



МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА: РАЗРАБОТВАНЕ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ

Маг.инж. Ивайло Тодоров Николов

**АНАЛИЗ И РАЗРАБОТВАНЕ НА СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАРИАНТИ ЗА
РАЗВИТИЕ НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

за придобиване на образователна и научна степен „доктор“ по професионално направление 5.8 Проучване, добив и обработка на полезни изкопаеми, научна специалност:
„Открит и подводен добив на полезни изкопаеми“

**Научен ръководител:
Доц. д-р Евгения Александрова**

СОФИЯ, 2023 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „Разработване на полезни изкопаеми“ към Миннотехнологичен факултет на МГУ „Св. Иван Рилски“, София, на 15.06.2023 г., съгласно Ректорска заповед № Р-444 от 08.06.2023 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р-476/20.06.2023 г. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ и ще се проведе на 31 август 2023 г. (четвъртък) от 11.00 часа в зала 220 на Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209.

Утвърденото Научно жури е в състав:

1. проф. д-р Ивайло Копрев – МГУ „Св. Ив. Рилски“, София
2. проф. дн Юли Радев – МГУ „Св. Ив. Рилски“, София
3. проф. дн Йордан Христов – ХТМУ, София
4. доц. д-р Веска Лашева – ХТМУ, София
5. доц. д-р Борислав Николов – ТУ, София

Резервни членове:

1. доц. д-р Весела Петрова – МГУ „Св. Ив. Рилски“, София
2. проф. д-р Радослав Къртов – Академия на МВР, София

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. проф. д-р Ивайло Копрев
2. проф. дн Йордан Христов

Дисертантът е на самостоятелна подготовка към катедра „Разработване на полезни изкопаеми“ на Миннотехнологичен факултет.

Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: Маг.инж. Ивайло Тодоров Николов

Заглавие: АНАЛИЗ И РАЗРАБОТВАНЕ НА СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАРИАНТИ ЗА РАЗВИТИЕ НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“

Тираж: 20 броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

СЪДЪРЖАНИЕ НА АВТОРЕФЕРАТА

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	5
Актуалност на проблема	5
Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване	5
Научна новост	6
Практическа приложимост	6
Апробация	6
Публикации	6
Структура и обем на дисертационния труд	6
II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	7
ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОСОБЕНОСТИ ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОТО ПЛАНИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ОТКРИТИ РУДНИЦИ	7
1.1 Възгледи и аспекти при стратегическото планиране и управление на открити рудници	7
1.2. Определяне на крайните граници на открит рудник	9
1.3. Критерии за определяне на крайните граници	10
1.4. Графически методи за определяне на крайните граници	10
1.5. Актуалност на въпроса, свързан с разработването и развитието на рудник „Елаците“	12
ГЛАВА 2. ПРИЛОЖИМИ МЕТОДИ И МОДЕЛИ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ КОНТУРНИТЕ ГРАНИЦИ НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“ НА КОНЦЕПТУАЛНО НИВО	14
2.1. Основни характеристики на обекта на изследване	14
2.2. Приложими модели при търсене на контурни граници	16
2.2.1 Модел на началната повърхнина за търсене и оконтуряване на запас от 160 млн. t руда	16
2.2.2 Ресурсен блоков модел 2020 г. (BM'20)	17
2.3. Оптимизиране на геометричните параметри на конструкцията на рудник „Елаците“ във връзка с определяне на крайните контурни граници	19
2.3.1. Геотехнически параметри	19
2.3.2. Методика за определяне на ъглите на бордовете на рудник „Елаците“ по лито-тектонски домейни за търсене на концептуалните контурни граници	20
2.3.2 Икономически показатели за търсене на оптимални крайни граници	22
2.3.3 Акцент върху определяне на разходите за добив в рудодобивен комплекс	23
2.3.4. Изчисляване на икономическите показатели посредством модула „MinePlanEconomicPlanner“ на софтуера „MinePlan™3D“	24
2.3.5. Изчисляване на транспортните разходи в зависимост от изменението на транспортните разстояния по хоризонти	25
2.3.6 Дефиниране на рудните и откривните блокове в геоложкия структурен модел	26
ГЛАВА 3. АЛГОРИТЪМ ЗА ТЪРСЕНЕ НА КРАЙНИ (ОПТИМАЛНИ) КОНТУРНИ ГРАНИЦИ ЧРЕЗ „MINEPLAN3D“	29
3.1. Същност на алгоритъма за търсене на крайни (оптимални) граници на открит рудник	29

3.2	Формулиране на ограничения за добивните участъци	34
3.3	Критерии за избор на крайна дълбочина на открит рудник	34
ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛНИ КОНТУРНИ ГРАНИЦИ ЗА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“ НА КОНЦЕПТУАЛНО НИВО		35
4.1	Икономически показатели	35
4.2	Геотехнически параметри	36
4.3	Бортово съдържание на основния полезен компонент (Cu).	36
4.4	Диференциране на работни зони за добив	37
4.5	Определяне на кота дъно за рудника	37
4.6	Анализ на чувствителността за избраните варианти на концептуален контур на рудник „Елаците“	42
4.7	Избор на концептуален контур за удължаване срока на експлоатация на рудника след 13.08.2031 г. До 13.08.2041 г. (+10 години)	45
ОСНОВНИ ИЗВОДИ		46
ОСНОВНИ НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ		47
ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА		47
ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА		47

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Икономическата значимост на находище „Елаците“ и необходимостта от устойчиво развитие, поражда нуждата от търсене на икономически изгоден контур, с цел удължаване живота на рудника, като задачата е свързана с разрешаване на сложни вероятностни ситуации при систематичен недостиг на информация за технологичните, геотехническите, естествените и икономическите условия на управлявания обект.

С оглед на ефективното стратегическо планиране за развитие на рудник „Елаците“, в дисертационния труд е приложен опитът от световната практика, отнасяща се до съвременни методи и анализи за разработване на стратегически варианти при търсене на перспективен икономически изгоден контур (на концептуално ниво) за добив, в частност за конкретните условия на разработване на находище „Елаците“.

Въз основа на научно-изследователската работа при разработване темата на дисертацията при търсенето на икономически „най-изгодния“ стратегически сценарии за развитие на медно-порфирно находище в условията на рудник „Елаците“ бе потвърдено, че откритият рудник е една сложна система, а нейния вероятностен характер се определя от случайните фактори, които въздействат върху природните условия, а оттам и на технологичните процеси. Поради тази причина винаги съществува неопределеност във входната и изходната информация, като всяко предварително прогнозиране за поведението на системата крие риск.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е **Анализ и разработване на стратегически варианти за развитие на рудник „Елаците“**.

За постигане на поставената цел са решени следните основни задачи:

1. Изследване и анализ на теоретичните, аналитичните и графо-аналитичните методи за търсене на концептуални контурни граници на открити рудници
2. Обосноваване на приложими методи и специализирани софтуерни продукти за решаване на задачата за търсене на „оптимални“ контурни граници на концептуално ниво
3. Разработване на модели за търсене на „оптимални“ контурни граници на открит рудник на концептуално ниво
4. Обосноваване на икономически критерии за търсене на крайни оптимални конурни граници на рудник «Елаците»
5. Разработване на алгоритъм за търсене на крайни (оптимални) контурни граници, чрез „MINEPLAN3D“ за условията на рудник «Елаците»
6. Изследване на чувствителността на взетите решения за разработените варианти на концептуален контур на рудник „Елаците“.

За решаване на поставените задачи са използвани конвенционални и икономически методи, основани на коефициента на откривка: аналитични, графически и икономически; методи, основани на съвременни специализирани минни софтуери: „MinePlan™3D“ и „MinePlanEconomicPlanner“ на „Hexagon Mining“ (HxGN) и Математическо моделиране и сравнителен анализ.

Научна новост

1. Формулирани са теоретичните основи на тенденциите за оптимизиране на крайните граници на открит рудник при разработване на рудни находища
2. Разработена е и е приложен Алгоритъм за търсене на крайни (оптимални) контурни граници чрез „MINEPLAN3D“

Практическа приложимост

Разработени са актуални блокови модели за рудник „Елаците“ и е приложен специализиран софтуерен продукт, съответстващ на съвременните изисквания за стратегическо минно планиране.

Оптимизирани са геометричните параметри на конструкцията на рудник „Елаците“ във връзка с определяне на крайните контурни граници

Развит е и апробиран Алгоритъм за търсене на крайни (оптимални) контурни граници чрез „MINEPLAN3D“ за условията на рудник «Елаците».

Разгледани са перспективните сценарии (по варианти) за удължаване срока на експлоатация на рудник „Елаците“.

Апробация

Резултатите от дисертационната работа са реализирани в условията на рудник „Елаците“ като проектни решения за развитието на минните работи в дългосрочен план.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в четири научни статии, които са в съавторство. Публикациите са представени както следва: Сборник с доклади от XV Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 3-7.06.2019 г. Варна; Сборник с доклади от XVI Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми 6-10.09.2021 г. Варна; Сборник с доклади от 64-та Международна научна конференция – МГУ 22.10.2021 г. София и доклад в списание "Минно дело и геология", Брой: 3-4/2023.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 127 страници, като включва увод, **четири** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 93 литературни източници, като 76 са на латиница и 17 на кирилица. Работата включва общо 37 фигури и 31 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

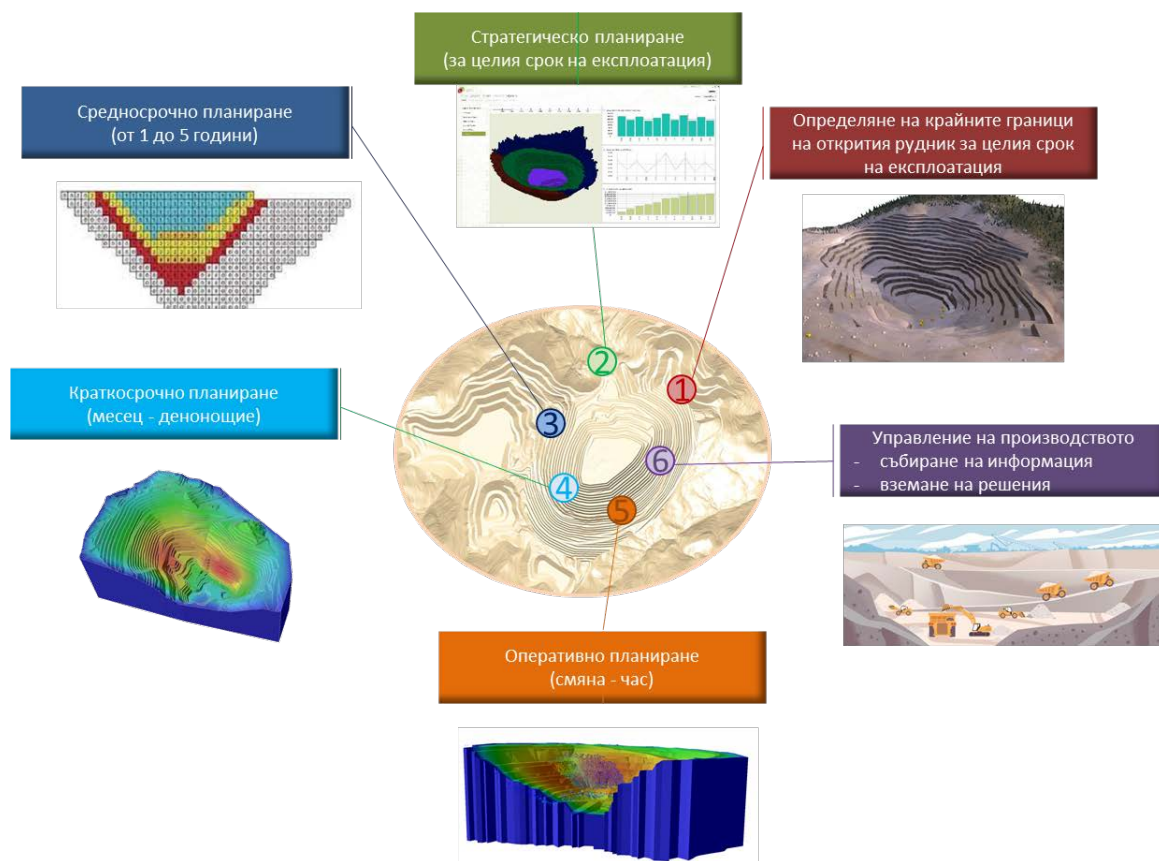
ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОСОБЕНОСТИ ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОТО ПЛАНИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ОТКРИТИ РУДНИЦИ

1.2 Възгледи и аспекти при стратегическото планиране и управление на открити рудници

Основен източник на суровини са минералните ресурси (полезните изкопаеми). Откритото разработване на находища на полезни изкопаеми е най-прогресивната технология на добиване на минерални суровини. Откритите рудници се отнасят към сложните технологични системи и като обект на изследване и управление се характеризират с редица особености, по-важни от които са: непрекъснато териториално развитие на обекти; разсредоточеност и подвижност на основна добивна и транспортна механизация; необходимост от съгласуване на работата на отделните машини и механизми; влияние на контролируеми и неконтролируеми смущаващи въздействия; инертност на основните технологични процеси и т.н.

Погледнато в технологичен аспект, планирането на миннодобивните работи е сложна задача, решението на която в значителна степен е предопределено от степента на достоверност на информацията.

Процесът на планиране на минното производство преминава през определени етапи, представени на фигура 1.1.



Фиг. 1.1 Етапи на планиране и управление на минните работи в открит рудник

Първият етап на планиране на минните работи е обвързан с определяне на крайните граници (размерите в план и дълбочина) на открития рудник. Съгласно теоретичните постановки, границите на открития рудник описват конструкцията на открития рудник, част от която са работните и неработните бордове, с предварително зададена устойчивост на откосите при икономически рентабилни запаси за добив (Бахаева, 2012; Арсентьев, 2009).

Един от подходите за решаване на задачата, свързана с определяне на границите на откритите минни работи е технико-икономическото сравнение на открития с подземния добив на полезни изкопаеми. В минната практика се различават следните методи за намиране на границите на откритите минни работи: метод на средния коефициент на откривка; метод на текущия коефициент на откривка; метод на контурния коефициент на откривка; метод на приведения средно експлоатационен коефициент на откривка; комбинирани методи.

Важно е да се отбележи, че за определяне на границите на открития рудник за разработване на конкретно находище е необходимо да се приложи индивидуален подход като същевременно той може да бъде заимстван и мултиплициран, съгласно инженерно-геоложките условия, конюнктурата на пазара, политическите и геополитическите особености на страната, екологичните изисквания и много други, непосредствено свързани с процесите на проектиране, експлоатация и стратегическо планиране на минните работи.

Вторият етап от планирането на минно-добивните работи е стратегическото планиране.

Думата „стратегия“ произлиза от гръцки (στρατηγία, *stratēgia*) и означава „изкуство на военното ръководство, офис на военен командир, командване и т.н.“ или план на висше ниво, с който да се постигнат една или повече цели при определени условия на несигурност. В основата на стратегическото планиране е разработването или ползването на информационните технологии, които дават възможност за моделиране на всеки елемент от технологичната верига и остойността му, например оптимизиране на минно-добивните работи по време на експлоатация на открития рудник или оптимизиране на последователността на изземване на добивните блокове (Dagdelen, 2001, Dimitrakopoulos, 2011, Hustrulid, 2013). Стратегическото планиране е насочено към:

- поставяне на корпоративни цели, ограничения и критерии за ефективност;
- оптимизация на параметрите на открития рудник;
- детайлно проектиране на открит рудник;
- оптимизация и избор на етапите на отработване на открития рудник;
- стратегическо планиране;
- разпределение на материалите;
- икономическа оценка и анализ.

Очакваните резултати от стратегическото планиране е доказване на икономическата ефективност от разработването на дадено находище чрез гъвкаво управление.

При стратегическото планиране могат да се използват различни икономически методи със специфични критерии. Един от тях е използването на метода на

дисконтираните парични потоци (Discounted Cash Flow - DCF), който дава оценка за активите, генериращи парични потоци. Предимствата на метода се изразяват във възможността за индексиране на стойностите при предпроектните проучвания, условия на поетапно разработване на находищата, в краткосрочен план или за ограничен период от време, например за срока на експлоатация на открития рудник.

Средносрочното и краткосрочното планиране на минните работи включва детайлни модели на открития рудник с местоположението на отделните изработки, добивните и откривните хоризонти, както и план на придвижване на изкопно-товарната и транспортната механизация.

Оперативното планиране предопределя реализацията на дългосрочните цели на минно-добивното предприятие като чрез него се намалява риска и се избягват нежелани отрицателни последици. В този случай краткосрочните цели се трансформират под формата на задачи, което дава възможност да се обвържат потребностите и възможностите за развитие и да се определят перспективите за прилагане на производствените мощности.

Управлението на производството е процес, който може да се разглежда в различни аспекти в зависимост от:

- 1) етапа на разработване на находището:
- 2) обхвата на управление
- 3) вида на технологични процеси
- 4) вида на производствено-стопанската дейност
- 5) от периода на развитие на минно-добивното предприятие

1.2. Определяне на крайните граници на открит рудник

При прегледа на научната литература в исторически план, търсенето на крайните граници чрез конвенционалните методи, било то крайни и/или перспективни се определят чрез граничния коефициент на откривка, където: **„По граничния коефициент на откривка се оценява сравнителната икономическа ефективност на откритото разработване и се намират крайните и перспективните контури на открития рудник, в това число и крайната дълбочина на разработване по открит начин“.**

Главната разлика между конвенционалните методи и съвременните методи разработени на компютърното моделиране, е че в единия случай се търси крайни/перспективни контурни граници спрямо максималната загуба, която може да се допусне след отчитане на разходите за добив (*коефициент на откривка*), а в другия случай, очакваната максимална печалба, която може да се получи след отчитане разходите за добив (*„Lerchs-Grossmann“*).

Важно е да се отбележи, че и двата подхода зависят пряко от допълнителен критерий, а именно **граничното бортово съдържание** на полезното изкопаемо, което респективно идва от конюнктурата на пазара.

Както при геотехническите параметри, така и икономическите параметри имат своята неопределеност и допускания, които следва да се обосновават.

Вземането на решение за крайните граници на открития рудник се обосновава на площното развитие на минните работи (границите на открития рудник в план) и развитие на минните работи при удължаване (в профил, т.е. в дълбочина). Междинните и

крайните контури на открития рудник са взаимнообвързани и са предопределени преди всичко от пространственото положение, формата и размерите на рудните тела, както и от бортовото съдържание на полезен компонент.

По отношение на отводнителните мероприятия, в практиката са познати основно три метода за отвеждане на повърхностните и подземните води извън работната зона на рудника: чрез отводнителна система, включваща помпени инсталации и съоръжения (водосборници, утаители и др.), гравитачно чрез система от вертикални или хоризонтални изработки (каналы, канавки, галерии, шахти и др.) или комбинация от двата метода. Задачата, която се поставя в случая е свързана с избор на икономически изгоден от една страна подход и от друга – прилагане на методи щадящи околната среда.

Друг елемент при проектиране границите на открития рудник е наличието на пространствени ограничения по отношение на площното развитие на минните работи, посоката на удълбаване и не на последно място – изграждане на външни и вътрешни насипища за разполагане на откривката.

За да се избере правилния подход при проектиране или оптимизиране на крайните граници на открития рудник е необходимо да се разгледат конвенционалните методи, които могат да се наричат условно първа група методи, а към втората група методи да се разгледат съвременните софтуери.

Първата група методи са насочени към използване на 2D модели или решаване на равнинната задача, което е наложено от обстоятелството за недостатъчен обем геоложка информация, (а в някои случаи липсва такава), необходима за създаване на триизмерни модели на находището (3D). Най-често тези методи са обвързани с повърхностното проектиране, т.е. разработване на варианти за плана и профилите на рудника при конкретните инженерно-геоложки и топографски условия.

Според (Христов, 2013) размерите на рудника в план и профил са основните параметри, от които зависят обемите на запасите на полезно изкопаемо и откривка, подлежащи на разработване, продължителността на добивните и откривните работи, методът на предварителна подготовка и изземване на полезно изкопаемо и откривката и други.

Важно условие при проектирането на границите на рудника е установяване на дълбочината и контурите на рудника, пространственото положение на най-горния работен хоризонт, дъното и бордовете на рудника (Трубецкой, 2009).

Световната практика показва че, дълбочината и крайните граници на повечето от открити рудници с висока производствена мощност се променят многократно при разработването на находището. Авторът разглежда няколко метода за определяне на крайните граници на открит рудник (Трубецкой, 2009):

- Определяне на крайните граници на открит рудник с отчитане на икономически критерии
- Аналитични методи за определяне на крайните граници на открит рудник

1.4. Графически методи за определяне на крайните граници

• Методи за проектиране на открити рудници с ползвани софтуерни инструменти
Второто направление, при което се работи при проектиране на открити рудници за рудни находища е по съвременните методи, които ползват и 3D пространството, това

е така наречената обемна задача. Към тези методи спадат теория на графите на Lerchs–Grossmann, алгоритмът на Pana, алгоритмът на плаващите конуси, псевдопоток алгоритъм и др. (Abbaspour, 2011; Chatterjee, 2016).

- Оптимизационни методи при проектиране на крайните граници на открити рудници

В публикацията „Определяне на крайните граници на открити рудници чрез теория на графите“, авторът сравнява теория на графите (триизмерен метод на Lerchs-Grossman) и псевдопоток алгоритъма (един от последните разработени методи при определяне на оптималните крайни граници на открит рудник) и обосновава подхода си да избере тези методи пред други често използвани методи като ръчният метод на Koskinimi (1979), методът на линейното програмиране на (Meyer, 1969), методът на плаващия конус (Pana, 1960. Lisout, 1988), Генетичния логаритъм (Denby B. и Schofield, 1994. Thomas, 1996) и динамичното програмиране (двумерно на Lerchs-Grossmann 1965). Авторът доказва, че двата метода дават идентични резултати, но при псевдопоток алгоритъма резултатите са изчислени 65 пъти по бързо, което дава предимство при изчисляването на крайните граници при по големи открити рудници. (Abbaspour, 2011)

Julian Poniewierski също сравнява предимствата на псевдопоток алгоритъма спрямо теория на графите на Lerchs-Grossman, в статията си (Pseudoflow Explained) за един от водещите минни софтуери Deswik (Poniewierski, 2020). Там авторът също разглежда развитието на някои от най използваните методи и дава пример за това колко по бързо може да се изчислят оптималните крайни граници на открит рудник чрез използването на псевдопоток алгоритъма, като резултатите са идентични. Авторът също така подчертава, че не съществува алгоритъм който би дал правилното решение при оптимизиране на крайните граници на рудника, тъй като се използват голям приблизителни. Авторът подчертава, че не вземат предвид точността на наклона, разликата в количеството руда при проектирането на рудника и при разработването на рудника (която обикновено е около 5%), ефекта на минималната ширина на дъното на открития рудник, ефекта от баластреното насипище и други (Akbari Dehkharghani, July 2008).

В друга статия „Определяне на крайните граници на открити рудници, като се използва подход с реални опции“ (Akbari Dehkharghani, July 2008) авторите изследват икономическите параметри при определяне на крайните граници и разглеждат проблемите, които възникват от несигурността при промените в цените на полезното изкопаемо. Метода, който разглеждат дава възможност за определяне на оптималните крайни граници на открит рудник в различен период време, като по този начин намаляват риска от непрекъснатите промени на цените на полезните изкопаеми. Методът е заимстван от нефтената индустрия, като за пръв път е въведен в подобна форма от 1930 г.

В публикацията „директно блоково планиране: анализ на ненаситност“ (Felipe Ribeiro Souza, 2018) се сравнява директното блоково планиране с методът на Lerchs-Grossmann. Този метод представлява доусъвършенстван метод на основите на теория на графите. При него за да се определи най – добрия целеви период всеки блок е оценен индивидуално, той също позволява прилагането на адекватен сконтов процент и достига по високи стойности в първите години на добив.

- Методи при проектиране на крайните граници на открити рудници въз основа на бортовото съдържание

В исторически план най-известния алгоритъм за оптимизирането на бортовото съдържание е разработен и представен още през 1964 г. от К. F. Lane, 1964 г. /Лейн, 1964/ – „Choosing the Optimum Cut-off Grade“ (Lane, 1964).

Подхода, който предлага Лейн (1964) е разходите за трите етапа да се разглеждат, като отделни, тъй като от тях зависят пряко печалбите.

Лейн определя оптималното бортово съдържание на полезен компонент и по три критерия за печалба, съобразявайки се със стратегията на инвеститора, както следва:

- критерии №1 – Maximum Net Present Value (Maximum NPV) /максимизиране на нетната осъвременена стойност/;

- критерии №2 – Maximum total profits (MTP) /максимална обща печалба/;

- критерии №3 – Maximum immediate profit (MIP) /максимална непосредствена печалба/.

От прегледа на алгоритъма предложен от Лейн, може да се направи заключение, че за определяне на оптималното бортово съдържание съществуват три групи параметри, съгласно критерии, обособени в три раздела:

- Раздел №1 – икономически – разходи за добив, преработка и рафиниране, респективно и приходи от реализиран метал;

- Раздел №2 – технологични – производствена мощност и капацитет на рудодобивния комплекс, обогатителния комплекс и рафинерията.

- Раздел №3 – стратегико-икономически – максимизиране на нетната осъвременена стойност, максимална обща печалба и максимална непосредствена печалба.

Предимствата на този подход, е че може да бъде интегриран и реализиран при използването на модула MinePlanEconomicPlanner (MPEP) за търсене на крайни/оптимални контурни граници, част от специализирания минен софтуер на Hexagon, MinePlan™3D.

1.5. Актуалност на въпроса, свързан с разработването и развитието на рудник „Елаците“

Един от основните проблеми, който „скрито“ е залегал в научно-изследователската работа е експлоатацията и развитието на минните работи в рудник „Елаците“. Същият се експлоатира вече четири десетилетия и неговият срок е удължаван вече няколко пъти, като контурите, включително и последния контур до 2031 г. са развити в зоните, в които рудното тяло се разкрива при минимална дебелина на откривката, респ. участъците с най-високи съдържания на основния полезен компонент Си (мед) вече са иззети или са в зони с голямо количество откривка над тях. Това води до значително надвишаване стойността на граничния коефициент на откривка за условията на рудник „Елаците“, съгласно приетата технология за отработване.

Едно от алтернативните решения за увеличаване срока на експлоатация на рудник „Елаците“ е разширяване границите, които да бъдат насочени в зони, в които контурният коефициент на откривка се очаква да е по-висок, спрямо предходните проекти и не на последно място се очаква намаляване на съдържанията на основния полезен компонент, като средно съдържание за контура.

Съгласно стратегията на настоящия концесионер и ръководството на рудник „Елаците“ е недопустимо проектирането на добив в дълбочина, преди осигуряване на гравитачно отводняване под кота 855 m, което респективно е свързано с големи капиталовложения, но съвпада със стратегията за устойчиво развитие на управлявания обект с отговорност към хората, флората и фауната на чиято територията се развива дейността.

Въз основа на изследванията и анализите на състоянието на минно-добивните работи в рудник „Елаците“ и перспективното му развитие, са установени следните проблеми за решаване във връзка с основната задача за удължаване на срока на експлоатация на рудника след 13.08.2031 г. с минимум 10 /десет/ години, а именно до 13.08.2041 г., както следва:

- оконтуряване на запас от икономически изгодни руди за добив и преработка през следващия перспективен период от 10 /десет/ години = на 160 млн. t по задание, отговарящо на настоящата годишна мощност на рудника по добив на руда и на обогатителния комплекс по преработката ѝ;

- намиране на оптимална кота за дъно на рудника по икономически, технологични и екологични критерии.

На база горното може да се счете, че задачата залегнала в дисертационния труд е още по-сложна, тъй като всички съвременни програми и методи са насочени към търсенето на оптимални контурни граници, чрез които се максимизира печалбата в резултат на баланса за пространственото разпределение между рудата и открива.

Целта на дисертационния труд е да се разгледат задълбочено методите, които се прилагат при търсене на крайни (оптимални) контурни граници на концептуално ниво, чрез съвременните специализирани софтуерни продукти в частта на стратегическото минно планиране условията на рудник „Елаците“.

Във връзка с реализацията на поставената цел е формулирана темата на дисертационния труд: **„Анализ и разработване на стратегически варианти за развитие на рудник „Елаците““**.

За постигането на поставената цел е необходимо да се решат следните по-важни задачи:

1. Изследване и анализ на теоретичните, аналитичните и графо-аналитичните методи за търсене на концептуални контурни граници на открити рудници

2. Обосноваване на приложими методи и специализирани софтуерни продукти за решаване на задачата за търсене на „оптимални“ контурни граници на концептуално ниво

3. Разработване на модели за търсене на „оптимални“ контурни граници на открит рудник на концептуално ниво

4. Обосноваване на икономически критерии за търсене на крайни оптимални конурни граници на рудник «Елаците»

5. Разработване на алгоритъм за търсене на крайни (оптимални) контурни граници, чрез „MINEPLAN3D“ за условията на рудник «Елаците»

6. Изследване на чувствителността на взетите решения за разработените варианти на концептуален контур на рудник „Елаците“.

За решаването на поставените задачи при разработване на темата: „Анализ и разработване на стратегически варианти за развитие на рудник „Елаците““ ще бъдат използвани следните методи:

1. Конвенционални и икономически методи, основани на коефициента на откривка: аналитични, графически и икономически;
2. Методи, основани на съвременни специализирани минни софтуери: „MinePlan™3D“ и „MinePlanEconomicPlanner“ на „Hexagon Mining“ (HxGN);
3. Математическо моделиране и сравнителен анализ.

ГЛАВА 2. ПРИЛОЖИМИ МЕТОДИ И МОДЕЛИ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ КОНТУРНИТЕ ГРАНИЦИ НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“ НА КОНЦЕПТУАЛНО НИВО

2.1. Основни характеристики на обекта на изследване

Обект на изследването са концептуалните перспективни контурни граници за рудник „Елаците“ към 13.08.2041 г. В таблица 2.1 са представени данните за моделите, параметрите и ограниченията, които са необходими за търсене, анализ и оценка на оптимизационните варианти за развитието на минните работи в рудник „Елаците“.

Таблица 2.1

№	Модели, параметри, ограничения	Мярка	Количество	Забележка
1	Модели	-	-	-
1.1.	Блоков модел 2020 (BM'20) по Cu и Au	-	-	С информацията от всички геолого-проучвателни сондажи до 2000 г. (включително)
1.2.	Лито-тектонски модел обновен с информацията към 202 година	-	-	Поделен на геотехнически домейни
1.3.	Начална повърхнина за търсене на крайни контурни граници към 13.08.2041 г. – проектно положение към 13.08.2031 г.			Използва се за търсене и проектиране при оконтуряване на 160 млн. труда за следващия десетгодишен период, спрямо определено бортово съдържание
2	Параметри	-	-	-
2.1	Цена за Cu (\$/t) и Au (\$/t) чрез, която да се определи бортовото съдържание на Cu на база заложените икономически показатели	\$/t/\$Oz	6000/1500	Цена на Cu и Au за определяне на бортово съдържание, при което да бъдат оконтурени необходимите запаси от 160 млн. труда
-	Оценка на рентабилността на получените концептуални/проектни и контурни граници – БАЗОВА прогнозна цена за Cu/Au	\$/t/\$Oz	8000/1700	Базисна цена за определяне на икономическата рентабилност при запас 160 млн. т руда, спрямо определеното бортово съдържание по Cu
-	Оценка на рентабилността на	\$/t/\$Oz	9000/1800	Оптимистична цена за

№	Модели, параметри, ограничения	Мярка	Количество	Забележка
	получените концептуални/проектни и контурни граници – ОПТИМИСТИЧНА прогнозна цена за Cu/Au			определяне на икономическата рентабилност при запас 160 млн.t руда, спрямо определеното бортово съдържание по Cu
-	Оценка на рентабилността на получените концептуални/проектни и контурни граници – ПЕСИМИСТИЧНА прогнозна цена за Cu/Au	\$/t\$/Oz	7000/1600	Песимистична цена за определяне на икономическата рентабилност при запас 160 млн.t руда, спрямо определеното бортово съдържание по Cu
-	Определяне цената на Cu="Break Point" (Cu=????\$/t и Au=1300\$/Oz)	\$/t\$/Oz	????/1300	Определяне цената на Cu, при която се губи рентабилността на проект (приходите са равни на разходите)
2.2	Извличане на Cu и Au (гр./шис.)	%/%	91.5/90.0/(70)	Cu/ Au (базирано на постигнатите резултати в Обогатителния комплекс на „Елаците-мед“ АД
2.3	Икономически показатели (приходи, спрямо цената на Cu и Au с извадени разходи в Рудодобивен, Обогатителен и Рафинационен комплекс)	-	-	Отразяват постигнатите в предприятието през последните 5 (пет) години в едно с анализ и оценка за прогнозните бъдещи икономически показатели
2.4	Варианти на бортовото съдържание по основното полезно изкопаемо (Cu)	-	-	При търсене на перспективен контур към 13.08.2041 г.
-	Определяне на бортовото съдържание на Cu, съгласно икономическите параметри (цена за Cu=6000 \$/t и цена Au=1500 \$/Oz)	гр./шис.,%	0,???/0,???%	Определяне на бортовото съдържание на Cu спрямо оставащите ресурси в находището след 13.08.2031 г.
2.5	Геотехнически параметри			-
3	Ограничения			Спрямо литоложките разновидности разкрити в лицето на откоса на концептуалните (проектни) граници към 13.08.2031 г.
3.1	При търсене/проектиране на перспективни контурни граници се използват ресурсите от категории – measured [211] и indicated [221+222]	-	-	Ресурсите от категория inferred са отнесени към откривка
3.2	Оконтуряване на руда за обезпечаване на десет	Млн.t	160	Десет годишен период от 13.08.2031 – 13.08.2041 г.

№	Модели, параметри, ограничения	Мярка	Количество	Забележка
	годишен период на работа (годишна производителност по руда – 16 млн.t/A)			
3.3	Запазване на тунела, поместващ магистралната гумено-транспортна лента (МГТЛ)	-	-	До 13.08.2041 г. същия следва да запази своята функция за транспорт на първично натрошената руда от РК до ОК
3.4	Премахване на КЕТ-3	-	-	Отработване на обемите под КЕТ-3, блокирани в настоящия контур
3.5	Дъно на рудника	кота	Котата на дъното на рудника следва да се определи при изготвяне на задачата (по икономически и технологични критерии)

Поради конфиденциалността на ползваната информация за рудник „Елаците“, в някои случаи стойностите на ползваните данни са заменени като абсолютни стойности, а в други случаи като процентни, но е важно да се отбележи, че изследванията и анализите адекватно отразяват отклоненията между реално получените стойности при изготвяне на разработката.

2.2. Приложими модели при търсене на контурни граници

Обосноваването на приложими модели за търсене на контурни граници на рудник „Елаците“ до висока степен зависи от възможностите на използвания специализиран софтуерен продукт. За конкретните изследвания се ползва „MinePlan™3D“, софтуерен продукт на „Hexagon Mining“ (HxGN).

Основния модул, който се прилага при разработване на научно-изследователската тема се базира на икономическото планиране на „MinePlan™3D“, „MinePlanEconomicPlanner“.

2.2.1 Модел на началната повърхнина за търсене и оконтуряване на запас от 160 млн. t руда

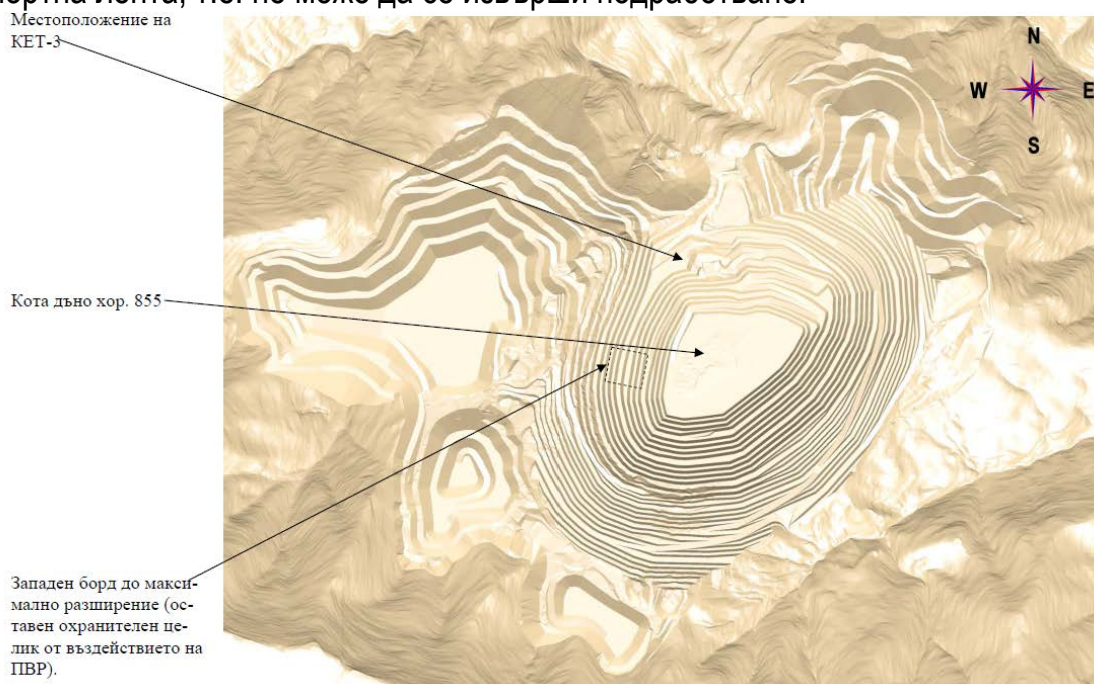
Моделът на повърхнината представлява проектното положение на рудник „Елаците“ към 13.08.2031 г., отразяващ минно-добивните и насипищните участъци.

Проектната кота за дъно на рудника е хоризонт 855 m, чрез което се запазва гравитачното отводняване на издетото пространство (котлована) до края на настоящия концесионен срок.

Друг важен момент за проектното положение, е че към края на концесионния срок не се подработват обемите под корпуса за едро трошене (КЕТ-3), разположен в северния борд на котлована. Основната причина е заложената стратегия за устойчиво развитие на рудник „Елаците“, която може да се разгледа в следните направления:

- погасяване на обемите от руда под него до 13.08.2031 г., при условие, че не е установен или доказан вариант за удължаване на срока на експлоатация на рудника, същите да бъдат иззети при коефициент на откривка около 0,2 t/t;

- запазване на обемите под корпуса за едро трошене, които да са част от обемите на бъдещия перспективен контур след 13.08.2031 г., като за същите условия е да се отработят след построяването на КЕТ-4 и въвеждането му в експлоатация;
- освен това, проектното положение в условно наречената „централна част“ на западния борд е достигнала крайното разширяване на границите на рудника. В случая не съществува възможност за допълнително уширяване, поради необходимостта от запазване на подземната изработка, в която е поместена магистралната гумено-транспортна лента, т.е. не може да се извърши подработване.

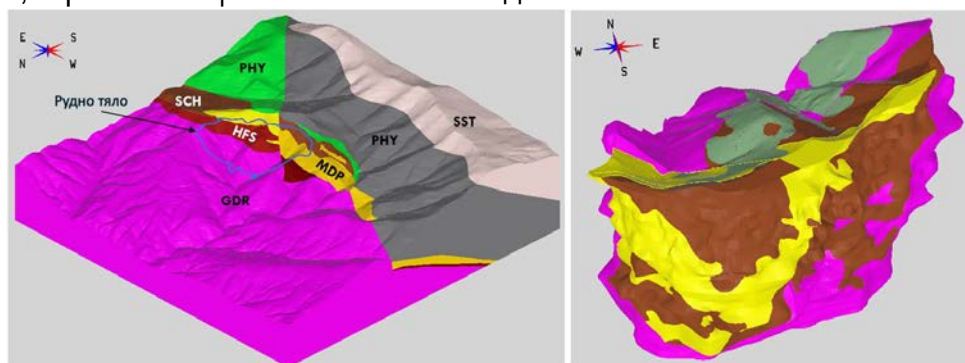


Фиг.2.1 Модел на началната повърхнина за търсене и оконтуряване на запас от 160 млн. t руда

2.2.2 Ресурсен блоков модел 2020 г. (BM'20)

Ресурсният блоков модел е създаден въз основа на данните от геолого-проучвателните сондажи, извършени до края на 2020 г. от началото на геолого-проучвателните работи за находище „Елаците“.

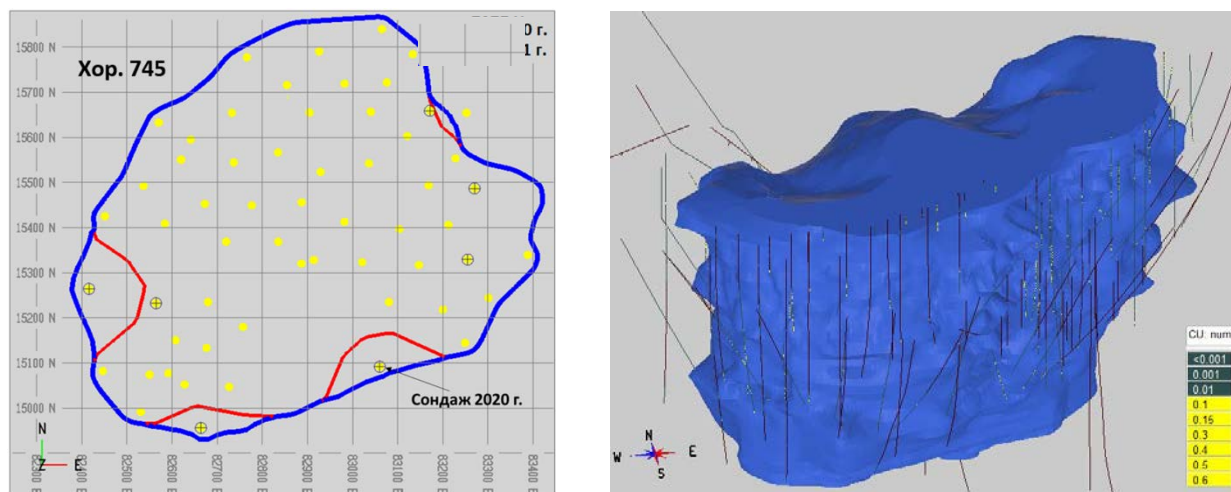
Съгласно възприетия подход за създаване на блоковия модел се построява геоложки модел (Фиг.2.2) на находището, посредством конструктивни (гранични) повърхнини между отделните лотоложки разновидности, след което се въвеждат повърхнини, ограничаващи лито-тектонските домейни.



Фиг.2.2 : Геоложки модел на находище „Елаците“ поделен на лито-тектонски домейни – вляво (тримерен изглед на цялостния геоложки модел), вдясно (тримерен изглед на геоложкия модел в рамките на рудното тяло).

Данните от геолого-проучвателните сондажи, в частност единичните проби са осреднени в 15 /петнадесет/ метрови композитни интервали, като са отчетени границите между литоложките типове скали.

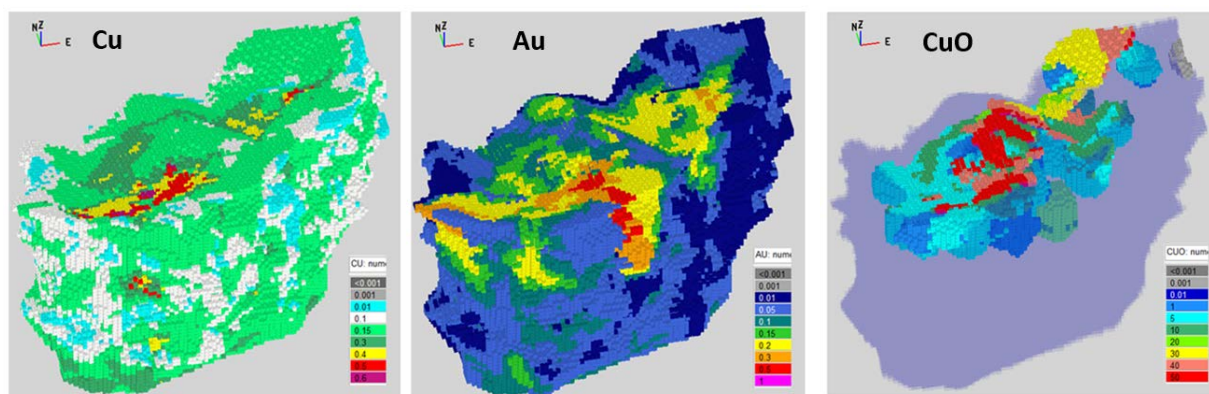
На фигура 2.3 е показан триизмерен изглед и хоризонтен план на моделираното рудно тяло по съдържанията на основното полезно изкопаемо (Cu), в едно с геолого-проучвателните сондажи.



Фиг. 2.3: Минерализирана обвивка, моделирана по Cu – вляво (хоризонтално сечение на минерализираната обвивка на кота 745 и нейното разширение на база последните геолого-проучвателни сондажи от 2020 г.), вдясно (тримерен изглед на минерализираната обвивака).

Моделираните геоложки тела, поделени на лито-тектонски домейни се пресичат с минерализираната обвивка (моделирана по 0,100%, Cu), като по този начин същите биват разделени на рудна и условно приета стерилна част (съдържания под 0,100%, Cu), в зависимост от това дали попада вътре или извън изоповърхността (вж. фиг.2.1).

Изграждането на блоковия модел се извършва, чрез интерполация на композитните съдържания, по метода на ординарния кригинг в границите на минерализираната изо-повърхност.



Фиг.2.4 : Триизмерен изглед на блоковия модел на находище „Елаците“, оцветен по съдържания на : вляво (мед), в средата (злато) и вдясно (меден окис).

2.3. Оптимизиране на геометричните параметри на конструкцията на рудник „Елаците“ във връзка с определяне на крайните контурни граници

2.3.1. Геотехнически параметри

Оптимизирането на геометричните параметри на конструкцията на рудник „Елаците“ може да се извърши въз основа на разработена методика за определяне на оптималната конфигурация на открития рудник в контекста на безопасността и възвръщаемостта на инвестицията, след отчитане на резерв от предварително изчислен коефициент на устойчивост. Поради естествената вариация на този резерв е изследвана и вероятността от загуба на устойчивост.

Приети са стойности за коефициент на устойчивост при следните условия:

- водонаситени откоси с ниски последиствия при разрушаването, коефициент на устойчивост е приет да е равен или да бъде над 1,10, с вероятност коефициентът да бъде под 1-ца до 15-20%, при допускането, че всяко разрушение възникнало в района на единична площадка до цялостен откос, трябва да бъде управляемо. Това налага необходимостта от оптимизиране на ъгъла на откосите.

Процесът по оптимизиране на ъгъла на откоса започва с изграждане на модел, съдържащ геометричната информация за лито-тектонските домейни. Информацията, която се придава на всеки отделен лито-тектонски домейн е базиран на данните получени при теренни и лабораторни геотехнически изследвания, изразяващи механичното поведение на скалния масив. Теренните данни в модела се характеризират с вида и състоянието на напукаността, изразявайки се чрез коефициента за геоложка якост – GSI, а чрез лабораторните данни се установяват якостта и деформационните свойства на скалите (скални образци, изследвани по опън, едноосов и триосов натиск). Техногенното влияние върху масива от взривните и изкопно-товарни работи се оценява с параметърът D.

С описаните по-горе параметри, по методиката на Hoek-Brown се изчисляват якостните и деформационни свойства на скалния масив. Като най-често използваните критерии за разрушаване са на Hoek-Brown и Mohr-Coulomb. Скалният масив е приет за еласто-пластичен с еднакви върхови и остатъчни якостни свойства.

От практиката в находище „Елаците“, най-често механизмите на разрушаване за условно наречените „здрави“ и „средно здрави“ скали са структурно контролирани, докато при „слабите“ скали, якостта на скалния масив е от решаващо значение, където същата може да контролира устойчивостта в мащаб от единична площадка до цялостен откос.

Отчита се също влиянието на подземните води, които допринасят допълнително за намаляването на устойчивостта, а в някои случаи водят до пълната ѝ загуба. Тяхното въздействие е отразено при стабилитетните изчисления, чрез използване на дълбочина на водното ниво и различни разпределения на поровите налягания под него (с хидростатично или различно разпределение на наляганията).

Извършени са предварителни стабилитетни изчисления за оптимизиране и определяне на ъглите по лито-тектонски домейни, както в сухо, така и във водонаситено състояние на масива. Въз основа на тях са приети параметри, гарантиращи устойчивостта на съоръжението при неотводнени откоси за определяне на крайните граници на рудник „Елаците“.

2.3.2. Методика за определяне на ъглите на бордовете на рудник „Елаците“ по лито-тектонски домейни за търсене на концептуалните контурни граници

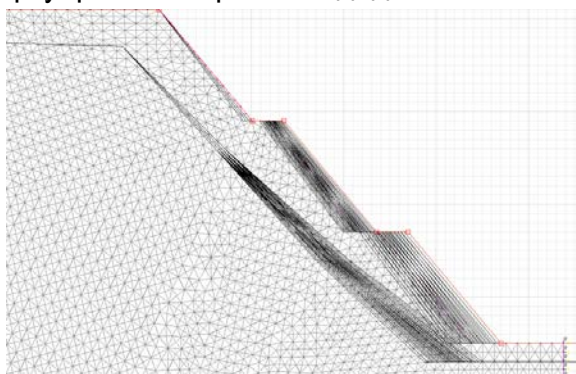
Ъглите на бордовете на рудник „Елаците“, заложен в специализирания софтуер при търсене на концептуалните контурни граници (*ъгъл на борда по лито-тектонски домейн*) и параметрите за проектиране на контурните граници (*конструкция на борда, спрямо „генералния“ ъгъл на борда по лито-тектонски домейн*), са представени в таблица 2.3.

Таблица 2.3

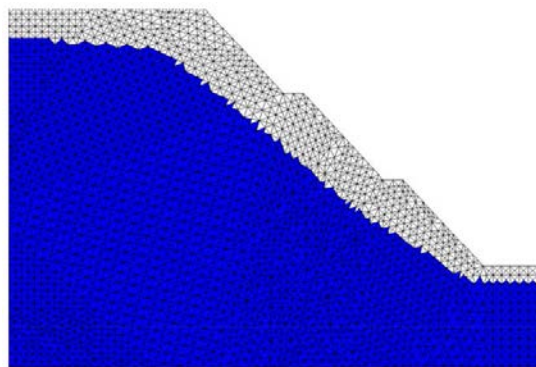
Геотехнически параметри използвани при търсене на контурните граници и параметри за конструкцията на борда									
Литоложка разновидност	Атрибутивен код в блоковия модел		Бордови ъгли	Параметри за конструкцията на борда при проектиране, спрямо заложените ъгли по лито-тектонски домейн					
	Домейн	Код в атрибута "SLOPE"		Ъгъл на борда по лито-тектонски домейн, °	Вертикално разстояние между две предпазни площадки, m	Ширина на предпазната площадка, m	Височина на стъпалата, m	Ъгъл на откоса в стъпалата, °	Ширина на неработната площадка, m
Гранодиорити (GDR)	101	1	48.6	120	20	30	65	10	25
	102	2	47.8	120	20	30	65	11	25
	103	3	47.8	120	20	30	65	11	25
	104	4	47.8	120	20	30	65	11	25
Хорнфелзи (HFS)	111	5	47	120	20	30	65	12	25
	112	6	47	120	20	30	65	12	25
	113	7	47	120	20	30	65	12	25
	114	8	47	120	20	30	65	12	25
	115	9	47	120	20	30	65	12	25
	116	10	47	120	20	30	65	12	25
Монцодиор. Порфитити (MDP)	121	11	47	120	20	30	65	12	25
	122	12	47	120	20	30	65	12	25
	123	13	47	120	20	30	65	12	25
	124	14	47	120	20	30	65	12	25
	125	15	47	120	20	30	65	12	25
Шисти (SCH)	201	16	38.8	120	20	15	65	10.5	25
	202	17	42.5	120	25	30	65	15	25
	203	18	43.8	120	24	30	65	15	25
	204	19	37	60	20	15	65	10.5	25
	205	20	37	60	20	15	65	10.5	25
Филити (PHY)	211	21	30	60	26	15	55	12	25
	213	22	30	60	26	15	55	12	25
	214	23	30	60	26	15	55	12	25
Подработване на стар насип	-	24	28	60	26	15	55	15	25

Оптимизацията на геотехническите параметри е извършена при разглеждане на различни конфигурации за ъгъла на борда за всеки отделен лито-тектонски домейн, спрямо очакваната му мощност към концептуално положение на контура, чрез промяна на широчината на предпазните площадки, съобразени с максимално допустимия ъгъл на борда по технологични причини, осигуряващ безопасната работа за работния персонал и изкопно-товарната и транспортна механизация.

На фигура 2.6 са показани графики на построен профил след прилагане на софтуерния алгоритъм в даден лито-тектонски домейн.



Фиг.2.6



Фиг.2.7

Алгоритмът е представен, чрез пример за лито-тектонски домейн „101“ (GDR), където:

- изследваната конфигурация е от 6 взаимодействащи предпазни площадки с вертикално разстояние между тях 120 m или височината на изследвания борд е 720 m (отговарящ на концептуалния източен борд, където се очаква височината му в изследвания лито-тектонски домейн да бъде близка по стойност на изследваната);

- изследване на устойчивостта при отводнен откос;
- изследване на устойчивостта при не отводнен откос;

От получените резултати за коефициента на устойчивост при „сухо“ състояние на масива (отводнен откос) се установява, че коефициентът на устойчивост е приблизително равен на 1,90 при откос от 720 m с разположени 6 броя предпазни площадки през 120 m.

Получените резултати за коефициента на устойчивост при „водонапито“ състояние на масива (не отводнен откос) показват, че коефициентът на устойчивост е приблизително равен на 1,61 при откос от 720 m с разположени 6 броя предпазни площадки през 120 m.

От направените изследвания във връзка с оптимизацията на ъгъла на борда на рудник „Елаците“ в лито-тектонски домейн „101“, могат да се направят следните изводи:

- извършени са итерации при сухо състояние на масива (отводнен откос) при широчина на предпазната площадка до 20 m, тъй като с увеличаването ѝ коефициентът на устойчивост също нараства;

- съпоставителният анализ на коефициентите на устойчивост, съответстващи на изследвания при сухо и водонапито състояние на масива (отводнен и не отводнен откос) показва, че отводняването на откоса би довело до повишаване на същия с 18%, спрямо приетите параметри на борда на рудника.

2.3.2 Икономически показатели за търсене на оптимални крайни граници

В практиката са приети два основни подхода за определяне на икономическите показатели, които се вземат под внимание в софтуерните продукти (Huttagosol, 1992, Kapageridis, 2005) :

- **Основен подход №1** – най-често се използва за нови находища или в случаите на преустановени минно-добивни работи, т.е. за находища, които към настоящия момент не са обект на разработване.

- **Основен подход №2** – използва се при находища, които са обект на разработване и рудниците са въведени в експлоатация, например рудник „Елаците“, който е обект на изследване. Входната информация за икономическите показатели се основава на:

○ Задълбочен анализ на постигнатите икономически показатели за предходни периоди, имащ за цел:

▪ Детайлно изследване и ретроспектърски анализ на технологичните процеси, с отчетени разходи за добив в Рудодобивния комплекс (по вид материал – руда, откривка и минна маса), както и отчетените разходи за преработка на полезното изкопаемо в Обогатителния комплекс. Включените разходи за добив и преработка са отнесени към \$/t – руда, откривка и минна маса (табл. 2.7).

▪ Детайлно изследване на разходите за рафиниране, концесионни такси, административни и търговски такси и т.н. (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Разходи по отделните операции определящи крайните разходи, които се залагат в модула „MinePlanEconomicPlanner“, част от „MinePlan™3D“.

Видове разходи	Мерна единица	Руда	Откривка	Минна маса
Разходи за добив		%	%	%
Сондажни работи	\$/t	11%	11%	11%
Взривни работи	\$/t	11%	11%	11%
Багерни работи	\$/t	11%	11%	11%
Транспортни работи	\$/t	11%	11%	11%
Пътно-строителни работи	\$/t	11%	11%	11%
Ремонтни звена	\$/t	11%	11%	11%
Спомагателни разходи за производство	\$/t	11%	11%	11%
Обслужващи звена, Разходи за екология	\$/t	11%	11%	11%
Управление РК	\$/t	11%	11%	11%
Общо	\$/t	100%	100%	100%
Разходи за преработка		%		
Едро трошене	\$/t	11%		
Транспорт на руда РК->ОК	\$/t	11%		
Трошене	\$/t	11%		
Смилане	\$/t	11%		
Молибденов цех	\$/t	11%		
Хвостохранилище	\$/t	11%		
Спомагателни разходи за производство	\$/t	11%		

Видове разходи	Мерна единица	Руда	Откривка	Минна маса
Обслужващи звена, Разходи за екология	\$/t	11%		
Управление ОК	\$/t	11%		
Общо	\$/t	100%		
Извлеканост за мед	%	...%		
Извлек. за мед (смесени)	%	...%		
Платима мед	% (from conc)	конфиден.		
Извлеканост на злато	%	...%		
Платимо злато	% (from conc)	конфиден.		
Административни и търговски разходи	\$/t	конфиденциалност		
Такса за преработка на концентрата	\$/t	конфиден.		
Такса за рафиниране	Cu (\$ per Lb)	конфиден.		
	Au (\$ per Oz)	конфиден.		
Разходи по транспорт на концентрата	\$/t concentrate	конфиден.		
Концесионна такса	Cu: \$/t Metal-mined	конфиден.		
	Au: \$/g Metal-mined	конфиден.		
Дисконтов процент	%	0% / 10%		
CAPEX	\$/t	конфиден.		
Амортизация (Общо)	\$/t	конфиден.		
Прогнозна цена на мед	\$/t	прог. - пес./реал./опт.		
Прогнозна цена на злато	\$/Oz	прог. - пес./реал./опт.		
Прогнозен курс	BGN / USD - лв. / \$	1,6		

Въз основа на цитираните по-горе данни за всеки технологичен процес е извършен детайлен анализ, в който е включена индексация за годишната инфлация за предходни периоди и прогнозна оценка за бъдещи периоди.

2.3.3 Акцент върху определяне на разходите за добив в рудодобивен комплекс

Специализираният софтуерен продукт *MinePlanEconomicPlanner* дава възможност за конструиране на различни варианти в зависимост от начина на отчитане на разходите. В случая са предложени два варианта за търсене на краен оптимален контур на рудника, въз основа на параметъра „Разходи за добив“, както следва:

- **Вариант №1** – разходи за добив (за руда и откривка), в които да бъдат включени средните транспортни разходи, \$/t (представени в табл. 2.7, като част от разходите за добив – „Транспортни работи“ = 11% от общите „Разходи за добив“ = 100%);

- **Вариант №2** – разходи за добив (за руда и откривка), в които не са включени средните транспортни разходи (представени в табл. 2.7, като част от разходите за добив – „Транспортни работи“ = 11% или при този подход разходите за добив ще са равни на

89% от общите, които следва да се въведат в модула „MinePlanEconomicPlanner“ на „MinePlan3D“).

2.3.4. Изчисляване на икономическите показатели посредством модула „MinePlanEconomicPlanner“ на софтуера „MinePlan™3D“

Данните за икономическите показатели, необходими при определяне на бортовото съдържание на мед (Cu), както и за анализа и оценката при търсене на оптимални крайни граници са съобразени с:

- фактическите стойности, реализирани през последните 5 години (в разходната част за рудодобивен, обогатителен и рафинационен комплекс);
- прогнозираните стойности получени от анализа за бъдещ период от време в зависимост от изменението на цените на металите на „Лондонската стокова борса“ (Cu и Au), изменение на разходите по основните енергийни ресурси и т.н.;
- изключване на транспортните разходи от разходите за добив с цел извършване на анализ на чувствителността на транспортните разходи в рудодобивния комплекс като отделно перо.

Определянето на транспортните разходи е базиран на следния подход.

За всеки отделен хоризонт се диференцират рудните и респективно откривните зони, като се изчисляват средните транспортни разстояния за извозване на рудата и откривката, както следва:

- за рудата до трошачния комплекс;
- за откривката до геометричния център на насипището, както по площ, така и по височина (предварителен проект за насипището и експертна оценка на разстоянията).

Финансовите параметри, които се залагат в „MinePlanEconomicPlanner“ са представени в таблица 2.8. Същите са обобщените от предходната таблица (Табл. 2.7).

Таблица 2.8

Икономически параметри за въвеждане в MinePlanEconomicPlanner								
Параметър	Мерна единица	Сулфидна Руда		Смесена Руда		Вътрешен стерил	Външен стерил	Насипище
		Cu	Au	Cu	Au			
Пазарна цена	US\$/t ; US\$/Oz	6,000	1,500	6,000	1,500	-	-	-
Платима	(%)/(gr.)	конф.	конф.	конф.	конф.	Въвежда се цената на металите на LME		
Платима цена	US\$/t ; US\$/Oz	конф.	конф.	конф.	конф.	Отчита се платимия метал в концентрата		
Разходи за преработка в рафинерията	US\$/t	конф.	конф.	конф.	конф.	Платима цена след отбив от платимия метал		
Разходи за рафиниране	US\$/t	конф.	конф.	конф.	конф.	Важно е всички разходи по концентрата, да бъдат приравнени към \$/t metal.		
Транспортни разходи от ОК до рафинерията	US\$/t conc.	конф.	конф.	конф.	конф.			
Административни и търговски разходи	US\$/t	конф.	конф.	конф.	конф.			
Такса за концентрата в рафинерията	US\$/t ; US\$/Oz	конф.	конф.	конф.	конф.			
Крайна цена (- горните разходите)	US\$/t ; US\$/Oz	конф.	конф.	конф.	конф.	Крайна платима цена след изваждане на разходите по рафиниране		
Крайна цена , която се залага в МРЕП	US\$/lb; US\$/Oz	конф.	конф.	конф.	конф.	Превърната от \$/t в \$/lb. (крайна платима цена)		
Извличане	(%)	91,5	70	90	70	Извличане на метала в обогатителния компл.		
Разходи за преработка	U\$/t	100%		100%		↓ без ТР ↓	↓ без ТР ↓	↓ без ТР и ВР и СР ↓
Разходи за добив в РК (без транспорт)	U\$/t	89%		89%		89%	89%	67%
Обемно тегло	g/cm ³	2,62 / 2,71		2,6/2,7		2,62 / 2,71	2,62 / 2,71	2,17
Коефициент за превръщане в MinePlanEconomicPlanner		22,0462		0.03215	1t = 2204,62 lb; 1g = 0,03215 Oz			

2.3.5. Изчисляване на транспортните разходи в зависимост от изменението на транспортните разстояния по хоризонти

Използвана е методика за търсене на оптимален контур за добив, където разходите за транспорт в рудодобивния комплекс са диференцирани по отношение на разходите за добив (в рудодобивния комплекс) и са въведени като променливи разходи по хоризонти, спрямо прогнозно изчислените средни транспортни разстояния до добивните и откривните забои.

За апробиране на предложения подход се разглеждат два варианта, които отразяват общите разходи за добив (с и без транспортни разходи отнесени към общите):

1-ви вариант – въвеждане на средно транспортно разстояние и респективно отчитане на транспортните разходи към общите разходи за добив.

2-ри вариант – въвеждане на средно транспортно разстояние, като транспортните разходи са изведени като отделен елемент в модела, изключени от общите разходи за добив.

При първи вариант съществува риск от некоректно изчисляване на разходите за изземване на добивен или откривен блок в модела. Доказателство за това са получените резултати от изчислителния алгоритъм на програмата MinePlan3D (с/без вариращи разходи), представен като пример при определяне стойността на откривния блок:

- *Определяне стойността на откривния блок без вариращи разходи;*

$$MC_{bl.w} = Q_{bl.} \times C_{MC}, \$ / bl, \quad (2.1)$$

където: $Q_{bl.}$ е количеството в един блок, t;

C_{MC} – разходите за добив в РК, включително разходите за транспорт = 2,87 \$/t.

$$MC_{bl.w} = 8\ 842,5 \times 2,87 = 27\ 377,98 \$ / bl$$

$$Q_{bl.} = V_{bl.} \times \rho, t, \quad (2.2)$$

$$Q_{bl.} = (15 \times 15 \times 15) \times 2,62 = 8\ 842,5 t$$

$V_{bl.}$ – обемът на блока, m^3 ;

ρ – обемната плътност на скалите t/m^3 .

- *Определяне стойността на откривния блок с вариращи разходи по хоризонти, както следва:*

o хор. 1510 и хор. 1120 и хор. 730 – хоризонтите отразяват най-горния хоризонт, средния хоризонт (където е разположена разкриващата изработка) и приблизително най-долния хоризонт (определен по технологични и екологични причини);

$$MC_{bl.w.VE...} = (Q_{bl.} \times C_{MC \text{ без п.тр.}}) + [Q_{bl.} \times (TC_{tkm} \times L_{cp.тр.п-е \text{ хор.}})], \$ / bl, \quad (2.3)$$

където: $C_{MC \text{ без п.тр.}}$ – разходите за добив в РК, без разходите за транспорт;

$$C_{MC \text{ без п.тр.}} = 1,28 \$ / t ;$$

TC_{tkm} – разходите за извозване на откривката в РК на разстояние от 1 km

$$TC_{tkm} = 0,529 \$ / t ;$$

$L_{cp.тр.п-е \text{ хор.}}$ – средното прогнозно транспортно разстояние за съответния хоризонт

$$\text{хор. 1510} - L_{\text{ср.тр.р-е хор.}} = 1,5 \text{ km}$$

$$\text{хор. 1120} - L_{\text{ср.тр.р-е хор.}} = 4,5 \text{ km}$$

$$\text{хор. 730} - L_{\text{ср.тр.р-е хор.}} = 7,5 \text{ km}$$

$$MC_{\text{bl.w.v1510}} = (8\ 842,5 \times 1,28) + (8\ 842,5 \times (0,529 \times 1,5)) = 18\ 334,92 \text{ \$ / bl}$$

$$MC_{\text{bl.w.v1120}} = (8\ 842,5 \times 1,28) + (8\ 842,5 \times (0,529 \times 4,5)) = 32\ 367,97 \text{ \$ / bl}$$

$$MC_{\text{bl.w.v730}} = (8\ 842,5 \times 1,28) + (8\ 842,5 \times (0,529 \times 7,5)) = 46\ 401,02 \text{ \$ / bl}$$

Забележка: използваните стойности са примерни, поради чувствителността на информацията и от съображение за конфиденциалност.

На база апробираната методика и получените модели се установява, че прилагането на подхода БЕЗ диференциране на транспортните разходи от общите разходи за добив, се подценява рентабилността на изпълнение на проекта (за дадения пример, а при реализацията на методиката с фактически данни са констатирани противоположни резултати). Освен това, оптималната дълбочина на рудника достига до „хор. -11“ (примерното изчисление е с геотехнически параметри за генералния ъгъл на борда = 45°), докато при втория вариант съществува възможност за отработване на допълнителни два хоризонта.

Основните изводи, които могат да се направят въз основа на анализа на получените резултати от вариантите решения при търсене на оптимални крайни граници на рудник „Елаците“ по икономически показатели и при условие без въвеждане на вариращи транспортни разходи по хоризонти са:

- оценката за рентабилността на изпълнение на проекта за оптималния контур е подценена с 52,3%;
- подценена е и оценката за количествата руди, които от ресурс, следва да преминат в запас с 23,91%;
- оптималната кота за дъно на рудника е с 2 хоризонта по-малка.

Във връзка с бъдещите изследвания при определяне стойността на блока (руден/откривен) се възприема подхода с въвеждане на транспортни разходи вариращи по хоризонти при търсене на оптимални контурни граници на открития рудник.

2.3.6 Дефиниране на рудните и откривните блокове в геоложкия структурен модел

Един от най-важните елементи при търсене на оптимални крайни граници на открития рудник е дефиниране на орудяването по блокове от геоложкия структурен модел, който съдържа информация относно количествата на полезния компонент и пространственото разположение в масива.

Използваният софтуерен продукт позволява да се търсят оптимални контури граници по предварително зададени гранични стойности на съдържанието на полезния компонент (бортово съдържание) или без ограничение на борта. Извършва се проверка във всеки един блок (със съдържание на полезния компонент) и го приравнява, съответно към руда или откривка в зависимост от заложените геотехнически ограничения и местоположението на блока в пространството (във вертикален профил, когато се прилага подход с вариращи разходи по хоризонти).

Използваният формулен апарат от софтуера за изчисляване на стойността на всеки блок, има следния вид (Khalokakaie, 1999; Petrov, 2017).

Примерът е даден за условията на рудник „Елаците“, където стойността на блока се определя от съдържанията на Cu и Au:

Основният израз за остойностяване на блока със съдържание на полезен компонент, която използва компютърната програма е представена в следния вид:

$$FP_{bl.Cu\&Au} = \left[(Q_{bl.} \times \alpha_{bl.Cu.\%}) \times \varepsilon_{k.Cu} \times K_{Cu} \times Cu_{price/lb} + (Q_{bl.} \times \alpha_{bl.Au.g/t}) \times \varepsilon_{k.Au} \times K_{Au} \times Au_{price/oz} \right] - \left[(Q_{bl.} \times MC) + Q_{bl.} \times (TC_{tkm.} \times L_{cp.tr.p-e\ hop.}) + (Q_{bl.} \times PC) \right], \$ / bl \quad (2.4)$$

където: $Q_{bl.}$ е количеството на блока, t; определя се по формула (2.2)

$\alpha_{bl.Cu.\%Au.g/t}$ – съдържанието на полезен компонент (Cu/Au), %/g/t;

$\varepsilon_{k.Cu/Au}$ – процентът на извличане в обогатителния комплекс, %;

$K_{Cu/Au}$ – коефициентът на привеждане от t в lb (Cu = 22,0462) и от g/t в Oz (Au=0,03215);

$Cu_{price/lb}$ – цената на Cu, след приспадане на административните разходи и разходите в рафинерията, \$/lb;

$$Cu_{price/lb} = \frac{(Cu_{pr.LME} \times C_{Cu.payable}) - (C_{Cu.SC} + C_{Cu.ref} + C_{Cu.RWC} + C_{Cu.A+C.} + C_{Cu.roy.})}{Q_{t/lb}}, t \quad (2.5)$$

където: $Cu_{pr.LME}$ – цената на медта на „Лондонската метална борса“, \$/t;

$C_{Cu.payable}$ – платима мед (% от концентрата), %;

$$C_{Cu.payable} = \frac{Q_{metal}^t \times Q_{conc.\%}^{pro.}}{Q_{conc.\%}^{pey.}} \times 100, \% \quad (2.6)$$

където: Q_{metal}^t – метал Cu = 1t;

$Q_{conc.\%}^{pro.}$ – качеството на концентрата, подаден към рафинерията от обогатителния комплекс, %;

$Q_{conc.\%}^{pey.}$ – платимото качество на концентрата от рафинерията, %;

$C_{Cu.SC}$ – таксата за преработка на концентрата в рафинерията, приравнена към количество от 1t metal Cu (отнесена към $Q_{conc.\%}^{pro.}$), \$/t metal Cu;

$C_{Cu.ref}$ – таксата за рафиниране на концентрата в рафинерията приравнена към количество от 1t metal Cu (отнесена към $Q_{conc.\%}^{pey.}$), \$/t metal Cu;

$C_{Cu.RWC}$ – разходите по транспорт на концентрата от обогатителния комплекс до рафинерията, приравнена към количество от 1t metal Cu (отнесена към $Q_{conc.\%}^{pro.}$), \$/t metal Cu;

$C_{Cu.A+C.}$ – административни и търговски разходи приравнени към количество от 1t metal Cu (отнесена към $Q_{conc.\%}^{pey.}$), \$/t metal Cu;

$C_{Cu.roy.}$ – концесионна такса, \$/t metal Cu;

$Q_{t/lb}$ – превръщане от t в lb, t/lb;

$Au_{price/Oz}$ – цената на Au в \$/Oz;

$$Au_{price/Oz} = \frac{(Au_{pr.LME} \times C_{Au.payable}) - (C_{Au.ref} + C_{Cu.A+C.} + C_{Cu.roy.})}{Q_{\frac{g}{t}Oz}}, t \quad (2.7)$$

където: $Au_{pr.LME}$ – цена на медта на „Лондонската метална борса“, \$/Oz;
 $C_{Au.payable}$ – платимо количество на злато (g/t от концентрата), g/t;

$$C_{Au.payable} = \frac{Q_{metal}^{g/t} \times Q_{conc.g/t}^{pro.}}{Q_{conc.g/t}^{pey.}} \times 100, \% \quad (2.8)$$

където: $Q_{metal}^{g/t}$ – количеството на метал Au;
 $Q_{conc.g/t}^{pro.}$ – качеството на концентрата подаден към рафинерията от обогатителния комплекс, g/t;
 $Q_{conc.g/t}^{pey.}$ – платимото качество на концентрата от рафинерията, g/t;
 $C_{Au.ref}$ – таксата за рафиниране на концентрата в рафинерията, \$/Oz;
 $C_{Au.A+C.}$ – административните и търговските разходи, \$/Oz;
 $C_{Au.gou.}$ – концесионната такса, \$/Oz;
 $Q_{g/Oz}$ – превръщане от g/t в Oz, $\frac{g}{t} / Oz$;
 MC – разходите за добив в рудодобивен комплекс, \$/t;

$$MC = C_{drill} + C_{blast} + C_{load} + C_{RC} + C_{TS} + C_{APC} + C_{MO} + C_{MC}, \$ / t \quad (2.9)$$

където: C_{drill} – разходите за сондажни работи, \$/t;
 C_{blast} – разходите за взривни работи, \$/t;
 C_{load} – разходите за изкопно-товарни работи, \$/t;
 C_{RC} – разходите за пътно изграждане и поддържане, \$/t;
 C_{TS} – разходите за ремонтни звена, \$/t;
 C_{APC} – спомагателните разходи за производство, \$/t;
 C_{MO} – обслужващите звена и разходи за екология, \$/t;
 C_{MC} – разходите за управление на рудодобивен комплекс, \$/t;
 TC_{tkm} – разходите за транспорт на един тон руда на разстояние от един километър, \$/tkm;
 $L_{ср.тр.р-е хор.}$ – средното транспортно разстояние от забоя до разтоварния пункт (експертно оценено), km;

PC – разходите за преработка в обогатителен комплекс, \$/t;

$$PC = C_{Pr.Crush} + C_{CB} + C_{Crush} + C_{Mill+Flot} + C_{Tail} + C_{APC} + C_{PO} + C_{MC}, \$ / t \quad (2.10)$$

където: $C_{Pr.Crush}$ – разходите за едро трошене, \$/t;
 C_{CB} – разходите за лентов транспорт, \$/t;
 C_{Crush} – разходи за ситно трошене, \$/t;
 $C_{Mill+Flot}$ – разходите за смилане и флотация, \$/t;
 C_{Tail} – разходите по хвост, \$/t;
 C_{APC} – разходите за спомагателни дейности за производство, \$/t;
 C_{MO} – разходите за обслужващи звена и разходите за екология, \$/t;
 C_{MC} – разходите за управление на обогатителен комплекс, \$/t.

След прилагане на алгоритъма за моделиране на масива при търсене на крайни оптимални граници, спрямо зададените икономически и геотехнически параметри и ограничения, всеки блок е определен, като:

- руден блок – себестойността за изземване на блока е положителна и дава възможност за генериране на печалба;

- блок с маргинална руда – себестойността за изземване на блока е отрицателна, но съществува възможност за генериране на незначителни загуби след неговата преработка в сравнение с вариант за депониране като откривка в насипище;

- открит блок – себестойността за изземване на блока е отрицателна и генерира незначителна загуба при депонирането му на насипището за откривка, в сравнение с варианта за преработка.

За оптимизиране на блоковете модели чрез специализирания софтуерен продукт могат да се прилагат различни подходи за търсене на оптимални контурни граници, например с предварително зададено бортово съдържание по основния полезен компонент или чрез автоматично оптимизиране на бортовото съдържание (*Shahriar, 2017, Thorley, 2012*).

За целта програмата разиграва различни сценарии за всеки блок, като може да го представи освен като руден за преработка, но и като открит за депониране към насипище.

От изключителна важност е да се отбележи, че при подхода с вариращи транспортни разходи по хоризонти при остойностяване на блока, при едно и също съдържание на мед, блоковете, разположени на различни хоризонти придобиват конкретна себестойност.

По този начин още веднъж се потвърждава, че за определяне на бортовото съдържание на основния полезен компонент се изисква комплексен подход, включващ в себе си отчитането на транспортните разходи вариращи по хоризонти.

Друг подход, който отразява търсенето на бортовото съдържание на основния полезен компонент, чрез софтуерния продукт е свързан с търсене на максимална печалба, като итерациите започват с постепенно нарастване на първоначалното минимално съдържание на Cu , например със стъпка 0,05% до установяване на спад в печалбата.

ГЛАВА 3. АЛГОРИТЪМ ЗА ТЪРСЕНЕ НА КРАЙНИ (ОПТИМАЛНИ) КОНТУРНИ ГРАНИЦИ ЧРЕЗ „MINEPLAN3D“

3.1. Същност на алгоритъма за търсене на крайни (оптимални) граници на открит рудник

В дисертационния труд се използва подход за търсене на крайни контурни граници със задаване на ограничения в бортовото съдържание, като алгоритъма включва:

1-во – програмно определяне на бортовото съдържание;

2-ро – оптимизиране на бортовото съдържание с търсене на „точката на пресичане“, в която се наблюдава спад на стойността му.

За търсенето на краен оптимален контур, чрез софтуера на „MinePlan3D“ е приложен модул „MinePlanEconomicPlanner“ – „Lerchs-Grossmann“.

Процесът на оптимизиране на представения алгоритъма включва:

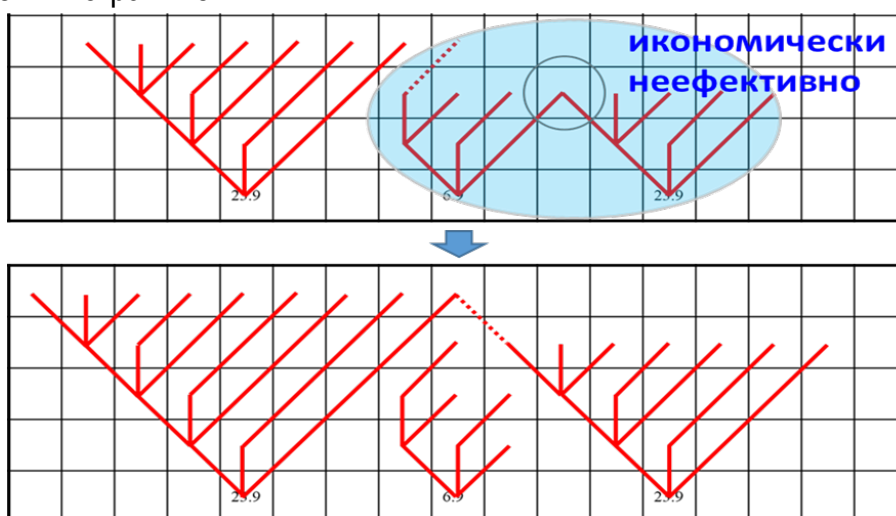
- след придаване на парична еквивалентна стойност, на всеки блок от блоковия модел, алгоритъма продължава изчисленията, като проверява връзката между блоковете, спрямо зададените бордови ъгли, като „дърво“ с множество разклонения.

Тези разклонения се кодират в базата данни за оптимизацията, като силни или слаби (с положителна или отрицателна стойност).

- след определяне на връзките, започва втора проверка на всички връзки (силни и слаби), където се проверява разположението на силните връзки спрямо слабите. Ако се намерят подобни разклонения, същите биват реструктурирани повторно до намиране на оптималната им връзка.

- процеса продължава докато не се прекъснат и/или реструктурират всички връзки в разклонения, които не преминават от слаба към силна връзка, респективно всички блокове, които са част от слабите връзки, остават не отработени и същите се считат за икономически нецелесъобразни, спрямо заложените икономически и геотехнически параметри и ограничения.

Методът изисква голям брой итерации, но чрез същия успешно се намира крайния оптимален контур за открито отработване, спрямо заложените входни параметри, модели и ограничения.



Фиг.3.1 Процес на оптимизация въз основа на икономически и геотехнически параметри.

На базата на тези изчисления чрез програмата се създава т.нар. „графика“ с голям брой „силни“ (с положителна стойност) и „слаби“ (с отрицателна стойност) разклонения, които се реструктурират, докато се намери оптималната връзка между тях. Представено илюстративно в 2D чрез изображение на фигура 3.1.

Разработената методика за условията на рудник „Елаците“ се основава на:

- информация за съдържанията на мед и злато във всеки отделен блок на блоковия модел и по-конкретно оставащите ресурси след края на концесионния срок 13.08.2031 г.;

- изследване за зависимостите между съдържанията на мед и злато, използвайки медта, като основен полезен компонент, а златото като вторичен (попътен).

Целта на изследването е да се определи по математически път с относителна точност бортовото съдържание, при което следва да се търсят контурните граници за открития рудник, чрез максимизиране на печалабата.

Освен икономическите параметри, следва да се определи средното съдържание на злато (вторичния полезен компонент), спрямо изследваните бортови съдържания на Cu.

За анализа и определянето на съдържанията по Au, спрямо бортови съдържания на Cu е използвана включената информация от блоковия модел, за оставащите

ресурси, съгласно началната повърхнина за търсене на 160 млн. тона запас след края на настоящия концесионен срок (*крайно проектно положение към 13.08.2031 г.*).

Направеният анализ е въз основа на предварителни модели за търсене на крайни контурни граници, чрез които са определени количествата по откривка, които следва да се депонират в съоръженията за минни отпадъци в рудодобивен комплекс, същото е експертно изчисление, което неминуемо ще се изменя при изготвяне на цялостния проект с календарно развитие по години.

В таблица 3.2 са представени използваните икономически параметри, за определяне на бортовото съдържание, като същото е извършено поотделно за гранодиоритови скали (*лява част на таблицата*) и шистови скали (*дясна част на таблицата*).

За допълнително максимизиране на печалбата е необходимо да се извърши проверка за възможността за удълбаване на рудника отчитайки получените резултати в таблица 3.2.

Проверката се изразява в намаляване на съдържанията за мед под 0,100% до 0,050%, както и съдържанията за злато. Тя има за цел да съгласува бортовото съдържание за Cu съобразно икономическите и технологични параметри.

Резултатите са представени в таблица 3.3, като изчислението обхваща само грано-диоритови скали. Видно от данните, е че бортовото съдържание намалява до около $0,090 \div 0,070\%$, Cu, което може да е основание за пре-моделирането на минерали-зираната обвивка с цел максималното изземване на ресурсите от изчерпаемите полезни из-копаеми и намаляването на генерирания опасен отпадък в съоръжението за минни отпадъци.

Резултатите от извършеното изследване и анализ позволява да се допусне, че за максимизиране на печалбата при търсене на оптималните контурни граници може да се приеме бортово съдържание на Cu 0,100%, както за гранодиоритови скали така и за шистовите.

От практическия опит е доказано, че коефициентът на извличане на основния компонент - мед и на попътно добивания – злато се влияя допълнително и от преработването на сурувината в обогатителния комплекс. Допуска се обаче, че при обогатяването постъпват не само бедни руди, но и такива с високо съдържание на полезен компонент, които компенсират извлекаемостта чрез осредняване качеството на рудата за получаването на шихтата. Поради тази причина при реализирането на изчислителния алгоритъм се въвежда прогнозна стойност за коефициент на извличане на мед и злато, която може да бъде постигната по време на обогатяването.

Таблица 3.3

Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №1)												
Cu, %			0.050	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	Стерил
Au, g/t			0.031	0.035	0.039	0.043	0.047	0.051	0.053	0.056	0.065	
Хоризонт	тр. р-е P, tkm	тр. р-е O, tkm										
1270	2.193	4.373	-26 533	-21 525	-16 517	-11 509	-6 501	-1 492	3 193	7 768	14 269	-20 494
1255	2.189	4.374	-26 509	-21 501	-16 493	-11 485	-6 477	-1 469	3 217	7 792	14 292	-20 499
1240	1.618	3.924	-25 942	-20 934	-15 926	-10 918	-5 910	-902	3 784	8 359	14 859	-18 390
1225	1.725	3.858	-26 753	-21 745	-16 737	-11 729	-6 721	-1 713	2 973	7 548	14 048	-18 081
1210	1.598	3.919	-25 872	-20 864	-15 856	-10 848	-5 840	-832	3 854	8 429	14 930	-18 366
1195	1.53	4.116	-24 630	-19 622	-14 614	-9 606	-4 598	410	5 096	9 671	16 171	-19 290
1180	1.046	4.104	-22 418	-17 410	-12 402	-7 394	-2 386	2 622	7 308	11 883	18 383	-19 233
1165	1.088	4.142	-22 437	-17 429	-12 421	-7 413	-2 404	2 604	7 289	11 864	18 365	-19 412
1150	1.04	4.025	-22 760	-17 752	-12 744	-7 736	-2 728	2 280	6 966	11 541	18 041	-18 863
1135	1.066	3.845	-23 726	-18 718	-13 709	-8 701	-3 693	1 315	6 000	10 576	17 076	-18 020
Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №2)												
Cu, %			0.050	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	Стерил
Au, g/t			0.046	0.049	0.052	0.055	0.058	0.061	0.061	0.061	0.063	
1120	1.152	3.477	-22 068	-17 313	-12 558	-7 803	-3 048	1 707	5 703	9 822	14 267	-16 295
1105	1.355	3.229	-24 182	-19 427	-14 672	-9 917	-5 162	-407	3 589	7 708	12 153	-15 133
1090	1.444	3.605	-22 837	-18 082	-13 327	-8 572	-3 817	938	4 934	9 053	13 498	-16 895
1075	1.383	3.808	-21 600	-16 845	-12 090	-7 335	-2 580	2 175	6 171	10 291	14 736	-17 846
1060	1.315	4.098	-19 922	-15 167	-10 412	-5 657	-902	3 853	7 849	11 968	16 413	-19 205
1045	1.422	4.528	-18 408	-13 653	-8 898	-4 143	612	5 367	9 363	13 482	17 927	-21 221
1030	1.682	4.867	-18 038	-13 283	-8 528	-3 773	982	5 737	9 733	13 852	18 297	-22 809
1015	1.864	5.084	-17 874	-13 119	-8 364	-3 609	1 146	5 901	9 897	14 017	18 461	-23 826
1000	2.094	5.555	-16 744	-11 989	-7 234	-2 480	2 275	7 030	11 026	15 146	19 591	-26 034
985	2.151	5.847	-15 643	-10 888	-6 133	-1 378	3 377	8 132	12 128	16 247	20 692	-27 402
Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №3)												
Cu, %			0.050	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	Стерил
Au, g/t			0.027	0.032	0.037	0.042	0.047	0.052	0.054	0.053	0.061	
970	2.128	5.88	-20 029	-14 768	-9 506	-4 245	1 016	6 277	10 822	14 573	20 542	-27 557
955	2.247	6.518	-17 596	-12 335	-7 074	-1 813	3 448	8 710	13 254	17 006	22 974	-30 547
940	2.483	6.835	-17 217	-11 956	-6 694	-1 433	3 828	9 089	13 634	17 385	23 354	-32 032
925	2.464	7.229	-15 281	-10 020	-4 759	502	5 764	11 025	15 569	19 321	25 289	-33 879
910	2.59	7.438	-14 892	-9 631	-4 370	891	6 153	11 414	15 958	19 710	25 678	-34 858
895	2.415	7.397	-14 264	-9 003	-3 742	1 519	6 780	12 042	16 586	20 338	26 306	-34 666
880	2.367	7.549	-13 327	-8 066	-2 805	2 457	7 718	12 979	17 523	21 275	27 244	-35 379
865	2.495	7.399	-14 630	-9 369	-4 107	1 154	6 415	11 676	16 221	19 972	25 941	-34 676
850	2.616	7.126	-16 476	-11 215	-5 954	-693	4 568	9 830	14 374	18 126	24 094	-33 396
835	2.754	7.038	-17 536	-12 274	-7 013	-1 752	3 509	8 771	13 315	17 067	23 035	-32 984
Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №4)												
Cu, %			0.050	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	Стерил
Au, g/t			0.059	0.061	0.063	0.065	0.067	0.069	0.067	0.066	0.059	
820	2.883	7.446	-8 256	-3 754	748	5 249	9 751	14 253	17 850	21 645	23 800	-34 896
805	3.077	7.855	-7 248	-2 747	1 755	6 257	10 759	15 261	18 857	22 652	24 807	-36 813
790	3.317	8.752	-4 169	332	4 834	9 336	13 838	18 340	21 936	25 731	27 886	-41 016
775	3.371	8.99	-3 307	1 195	5 697	10 198	14 700	19 202	22 799	26 594	28 749	-42 132
760	3.297	8.72	-4 226	276	4 778	9 280	13 782	18 283	21 880	25 675	27 830	-40 866
745	3.465	9.399	-1 831	2 671	7 173	11 675	16 176	20 678	24 275	28 070	30 225	-44 049
730	3.474	9.233	-2 651	1 851	6 353	10 854	15 356	19 858	23 455	27 250	29 405	-43 271
715	3.649	9.428	-2 557	1 945	6 446	10 948	15 450	19 952	23 548	27 343	29 499	-44 185
700	3.824	9.623	-2 464	2 038	6 540	11 042	15 544	20 046	23 642	27 437	29 592	-45 098
685	3.999	9.818	-2 370	2 132	6 634	11 136	15 638	20 139	23 736	27 531	29 686	-46 012
Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №5)												
Cu, %			0.050	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	Стерил
Au, g/t			0.013	0.018	0.023	0.028	0.033	0.038	0.043	0.046	0.057	
670	4.174	10.013	-13 805	-8 543	-3 282	1 979	7 240	12 501	17 739	22 509	29 282	-46 926
655	4.349	10.208	-13 711	-8 450	-3 188	2 073	7 334	12 595	17 832	22 603	29 376	-47 840
640	4.524	10.403	-13 617	-8 356	-3 095	2 167	7 428	12 689	17 926	22 697	29 469	-48 754
625	4.699	10.598	-13 523	-8 262	-3 001	2 260	7 521	12 783	18 020	22 791	29 563	-49 668
610	4.874	10.793	-13 430	-8 168	-2 907	2 354	7 615	12 876	18 114	22 884	29 657	-50 582
595	5.049	10.988	-13 336	-8 075	-2 814	2 448	7 709	12 970	18 207	22 978	29 751	-51 496
580	5.224	11.183	-13 242	-7 981	-2 720	2 541	7 803	13 064	18 301	23 072	29 844	-52 409
565	5.399	11.378	-13 148	-7 887	-2 626	2 635	7 896	13 158	18 395	23 165	29 938	-53 323
550	5.574	11.573	-13 055	-7 794	-2 532	2 729	7 990	13 251	18 488	23 259	30 032	-54 237

3.2 Формулиране на ограничения за добивните участъци

За условията на рудник „Елаците“ могат да бъдат взети под внимание следните ограничения:

- *инфраструктурни* – следва да се запази подземната изработка, в която е разположена магистралната гумено-транспортна лента, осигуряваща транспортната връзка на рудата от склад №1 в рудодобивния комплекс до склад №2 в обогатителния комплекс. Това съоръжение е едно от стратегическите инфраструктури, които осигуряват намаляване на себестойността при преработката на рудата в обогатителния комплекс.

- *екологични и технологични* – тези ограничения се идентифицират по отношение на дъното на открития рудник, което на този етап не е конкретизирано, а следва да се определи. Като технологично ограничение може да се разгледа условието за гравитачно отвеждане на водите от рудника. Целта е предотвратяване задържането на води в котлована на рудника, които биха се окислили и биха довели до екологични последици и допълнителни разходи за изграждането на пречиствателни съоръжения. Всъщност тези ограничения се обвързват взаимно с технологията на разработване и инвестиционния процес.

- *допълнителни ограничения*, свързани с развитието на транспортната схема в рудника (особено развитието на капиталните извозни пътища) и отражението му върху проектния контур, базирайки се на концептуалния. Може да се очаква влошаване на икономическите показатели при съпоставяне на резултатите.

За по нататъшния анализ се приемат следните ограничения:

- да не се подработва магистралния гумено-лентов транспортър (МГТЛ), който осъществява транспортната връзка на рудата между рудодобивен и обогатителен комплекс. За перспективното развитие на рудника, е необходимо да се заложи допълнително изискване за търсене на оптимални контурни граници с подработването му, за да се анализират резултатите от неговото запазване.

За решаване на задачата, свързана с определяне на оптималните крайни граници на рудник „Елаците“ е разработен проектен вариант за развитие на транспортните връзки в северозападния, северния и североизточния борд на рудника. Наличието на разломите „Елаци №1 и №2“, които са структуро-определящи за масива в южния борд на рудника, затруднява трасирането на вътрешно-руднични пътища в тази зона. развитието на пътната инфраструктура по предварително зададените критерии се явява като допълнително ограничение при моделиране на оптималния контур на рудника.

3.3. Критерии за избор на крайна дълбочина на открит рудник

Разработването на моделите за определяне на крайната дълбочина на рудник „Елаците“ се основават на ползваните методи и критерии:

- принцип на действие на отводнителната система за отвеждане на постъпващите води в рудника. Възможни са два варианта – гравитачно отвеждане или чрез изпомпване от дъното на котлована;

- геотехническите условия и фактори, свързани с осигуряване устойчивостта на бордовете на рудника и на откосите на стъпалата

- елементите от конструкцията на открития рудник: размерите на дъното на рудника, широчината на работните, неработните и транспортните площадки,

допустимите минимални безопасни разстояния, габаритните размери и конструктивните изисквания към изкопно-товарната механизация и транспортните средства за безопасна работа, вида на разкриващите изработки, наклони, дължини, превозна и пропускна способност на главните извозни пътища и други; други специфични условия при разработването на находището.

Конструираните варианти включват следните параметри:

- **Кота-700 с дължина на подземната изработка = 5 780 m** – най-ниската кота-дъно, която може да се достигне, съгласно посочените изисквания. При този вариант се приема степен на риск - **ВИСОК РИСК**, по отношение на екологичните особености и очакван обществен отзвук, предвид мястото на заустване и близостта му до населено място. *(приема се, че изпълнението на трасето, може да бъде компрометирано от обществените нагласи и настроения, а не поради административни пречки).*

- **Кота-730 с дължина на подземната изработка = 4 100 m** – втора по-висока кота за заустване. За това решение степента на риска се счита, че е **СРЕДЕН РИСК**, поради икономически причини – допълнително повишаване на разходите за изграждане на хидротехнически съоръжения *(приема се, че за изпълнението на трасето не се очакват отрицателни обществени нагласи и настроения, а за реализирането му може да се наложат допълнителни инвестиции, които към датата на разработката не могат да се оценят).*

- **Кота-760 с дължина на подземната изработка = 3 510 m** – най-високата кота на идейно ниво за заустване. При този вариант степента на риска е **НИСЪК РИСК**, не се предвиждат допълнителни икономически, екологични или технологични условия, които биха довели до спиране на проекта и/или увеличаването на инвестиционните разходи в недопустими размери.

- Допълнително се приема вариант с оптимална кота дъно (без ограничение на котата), която осигурява изземването на ресурсите от икономически изгодни руди в дълбочина.

ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛНИ КОНТУРНИ ГРАНИЦИ ЗА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“ НА КОНЦЕПТУАЛНО НИВО

Под концептуално ниво, следва да се разбира границите на рудника, за които не е проектирана конструкцията на борда, а чрез компютърно моделиране е отразена икономически-целесъобразната граница на откритото отработване, спрямо зададените критерии при търсенето.

4.1. Икономически показатели

За икономическите показатели може да се отбележи, че търсенето на концептуалните контурни граници е на базата на три сценария за развитие конюнктурата на пазара.

За настоящото изследване се използват цени за медта и златото, спрямо възможната конюнктура за цените на металите на лондонската борса, както следва:

- Базова цена – Cu = 8 000\$/t и Au = 1 700\$/Oz;
- Песимистична цена – Cu = 7 000\$/t и Au = 1 600\$/Oz;
- Оптимистична цена – Cu = 9 000\$/t и Au = 1 800\$/Oz;

- За проверка бортовото съдържание – $Cu = 6\ 000\$/t$ и $Au = 1\ 500\$/Oz$ – необходима, за да се провери рентабилността на бортовото съдържание (Cu) при минимална прогнозна цена.

4.2. Геотехнически параметри

В структурните блокови модели са зададени оптимизираните изчислителни стойности на геотехническите параметри, които обезпечават устойчивостта на работните бордове на рудник „Елаците“.

При оценката на проекти на концептуално ниво се разглеждат следните варианти:

- консервативен вариант (песимистичен) с коефициент на устойчивост над 1.5;
- вариант с инженерен запас над минималния, осигуряващ стабилитета на съоръжението с коефициент на устойчивост между 1,2-1,5 (умерен);
- вариант с инженерен запас, отговарящ на минималния под коефициент на устойчивост 1,2 или до стойност на коефициента, до която съществува допустим инвестиционен риск.

За прилагане на алгоритъма при търсене на концептуалните контурни граници се ползват стойностите за „Ъгъл на борда по лито-тектонски домейн“, представени в таблица 2.3. Същите определени по описаната методика се считат за оптимални ъгли за борда по лито-тектонски разновидности, изграждащи цялостния откос като сбора им дава генерални ъгъл на борда.

4.3. Бортово съдържание на основния полезен компонент (Cu).

Съгласно описаната методика и получените резултати за търсенето на концептуални контурни граници са определени следните бортови съдържания на мед, които ще се използват при изчисленията:

- бортово съдържание 0,10/0,10%, Cu, съответно за гранодиоритови скали и за шистови скали – това е най-ниският борт определен по методиката (*показани в таблица 3.2*), който се очаква да осигури максимална печалба при търсенето на концептуалните контурни граници;

- бортово съдържание 0,15/0,15%, Cu съответно за гранодиоритови скали и за шистови скали – тази стойност е избрана, тъй като съгласно таблица 3.2, отразява бортовото съдържание, при които рудите към настоящата кота на дъното на рудника са с положителна стойност, без да се взима под внимание разходите, ако бъдат депонирани като откритка.

- бортово съдържание 0,17/0,17%, Cu, съответно за гранодиоритови скали и за шистови скали – този борт, съгласно таблица 3.2, е с положителна стойност и в дълбочина до нива (хоризонти) очаквани да бъдат кота за дъно на концептуалните контурни граници.

Изводът, който може да се направи е, че съгласно разработената методика за определяне на оптималното бортово съдържание на мед, осигуряващо максимизиране на печалбата, спрямо заложените икономически параметри, би следвало да се използва стойност за търсене на концептуалните контурни граници при 0,10/0,10%, Cu (гр./шис.). Целта за използването на стойности на бортово съдържание 0,15/0,15%, Cu и 0,17/0,17%, Cu е да потвърди методиката и да докаже, че същата дава положителни резултати.

4.4. Диференциране на работни зони за добив

Зоните за добив могат да бъдат ограничавани в две направления, както следва:

- зоната да бъде ограничена, като условно наречена „твърда“, като по този начин се задава пълно ограничение и независимо от перспективата за добив в зоната няма да се оконтурят запаси, независимо от тяхната доказана икономическа изгодност;

- зоната да бъде ограничена, като условно наречена „мека“, по този начин компютърната програма изчислява рентабилността при отработване на даден участък или блок, спрямо заложените капиталовложения, които трябва да се направят за изземването.

В случая при търсене на оптимален контур на рудник „Елаците“ на концептуално ниво се използват следните ограничения:

- твърдо ограничение за запазване на подземната изработка, в която е разположен магистралния гумено-лентов транспортър, свързващ рудодобивния комплекс (РК) и обогатителния комплекс (ОК) за транспорт на рудата от „Склад №1“ (РК) до „Склад №2“ (ОК).

- твърдо ограничение в северния борд, където се прокарват капиталните наклонени полутраншеи от входната капитална траншея на рудника (*разположена на хор. 1120*) до бъдещото определено дъно на рудник „Елаците“.

4.5. Определяне на кота дъно за рудника

Дъното на рудника е една от най-важните граници на откритото разработване, като същата може да бъде ограничена от редица фактори, като част от тях са:

- развитието на минно-добивните работи под зададена кота на дъното на рудника и преработването на рудата, носи загуби в крайния финансов резултат;

- добивът в дълбочина влошава геотехническите параметри на съоръжението;

- добивът до максималната кота в дъното, получена като резултат от изчисленията за търсене и определяне на концептуалните контурни граници не осигурява необходимата работна площадка по отношение на безопасната работа и разполагане на основната минно-добивната и транспортна механизация, спрямо минималните параметри за работа в челен забой и/или прокарване на траншея;

- добивът е ограничен вследствие на възприетия подход за отводняване на рудника – гравитачно отводняване и други.

Основното ограничение е оценката на възможната кота за дъно на рудника с цел осигуряване на „гравитачно“ отводняване, без необходимост от изграждане на помпени съоръжения за отвеждане на водите, генерирани в дъното на котлована вследствие подхранването от водопроявления в откосите (подземни води) и повърхности води (валежи и снеготопене).

Въз основа на предоставени данни от рудник „Елаците“, се установява, че най-ниската кота до която може да се осигури гравитачно отводняване на рудника е „кота 700“.

Въз основа на предходните параметри и ограничения, са извършени изследвания и анализ на варианти за търсене на концептуален контур, който да послужи при избора на оптимален контур. Целта е да се установи вариант за удължаване срока на експлоатация на рудник „Елаците“ след края на настоящия концесионен срок 13.08.2031

г., осигурявайки руда за следващия контур в размер на 160 млн.т, с 10 години, при годишна производствена мощност от 16 млн. т/А.4.6.

Търсенето е направено по основния стратегически подход за търсене на концептуални контурни граници (осигуряване на максимална печалба/рентабилност), както и по стратегията за осигуряване на максимален срок на експлоатация на рудник „Елаците“, осигурявайки запас от 160 млн. т в концептуалните контурни граници, при различните бортове и кота за дъно на рудника.

Таблица 4.1

Търсене на концептуален контур: бортово съдържание, кота дъно, стратегическите подходи - максимален/на живот/рентабилност				
ПО ЗАДАНИЕ_МАКСИМАЛЕН ЖИВОТ (160 млн. т руда в контура след 2031 г.)			МАКСИМАЛНА РЕНТАБИЛНОСТ (РЕНТАБИЛНОСТ, спрямо зададените критерии)	
Кота дъно 700				
Повишаване кота за дъно на рудника				
Кота дъно 730				
Повишаване кота за дъно на рудника				
Кота дъно 760				
Повишаване кота за дъно на рудника				

Представените резултати отразяват разглеждането на девет варианта при оконтуряване на запас от 160 млн. т руда (максимален срок на експлоатация).

Резултатите представени таблица 4.1 по отношение на максималната рентабилност спрямо зададените критерии, показват приблизително същата зависимост при увеличаване на котата и бортовото съдържание на Cu. Разликата в двата разглеждани случая е в икономическите граници на контура при цена на Cu = 6 000\$/t и Au = 1 500\$/Oz, респективно при тази цена на мед и злато не може да се осигури 160 млн. т руда при изследваните алтернативи.

В таблица 4.3 са представени резултатите от сравнителния анализ на концептуалните контури, които са генерирани при еднакво бортово съдържание на Cu (0,10/0,10%) и същите получени от стратегическия подход за търсене на концептуални контурни граници осигуряващи 160 млн. т руда за периода от 14.08.2031 г. до 13.08.2041 г. (максимален срок на експлоатация).

При различните коти (700, 730 и 760) за да се намери необходимото количество запас от руда по задание (160 млн. т) е използвано вариране в цената на медта, докато за цената на златото е използвана цената, която отговаря на реалистичния сценарии за цена на металите на LME, а именно 1 700\$/Oz.

За кота 700 концептуалните контурни граници осигуряващи ≈ 160 млн. т руда са намерени при цена на медта от 7 020\$/t, което отговаря на песимистичния/консервативния сценарии за цена на медта на LME. Същото показва, че

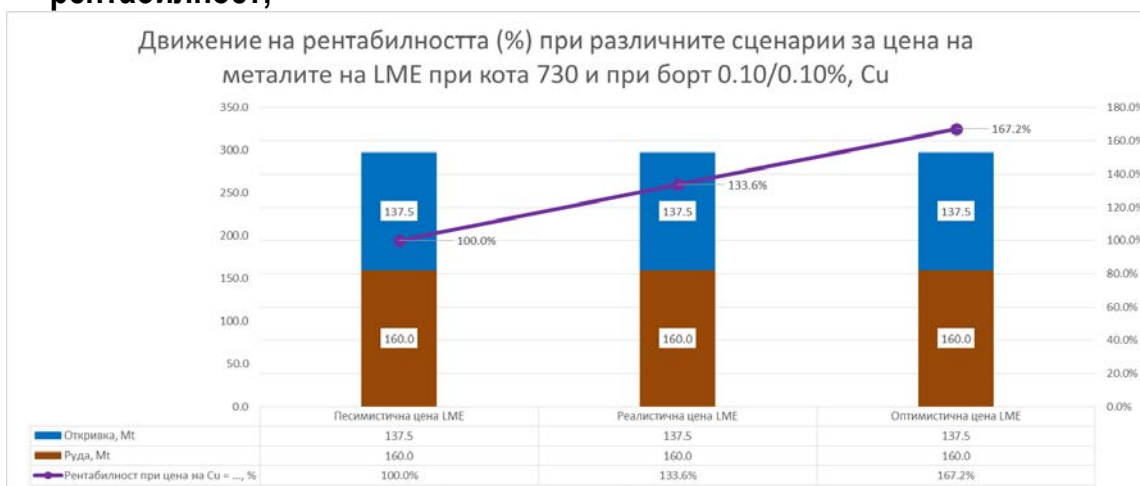
дори при най-песимистичния сценарии при кота 700 се генерира максимална печалба за контура при бортово съдържание 0,10/0,10%, Cu.

За кота 730 концептуалните контурни граници осигуряващи ≈ 160 млн. t руда са намерени при цена на медта от 7 820\$/t, което отговаря на цената на медта на LME малко под реалистичния сценарии ($Cu = 8\ 000\$/t$). Същото показва, че ако се разгледа варианта за кота на дъно „730“ под горещитираната цена на медта няма да се генерира максимална печалба за контура, тъй като част от запасите под тази цена на медта в контура вече не се заплащат.

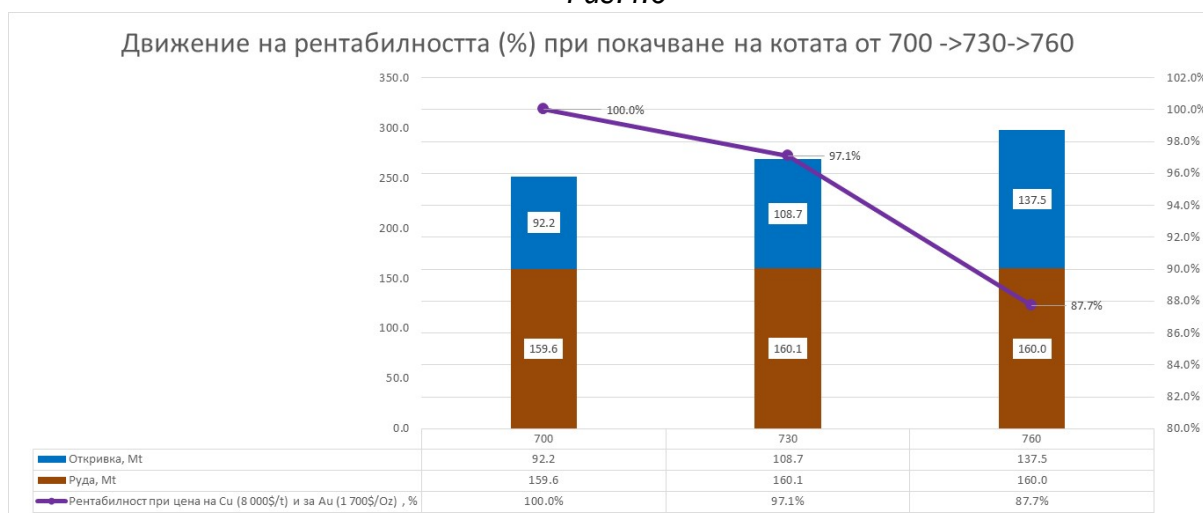
За кота 760 концептуалните контурни граници осигуряващи ≈ 160 млн. t руда са намерени при цена на медта от 8 800\$/t, което отговаря на цената на медта на LME малко под оптимистичния сценарии ($Cu = 9\ 000\$/t$) или ако цената на медта се понижи под 8 800\$/t ще доведе до финансови загуби.

Чрез диаграмите по-долу е представен анализ на чувствителността на променливите параметри между вариантите за кота на дъно, както следва по:

- рентабилност;



Фиг.4.3



Фиг.4.5

Диаграмите показват, че когато се разглежда чувствителността на рентабилността в зависимост от увеличаване котата на дъното на рудника: 700 \Rightarrow 730 \Rightarrow 760, същата намалява (Фиг.4.5). Сравнението е направено при „реалистичния“ сценарии за развитие на цените на LME: $Cu = 8\ 000\$/t$ и $Au = 1\ 700\$/Oz$.

В таблица 4.3 е представен отрицателния тренд, който се наблюдава с покачването на котата, спрямо рентабилността, като е обърнато внимание, че всяко следващо покачване на котата през 30 метра увеличава чувствителността на изменение на рентабилността, респективно в отрицателна посока.

Таблица 4.3

Вариант	1	2	3	Разлика, %	Разлика, %	Разлика, %
	Кота-700	Кота-730	Кота-760	м/у вар. 1 и 2	м/у вар. 1 и 3	м/у вар. 2 и 3
Рентабилност, %	100.0%	97.1%	87.7%	-2.9%	-12.3%	-9.4%
Средно съдържание на Cu, %	0.264	0.263	0.259	-0.4%	-1.9%	-1.5%

Резултатите в таблица 4.3 показват, че при удължаване на минните работи с 30 метра от кота 700 до кота 730, осигурявайки отново 160 млн. t руда, рентабилността намалява с 2,9%, както и при разработване на още 30 метра до кота 760, рентабилността намалява с 12,3% или чувствителността се повишава над два пъти.

- средно съдържание на мед (Cu)

Това, което се наблюдава при покачване на котата, е че средното съдържание на мед в дълбочина е по-високо, спрямо съдържанието на мед в периферните участъци, от където се компенсира блокирането на запасите в дълбочина и заместването им встрани до достигане на необходимото количество руда за осигуряване на производствените мощности за периода от 14.08.2031 г. до 13.08.2041 г.



Фиг.4.7

- контурен коефициент на откривка (t/t)

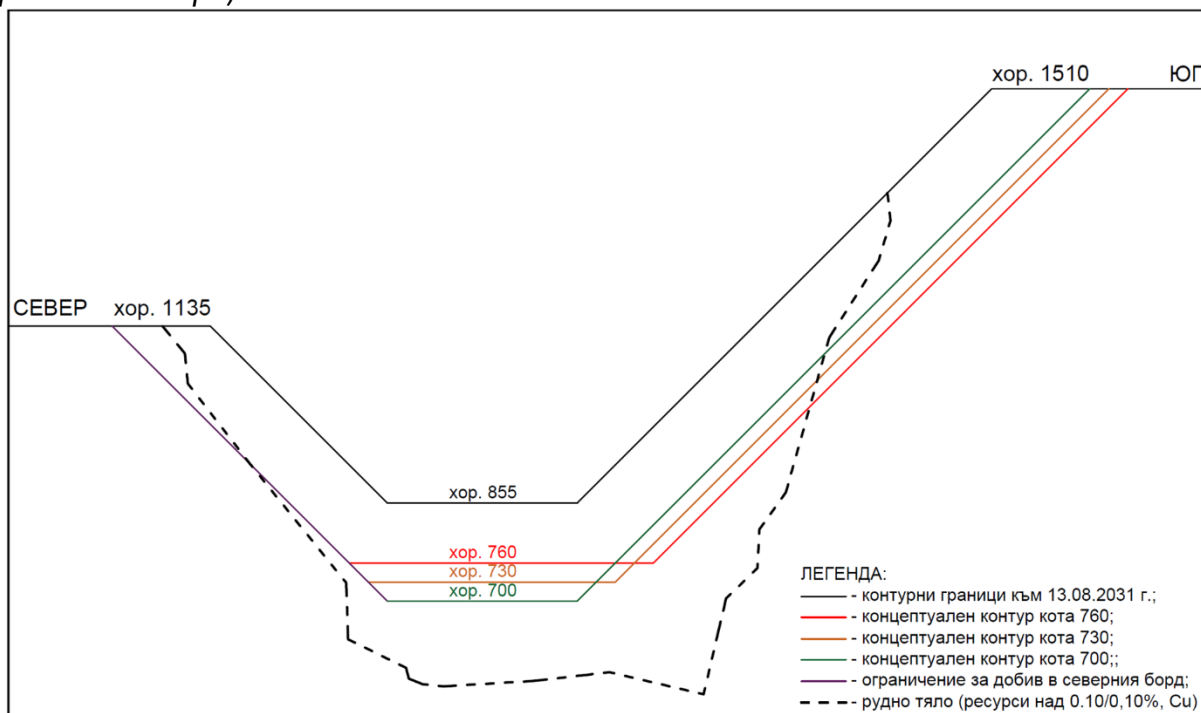
Съгласно представената диаграма на фигура 4.8 и таблица 4.5 се установява, че покачване на котата води до прогресивно увеличение на контурния коефициент на откривка. От кота 700 до кота 730, увеличението изразено в проценти е 14,9%, а до кота 760 е с още 21,0% или за следващите 30 метра се покачва с допълнителни 6,1%.

Таблица 4.5

Вариант	1	2	3	Разлика, %	Разлика, %	Разлика, %
	Кота-700	Кота-730	Кота-760	между 1 и 2	между 1 и 3	между 2 и 3
Конт. коеф. на откривка, t/t	0.58	0.68	0.86	14.9%	32.8%	21.0%

Полученият резултат е вследствие от търсенето на 160 млн. t руда, оконтурен запас за всеки вариант. На схемата на фигура 4.8 е показано разширяването на

концептуалните контурни граници, ограничаване котата за дъно на рудника. Отражено е и ограничението на северния борд, във връзка с развитието на транспортната схема на капиталните извозни пътища (при трите варианта се оконтурява до проектно ограничения борд).

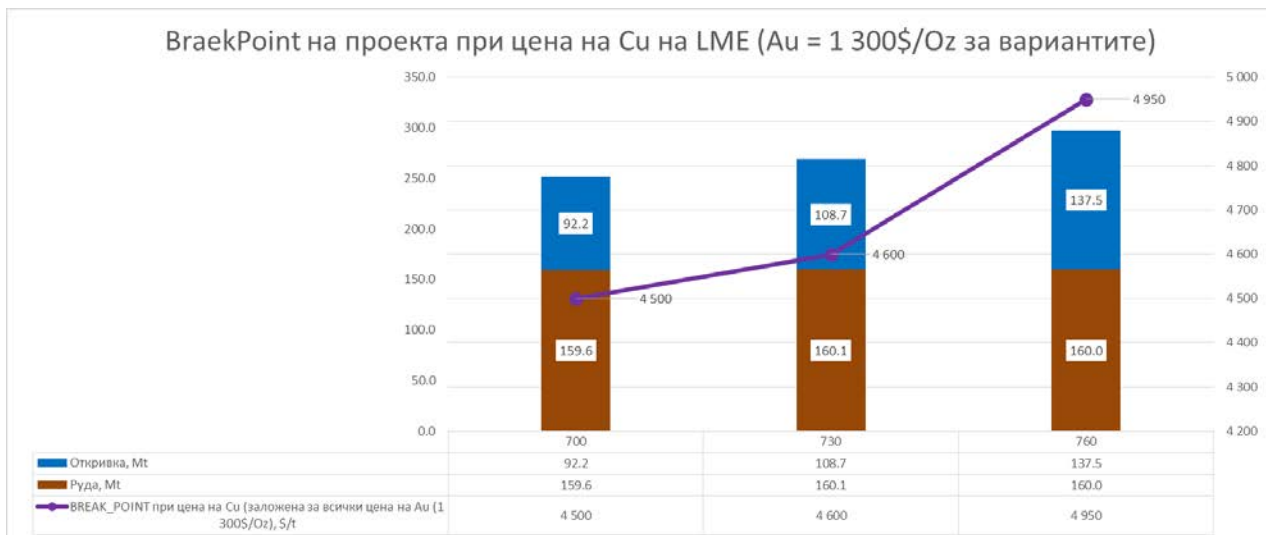


Фиг.4.8

– Точка на пресичане (BreakPoint_Cu) – цена на медта на LME, при която приходите са равни на разходите (\$/t, Cu);

Диграмата на фигура 4.9 и резултатите в таблица 4.6 отразяват точката на пресичане (BreakPoint-a), изразена в цената на медта на LME, при която приходите при проектното решение са равни на разходите, респективно печалбата е равна на „0 млн. \$“.

Важно е да се отбележи, че рентабилността е търсена при еднаква цена на Au от 1 300 \$/Oz за всички варианти (цената на златото е намалена до тази стойност, тъй като е запазен приблизително приетия спад при сценариите за търсене на крайни контурни граници, както следва: при спад в цената на медта с 1 000 \$/t е заложен спад със 100\$/Oz. Респективно при цена на медта около 4 000 \$/t, следва цената на златото, да бъде около 1 300\$/Oz).



Фиг.4.9

Таблица 4.6

Вариант	1	2	3	Разлика, % между 1 и 2	Разлика, % между 1 и 3	Разлика, % между 2 и 3
	Кота-700	Кота-730	Кота-760			
BreakPoint, Cu \$/t (Au=1 300\$/Oz)	4 500	4 600	4 950	2.2%	9.1%	7.1%

Получените резултати от приложените критерии за основните параметри, дават основание да се твърди, че ограничаването на рудника до кота 760 има съществено отклонение спрямо останалите два варианта, а именно:

- когато се ограничи дъното на рудника от кота 700 до кота 730, регистрираните отклонения при удълбаване на рудника с 30 метра, оказват незначително влияние;

- когато се ограничи дъното на рудника от кота 730 до кота 760, отклоненията при удълбаване с още 30 метра, съпоставени с първите се регистрира покачване в чувствителността, която достига до над два пъти и повече за отделните разгледани параметри.

- друг основен критерии, който показва, че за кота 760 не е изгодно да продължат изследванията, е че концептуалните контурни граници осигуряващи максимален срок на експлоатация при кота 760 с оконтуряване на количество запас от 160 млн. t руда е намерен при цена на медта на LME = на 8 800\$/t, което е близо до заложените сценарии за конюнктура на пазара, определен като „Оптимистичен“. Това от своя страна увеличава инвестиционния риск.

4.6. АНАЛИЗ НА ЧУВСТВИТЕЛНОСТТА ЗА ИЗБРАНИТЕ ВАРИАНТИ НА КОНЦЕПТУАЛЕН КОНТУР НА РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“

Анализът на чувствителността на избраните два варианта за концептуални контурни граници до кота 700 и кота 730 се извършва с цел изготвяне на тежестна оценка на параметрите, участващи в алгоритъма при търсене на концептуален контур в условията на рудник „Елаците“.

Анализа на чувствителността е направен за следните параметри:

- промяна на реалистичната прогноза за цена на Cu (където са включени разходите за рафиниране, административни, концесионни такси и други – крайна цена за платимата Cu) – 8 000\$/t с $\pm 50\%$ през $5\% \pm 10$ итерации.

- промяна на реалистичната прогноза за цена на Au (където са включени разходите за рафиниране, административни, концесионни такси и други – крайна цена за платимото Au) – 1 700\$/Oz с $\pm 50\%$ през $5\% \pm 10$ итерации.

- комбинация за промяната на реалистичната прогноза за цена на Cu и Au (където са включени разходите за рафиниране, административни, концесионни такси и други – крайна цена за платимата Cu и платимото Au) 8 000\$/t и 1 700\$/Oz с $\pm 50\%$ през $5\% \pm 10$ итерации.

- промяна на заложените параметри за извличане на Cu – 91.5%/90% (гранодиорити/шисти) с $\pm 5\%$ през $0.5\% \pm 10$ итерации.

- промяна на заложените параметри за извличане на Au – 70%/70% (гранодиорити/шисти) с $\pm 5\%$ през $0.5\% \pm 10$ итерации.

- комбинация за промяната на заложените параметри за извличане на Cu и Au – Cu = 91.5%/90% и Au = 70%/70% (гранодиорити/шисти) с $\pm 5\%$ през $0.5\% \pm 10$ итерации.

- промяна в разходите за добив (в рудодобивен комплекс) – 1.06\$/t (за руда и откривка) с $\pm 50\%$ през $5\% \pm 10$ итерации.

- промяна в разходите за преработка (в обогатителен комплекс) – 6.23\$/t с $\pm 50\%$ през $5\% \pm 10$ итерации.

- промяна в разходите за транспорт (в рудодобивен комплекс) – 0.53\$/tkm (за руда и откривка) с $\pm 50\%$ през $5\% \pm 10$ итерации.

- обща чувствителност в следствие на комбинираната промяна в разходите за добив = 1.06\$/t, преработка = 6.23\$/t и транспорт 0.53\$/tkm с $\pm 50\%$ през $5\% \pm 10$ итерации.

- обща чувствителност в следствие на комбинираната промяна в гореспоменатите параметри (без направените комбинации за промяна между тях) в разходите за добив = 1.06\$/t, преработка = 6.23\$/t и транспорт 0.53\$/tkm с $\pm 50\%$ / 5% през 5% / $0.5\% \pm 10$ итерации.

В таблицата 4.7 и на диаграма на фигура 4.10 е представен анализа на чувствителността при концептуалните контурни граници, осигуряващи 160 млн. t руда с ограничение на котата до хоризонт 700. Изменението в рентабилността, спрямо направените итерации е изразено в %, като при изследваните параметри по задание процента е равен на 0%, тъй като същия изразява еднаквостта си спрямо докладваните резултати в таблица 4.7.

В таблици 4.8 и 4.9 в колони „коэф. от \$“ са заменени стойностите за рентабилност (\$), като получената стойност, спрямо параметрите по задание при реалистичната прогноза за цените на металите, на лондонската метална борса са изразени с „1-ца“, а от тях получената рентабилност при покачване и/или спад през $\pm 5\%$ (до $\pm 25\%$) са изразени в коефициент изчислен между изчислената стойност при итерациите и стойността изчислена с параметрите по задание, като реално негативното отклонение изразява и коефициента на вариация (същия е представен, тъй като в изчисления без заместване на рентабилността от \$ в условно наречен „коэф. от \$“ се изчислява отделно по използваната методика).

Анализ на чувствителността за концептуални контурни граници до кота 700 при бортово съдържание 0.10/0.10%, Cu (гр./шис.), спрямо реалистичната прогноза за цена на Cu и Au на LME (8 000\$/t и 1 700\$/Oz) при осигуряване на 160Mt руда в границите на концептуалния контур.																									
№	Изследван параметър	Стойност по задание	Чувствителност на параметъра	Брой на итерациите над/под стойността	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10
					4 000	4 400	4 800	5 200	5 600	6 000	6 400	6 800	7 200	7 600	8 000	8 400	8 800	9 200	9 600	10 000	10 400	10 800	11 200	11 600	12 000
1	Цена на Cu, \$/t, %	8 000	± 5%	±10	-100.5%	-90.5%	-80.4%	-70.4%	-60.3%	-50.3%	-40.2%	-30.2%	-20.1%	-10.1%	0.0%	10.1%	20.1%	30.2%	40.2%	50.3%	60.3%	70.4%	80.4%	90.5%	100.5%
2	Цена на Au, \$/Oz, %	1 700	± 5%	±10	850	935	1 020	1 105	1 190	1 275	1 360	1 445	1 530	1 615	1 700	1 785	1 870	1 955	2 040	2 125	2 210	2 295	2 380	2 465	2 550
3	Цена на Cu & Au, \$/t & \$/Oz, %	8 000 / 1 700	± 5%	±10	-22.9%	-20.6%	-18.3%	-16.0%	-13.7%	-11.4%	-9.1%	-6.9%	-4.6%	-2.3%	0.0%	2.3%	4.6%	6.9%	9.1%	11.4%	13.7%	16.0%	18.3%	20.6%	22.9%
4	Извличане на Cu, %	91.5/90	± 0.5%	±10	4 000/850	4 400/935	4 800/1 020	5 200/1 105	5 600/1 190	6 000/1 275	6 400/1 360	6 800/1 445	7 200/1 530	7 600/1 615	8 000/1 700	8 400/1 785	8 800/1 870	9 200/1 955	9 600/2 040	10 000/2 125	10 400/2 210	10 800/2 295	11 200/2 380	11 600/2 465	12 000/2 550
5	Извличане на Au, %	70	± 0.5%	±10	-123.4%	-111.1%	-98.7%	-86.4%	-74.0%	-61.7%	-49.4%	-37.0%	-24.7%	-12.3%	0.0%	12.3%	24.7%	37.0%	49.4%	61.7%	74.0%	86.4%	98.7%	111.1%	123.4%
6	Извличане на Cu & Au, %	91.5/90/70	± 0.5%	±10	86.9/85.5/66.5	87.4/86.0/66.9	87.8/86.4/67.2	88.3/86.9/67.6	88.8/87.3/67.9	89.2/87.8/68.3	89.7/88.2/68.6	90.1/88.7/69.0	90.6/89.1/69.3	91.0/89.6/69.7	91.5/90/70	92.0/90.5/70.4	92.4/90.9/70.7	92.9/91.4/71.1	93.3/91.8/71.4	93.8/92.3/71.8	94.2/92.7/72.1	94.7/93.2/72.5	95.2/93.6/72.8	95.6/94.1/73.2	96.1/94.5/73.5
7	Разходи за добив, \$/t, %	1.06	± 5%	±10	1.59	1.54	1.48	1.43	1.38	1.33	1.27	1.22	1.17	1.11	1.06	1.01	0.95	0.90	0.85	0.80	0.74	0.69	0.64	0.58	0.53
8	Разходи за преработка, \$/t, %	6.23	± 5%	±10	-10.4%	-9.3%	-8.4%	-7.3%	-6.2%	-5.3%	-4.2%	-3.1%	-2.1%	-1.0%	0.0%	1.0%	2.1%	3.1%	4.1%	5.2%	6.3%	7.2%	8.3%	9.4%	10.3%
9	Разходи за транспорт (PK), \$/tkm, %	0.53	± 5%	±10	9.34	9.03	8.72	8.40	8.09	7.78	7.47	7.16	6.85	6.54	6.23	5.91	5.60	5.29	4.98	4.67	4.36	4.05	3.74	3.42	3.11
10	Разходи за добив + Разходи за транспорт в PK, \$/t, %	Комбинация от №7, 8 и 9	± 5%	±10	-34.6%	-31.2%	-27.7%	-24.2%	-20.7%	-17.3%	-13.8%	-10.4%	-6.9%	-3.5%	0.0%	3.5%	7.0%	10.4%	13.8%	17.3%	20.7%	24.2%	27.6%	31.2%	34.6%
11	Разходи за преработка, \$/t, %	Комбинация от №1+10	± 5%/± 0.5%	±10	0.80	0.77	0.74	0.72	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50	0.48	0.45	0.42	0.40	0.37	0.34	0.32	0.29	0.27
	Изследване на всички параметри заедно №1,2,4,5,7,8 и 9	Комбинация от №1+10	± 5%/± 0.5%	±10	-17.1%	-15.4%	-13.7%	-12.0%	-10.3%	-8.6%	-6.8%	-5.1%	-3.4%	-1.7%	0.0%	1.7%	3.4%	5.1%	6.8%	8.6%	10.3%	12.0%	13.7%	15.4%	17.1%
	Разходи за добив (руда и откривка), \$/t, %	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9	№7, 8 и 9
	Разходи за преработка, \$/t, %	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10
	Разходи за транспорт (PK), \$/tkm, %	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10
	Изследване на всички параметри заедно №1,2,4,5,7,8 и 9	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10	№1+10

Таблица 4.7
Фиг. 4.10

Анализа на чувствителността показва, че:

- при изменение на параметъра за крайната платима цена за Cu, изчислена при цена на LME = 8 000\$/t, е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±5% (до ±50%), спрямо стойността на параметъра по задание, се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±10.1%, достигащо до ≈±100.5% при ±10 итерации;
- при изменение на параметъра за крайната платима цена за Au, изчислена при цена на LME = 1 700\$/Oz, е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±5% (до ±50%), спрямо стойността на параметъра по задание, се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±2.3%, достигащо до ≈±22.9% при ±10 итерации;
- при едновременното изменение и на двата параметъра описани по-горе, вследствие на всяко покачване и/или спад през ±5% (до ±50%), спрямо стойностите на параметрите по задание, се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±12.3%, достигащо до ≈±123.4% при ±10 итерации;
- при изменение на параметъра за извличане на Cu = 91.5% за гаранодиорити и 90.0% за шисти, е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±0.5% (до ±5%), спрямо стойността на параметъра по задание се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±1%, достигащо до ≈±9.2% при ±10 итерации;
- при изменение на параметъра за извличане на Au = 70.0% за гаранодиорити и шисти, е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±0.5% (до ±5%), спрямо стойността на параметъра по задание се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±0.2%, достигащо до ≈±2.3% при ±10 итерации;
- при едновременно изменение и на двата параметъра за извличане на Cu и Au спрямо горните стойности, е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±0.5% (до ±5%), спрямо стойността на параметъра по задание се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±1.2%, достигащо до ≈±11.5% при ±10 итерации;
- при изменение на параметъра разход за добив (руда и откривка), е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±5% (до ±50%), спрямо стойността на параметъра по задание се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±1%, достигащо до ≈±10.4% при ±10 итерации;
- при изменение на параметъра разход за преработка, е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±5% (до ±50%), спрямо стойността на параметъра по задание се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±3.5%, достигащо до ≈±34.6% при ±10 итерации;
- при изменение на параметъра разход за транспорт (PK), е че в следствие на всяко покачване и/или спад през ±5% (до ±50%), спрямо стойността на параметъра по задание се регистрира отклонение в рентабилността през ≈±1.7%, достигащо до ≈±17.1% при ±10 итерации;
- останалите две са с кумулативно натрупване между: позиция №7,8 и 9 и позиция №1,2,4,5,7,8 и 9.

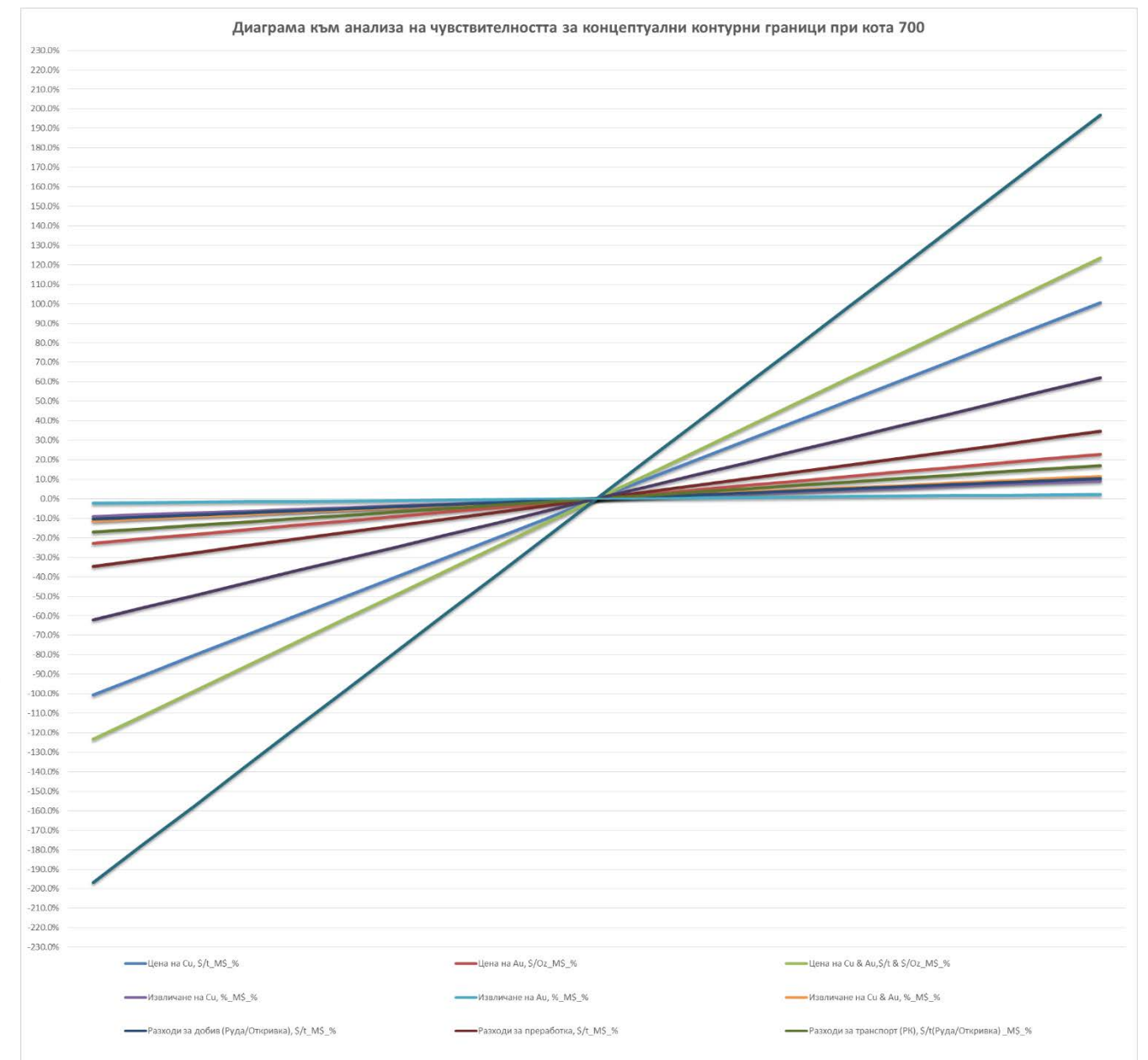


Таблица 4.8

Негативно отклонение и коефициент на вариация при промяна на повече от един параметър за концептуален контур до кота 700		
Променлива	Цена на Cu и Au	Разходи за преработка, транспорт и добив
Процентна стъпка за итерацията	коэф. от \$	коэф. от \$
-25%	0.38	0.69
-20%	0.51	0.75
-15%	0.63	0.81
-10%	0.75	0.88
-5%	0.88	0.94
Рентабилност (0.0% от табл. 19)	1.00	1.00
5%	1.12	1.06
10%	1.25	1.12
15%	1.37	1.19
20%	1.49	1.25
25%	1.62	1.31
Негативно отклонение	-0.62	-0.31
Коефициент на вариация	-62%	-31%

Таблица 4.9

Негативно отклонение и коефициент на вариация при промяна на един параметър за концептуален контур до кота 700					
Променлива	Цена на Cu	Разходи за преработка	Цена на Au	Транспортни разходи	Разходи за добив
Процентна стъпка за итерацията	коэф. от \$	коэф. от \$	коэф. от \$	коэф. от \$	коэф. от \$
-25%	0.50	0.83	0.89	0.91	0.95
-20%	0.60	0.86	0.91	0.93	0.96
-15%	0.70	0.90	0.93	0.95	0.97
-10%	0.80	0.93	0.95	0.97	0.98
-5%	0.90	0.97	0.98	0.98	0.99
Рентабилност (0.0% от табл. 19)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5%	1.10	1.04	1.02	1.02	1.01
10%	1.20	1.07	1.05	1.03	1.02
15%	1.30	1.10	1.07	1.05	1.03
20%	1.40	1.14	1.09	1.07	1.04
25%	1.50	1.17	1.11	1.09	1.05
Негативно отклонение	-0.50	-0.17	-0.11	-0.09	-0.05
Коефициент на вариация	-50%	-17%	-11%	-9%	-5%

В таблиците е представено негативното отклонение при промяна на параметрите до $\pm 25\%$ и коефициента на вариация, спрямо рентабилността при използване на параметрите по задания, следствие на негативното отклонение до $\pm 25\%$.

Допълнително за онагледяване на стойностите анализа на чувствителността, негативното отклонение и коефициента на вариация са съпоставени в по-горе представените таблици и диаграми:

- по крайна платима цена на Cu (спрямо LME – реалистичен сценарии);
- по крайна платима цена на Au (спрямо LME – реалистичен сценарии);
- по извличане на Cu;
- по извличана на Au;
- по разходи за добив в рудодобивен комплекс;
- по разходи за преработка в обогатителен комплекс;
- по разходи за транспорт в рудодобивния комплекс.

4.7. Избор на концептуален контур за удължаване срока на експлоатация на рудника след 13.08.2031 г. До 13.08.2041 г. (+10 години)

Изборът за единия или другия вариант (кота 700 или кота 730) зависи от следните направления на проекта в последващата му фаза:

- осигуряване гравитачното отводняване на открития рудник:
 - o за същото е необходимо да се разгледат вариантите за разполагане на площадка (точка на заустване), където да бъде входа за прокарване на отводнителната щолня;

- това е един от най-утежняващите фактори за реализиране на проекта от екологичната гледна точка;

- също така точката на заустване, следва да осигурява гравитачно отводняване при отработване на последния хоризонт (кота дъно), както и отводняването му след края експлоатацията на открития рудника, с цел минимизиране на разходите след края на живота на рудника;

- при избор на кота 700 – подземната изработката ще се удължи и респективно точката на заустване ще бъде разположена по-близо до гр. Етрополе, което от своя страна би имало по-голям обществен отзвук и риска за реализацията би бил по-голям;

- при избор на кота 730 – подземната изработка би била по-къса, а точката за заустване би се отделчила от гр. Етрополе, с което се понижава риска за реализация на проекта.

- достатъчна вместимост на съоръженията за минни отпадъци (насипища):

- при кота 700 необходимата вместимост за съоръженията за минни отпадъци би била с около 6-6.5 млн. m³ по-малка от варианта за кота 730;

- вариант за последващо удължаване живота на рудника след 13.08.2041 г.:

- при избор на кота 700 последващото търсене на контурни граници би осигурило възможността за оконтуряване на необходимото количество руда при по-нисък коефициент на откривка, респективно горното ще доведе до увеличаване рентабилността на проекта.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ

Основните резултати и изводи на дисертацията са:

1. Графично е изобразена икономическата граница за добив, включваща блоков модел, икономически и геотехнически параметри, както и ограничения, свързани с входните данни при проектирането на решението.

2. Границата не представлява завършена проекция на борда, а се изобразява чрез на-чупена линия, която отчита зададения генерален ъгъл за борда или приетия подход в изследванията, базиран на лито-тектонски блокове.

3. Използваните софтуерни продукти генерират оптимални контурни граници, които могат да бъдат визуализирани в триизмерен изглед от северозапад и в профил, по-казвайки контурните граници на различни коти.

4. Изследванията подчертават, че ресурсите под оптималната граница се считат за икономически неизгодни, тъй като разходите за разкриването им не могат да бъдат компенсирани спрямо зададените входни параметри.

5. Представените изображения показват контурните граници на начално ниво, които се използват като основа за продължаване на работата в следващата фаза на проек-тирането на борда.

6. Профилът на фигура 4.22 показва, че разликата между контурните граници (кота 700 - червен цвят / кота 730 - син цвят) е минимална. От тук следва, че проектирането на контурните граници с конструкция на борда може да се препокрие. Следователно, в следващата фаза е необходимо да продължи работата по проектиране и планиране и на двете концептуални граници.

7. Извършеното научно-приложно изследване разкрива значителните възможности, които предоставят съвременните софтуерни продукти. Те позволяват

генерирането на голям брой стратегически варианти за развитие на рудниците в кратки срокове. Това ускорява процеса на проектиране и позволява на инженерите и ръководството да разгледат и сравнят множество алтернативи за вземане на информирани решения.

ОСНОВНИ НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

При реализирането на поставената цел и свързаните с нея задачи, в дисертационния труд са постигнати следните по-съществени теоретични и теоритично-приложни приноси:

1. Формулирани са теоретичните основи за определяне на крайните контурни граници на открит рудник.
2. Разработени са актуални блокови модели за рудник „Елаците“ и е приложен съвременен специализиран софтуерен продукт, съответстващ на съвременните изисквания за стратегическо минно планиране.
3. Оптимизирани са геометричните параметри на конструкцията на рудник „Елаците“ във връзка с определяне на крайните контурни граници
4. Развит е и апробиран Алгоритъм за търсене на крайни (оптимални) контурни граници чрез „MINEPLAN3D“ за условията на рудник «Елаците».
5. Разгледани са перспективните сценарии (по варианти) за удължаване срока на експлоатация на рудник „Елаците“.
6. Приложеният анализ на чувствителността на метода позволява да се определи зависимостта между крайните граници на открития рудник и дълбочината на разработване.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. *Николов, И., Л. Свиленов, М. Василева.* 2019. Търсене на оптимално календарно развитие чрез специализиран минен софтуер за стратегическо минно планиране „HEXAGON MINING“ „MINEPLAN3D“, внедрен за работа в условията на рудник „ЕЛАЦИТЕ“. XV Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 3-7.06.2019 г. Варна
2. *Николов, И., Л. Свиленов.* 2021. Методология за търсене на оптимална дълбочина при разработване на „ПЕРСПЕКТИВЕН КОНТУР“ за рудник „ЕЛАЦИТЕ“ чрез специализиран минен софтуер „HXGN- MINEPLAN™3D“, XVI Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми 6-10.09.2021 г. Варна
3. *Николов, И., Л. Свиленов.* 2021. Методология за търсене на оптимална дълбочина при разработване на „ПЕРСПЕКТИВЕН КОНТУР“ за рудник „ЕЛАЦИТЕ“ чрез специализиран минен софтуер „HXGN- MINEPLAN™3D“ . 64-та Международна научна конференция – МГУ 22.10.2021 г. София
4. *Николов, И., Н. Тошков, Ж. Ялъмов, Л. Свиленов.* 2023. Експертен анализатор за установяване на ъглите на откосите за литоложка разновидност, използвани при процеса на оптимизация на рудник "Елаците". Списание: "Минно дело и геология", Брой: 3-4/2023.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА КЪМ АВТОРЕФЕРАТА

1. Арсентьев А.И. Развитие горных работ в карьерном пространстве. изд. ЛГИ, 1991. - 106 с.

2. Арсентьев А.И. Разработка месторождений твёрдых полезных ископаемых открытым способом. Санкт-Петербургский государственный горный институт, Санкт-Петербург, 2009 г., 136 стр., УДК: 622:012.3
3. Бахаева С.П. Планирование горных работ на разрезах. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. –2016. –22с.
4. Трубецкой, К. Г. (2009). Проектирование Карьеров : Учебник 3-е изд. прераб. Москва: Издательство Высшая Школа.
5. Трубецкой, К. и др., 1994. Справочник открытые горные работы. М. Горное бюро, 50 – 53
6. Христов, С. Г. (2013). Технологични и Геомеханични Проблеми при Проектиране и Експлоатация на Открити Рудници и Кариери. In С. Г. Христов, Технологични и Геомеханични Проблеми при Проектиране и Експлоатация на Открити Рудници и Кариери (pp. 207-232). София: МГУ.
7. Abbaspour, H. (2011). Optimum Ultimate Pit Limit (UPL) Design by Graph Theory.
8. Akbari Dehkharghani, A. &. (July 2008). Determination of Ultimate Pit Limits in Open Mines Using Real Option Approach. International Journal of Engineering Science, 19. 23-38. .
9. Akbari, A., Osanloo, M., and Shirazi, M., Movable Reserve Estimation while Determining Ultimate Pit Limits (UPL) under Price Uncertainty by Real Option Approach (ROA), Archives of Min. Sci., 2009, vol. 54, no. 2, pp. 321–339.
10. Chatterjee, S., Sethi, M.R., and Asad, M.W.A., Production Phase and Ultimate Pit Limit Design under Commodity Price Uncertainty, European J. of Operational Research, 2016, vol. 248, no. 2, pp. 658–667.
11. Dagdelen, K., Open Pit Optimization Strategies for Improving Economics of Mining Projects through Mine Planning, 17th Int. Min. Congress and Exhibition of Turkey, 2001, pp. 117–121.
12. Dimitrakopoulos, R., Stochastic Optimization for Strategic Mine Planning: A Decade of Developments, J. of Min. Sci., 2011, vol. 47, no. 2, pp. 138–150.
13. Felipe Ribeiro Souza, H. R. (2018). Direct block scheduling technology: Analysis of Avidity. REM - International Engineering Journal [online]. 2018, v. 71, n. 1, 97-104.
14. Hustrulid, W & Co., 2006. Open pit mine planning and design. London/Leiden/New York/Philadelphia/Singapore. Taylor & Francis Group, 389 – 392 Infomine, www.infomine.com.
15. Hustrulid, W.A., Kuchta, M., and Martin, R.K., Open Pit Mine Planning and Design, 3rd Edition, CRC Press, 2013.
16. Lane, K. F. 1964 г. „Choosing the Optimum Cut-off Grade“.Quarterly of the Colorado School of Mines 59 (4), 811–829.
17. Pana, M.T., The Simulation Approach to Open-Pit Design, Proceedings of the 5th International APCOM, 1965.
18. Whittle, D., Brazil, M., Grossman, P.A., Rubinstein, J.H., and Thomas, D.A., Combined Optimization of an Open-Pit Mine Outline and the Transition Depth to Underground Mining, European J. of Operational Research, 2018, vol. 268, no. 2, pp. 624–634.
19. Whittle, J., Beyond Optimization in Open Pit Design, Canadian Conference on Computer Applications in the Miner. Industries, 1988, pp. 331–337.
20. Whittle, J., Four-X User Manual, Melbourne: Whittle Programming Pty Ltd, 1998.