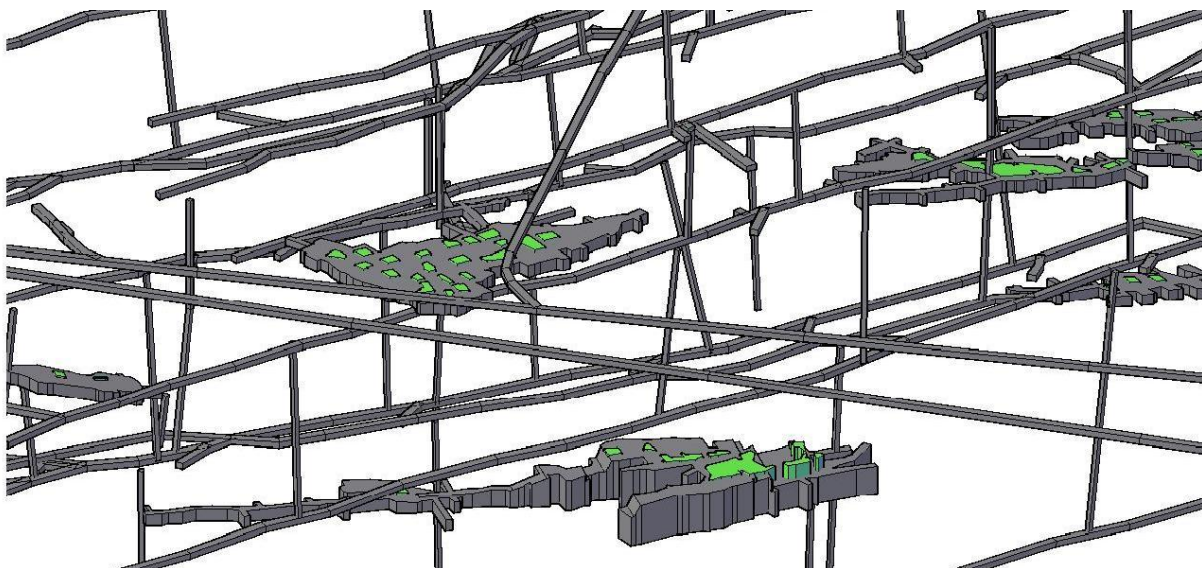
Следващите фигури представляват аксонометрични изгледи на части от цялостните модели на находищата.



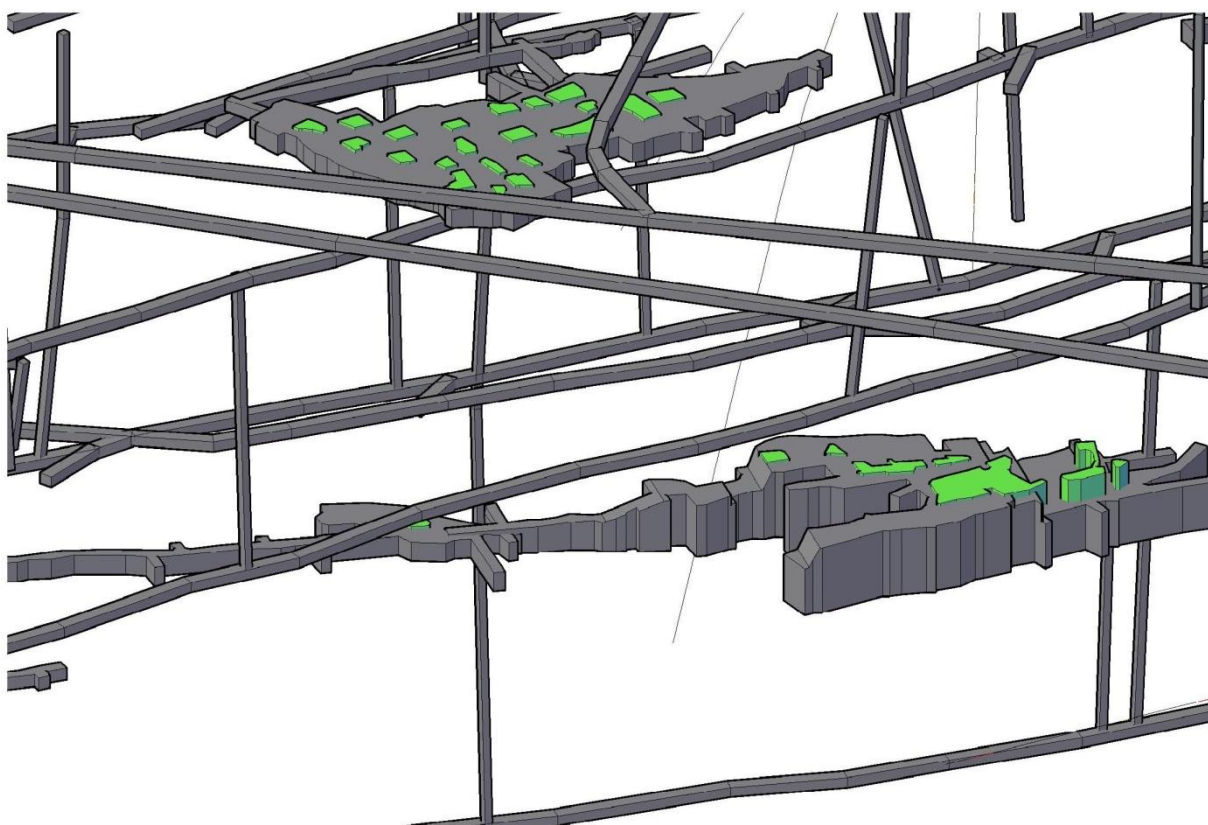
Фиг. 20. Аксонометричен изглед на част от геоложките структури в цялостния модел на находището.



Фиг. 21. Аксонометричен изглед на част от геоложките структури в цялостния модел на находището.



Фиг. 22. Аксонометричен изглед на част от минните изработки в цялостния модел на находището.



Фиг. 23. Аксонометричен изглед на част от минните изработки в цялостния модел на находището.

V. Научни и научно-приложни приноси

Научни приноси:

1. Създадена е класификация на геоложките модели според предоставяните от тях функционални възможности и са определени основните принципни недостатъци на съвременните софтуери за проектиране на цялостни решения за подземни рудници.

2. Формулирана е, изследвана и доказана последователността на процеса, начина на работа с програмните продукти и специфичните моменти при това, за реализирането на един нов инвестиционен проект за проучване и добив на подземни богатства, като така систематизираната информация може да се използва като методика при реализацията на такъв вид проекти.

3. Дефинирани са понятието ефективност от използване на минния софтуер и основните принципи за избор на софтуер за геоложко моделиране и минно планиране, които имат най-голямо отношение към повишаване ефективността от тяхното използване.

Научно-приложни приноси:

1. Разработена е методика за оптимизиране на реда на изземване на запасите и генералното местоположение на капиталните разкриващи изработки за подземни рудници експлоатиращи хоризонтални и слабо наклонени пластови или пластообразни рудни тела. Чрез прилагането на методиката при проектирането на цялостни проекти за развитие на подземни рудници се ограничава броя на оценяваните и сравнявани варианти, а избрания по този начин вариант е оптимален или много близък до оптималния и осигурява максимален нетен настоящ доход от дейността.

2. Експериментално са създадени цялостни 3D модели на находища „Джурково“ и „Дружба“ от „Лъки – Инвест“ АД, които понастоящем са защитени и внедрени в работа в предприятието. Моделите се използват за поддържане на актуалното положение на геологията (геоложки тела и структури и проучвателни изработки) и минните изработки, както и за решаване на определени геоложки и минно-проектантски задачи.

НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ КЪМ ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Куцаров, К. Провеждане на минна дейност в територии с установени защитени растителни видове. Международна научно-техническа конференция „Проблеми на екологията в минерално-суровинния отрасъл“, Варна, 2011 г.
2. Куцаров, К., Д. Анастасов, З. Ефтимов. Принципи при прилагането на минен софтуер за геоложко моделиране и минно планиране. С. Минно дело и геология бр. 2-3/2012.
3. Анастасов, Д., Ат. Марински, К. Куцаров, З. Ефтимов. Някои аспекти за обемни ядра на напрежения и хидравлични радиуси на целици в метазалежи. Трета национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, гр. Девин, 8-11 октомври 2012 г.
4. Куцаров, К. Ефективност при използване на минен софтуер. С. Минно дело и геология (под печат).

Съдържание

Увод	3
I. Анализ на състоянието на проблема	4
1. Софтуери за геоложки 3D модели на находища на подземни богатства	4
2. Софтуери за избор на системи за подземен добив	6
3. Минни софтуери за проектиране на 3D модели на разкриващи и подготвителни изработки	7
4. Минни софтуери и 3D модели при планирането, проектирането и експлоатацията на рудници и съоръжения	11
Цел и задачи на дисертацията	19
II. Теоретични изследвания	19
1. Анализ на принципите при прилагане на минен софтуер	19
2. Изследвания за повишаване ефективността от използване на минния софтуер	25
III. Практическо решаване на проблема	26
1. Методика за проектиране на подземни рудници за експлоатация на хоризонтални и слабо наклонени пластови или пластообразни рудни тела	26
IV. Експериментални изследвания	29
1. Създаване на цялостни 3D модели на находища „Джурково“ и „Дружба“ от „Лъки – Инвест“ АД	29
V. Научни и научно-приложни приноси	33
Научни публикации към дисертацията	35