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 № 444 от 08.06.2023 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № …… на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски” и ще се проведе на ……часа в зала …… на Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски”, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите 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 Георгиев Копрев – МГУ „Св.Иван Рилски“
2. Проф. дн Юли Тодоров Радев - МГУ „Св.Иван Рилски“
3. Проф. дн Йордан Янков Христов – ХТМУ, София
4. Доц. д-р Веска Георгиева Лашева – ХТМУ, София
5. Доц. д-р Борислав Иванов Николов – ТУ - София

Резервни членове:

1. Доц.д-р Весела Емилова Петрова - МГУ „Св.Иван Рилски“
2. Проф. Радослав Христов Кърто - Академия на Министерство на вътрешните работи

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. ……..
2. ……..

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

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 конвенциални 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

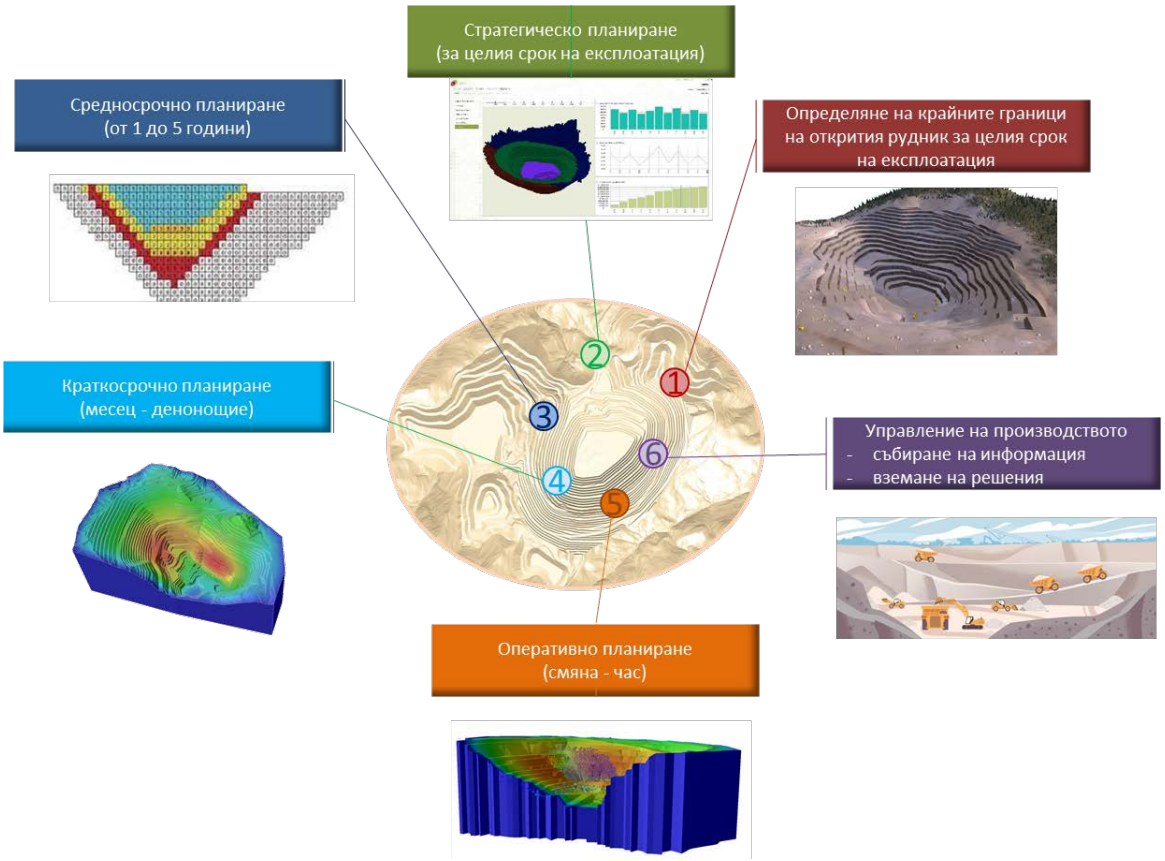
ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОСОБЕНОСТИ ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОТО ПЛАНИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ОТКРИТИ РУДНИЦИ

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 остойностяването 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 индиксиране 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 откритие рудник.

Средносрочното и краткосрочното планиране на минните работи включва детайлни модели на откритие 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 откритие 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 обосноват.

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

крайните контури на откритие 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 (канали, 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 откритие 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 откритие рудник е необходимо да се разгледат конвенциалните 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 изкопаеми 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 (двуизмерно 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 K. 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 – стратего-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 залегнал 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 Cu (мед) вече са изтеглени 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 „Еалците“ 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. Конвенциални 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 окунтуряване на 160 млн. tруда за следващия десегодишен 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.tруда
-	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.t 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=????$/t иAu=1300$/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 перспектинти 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, помествщ 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.

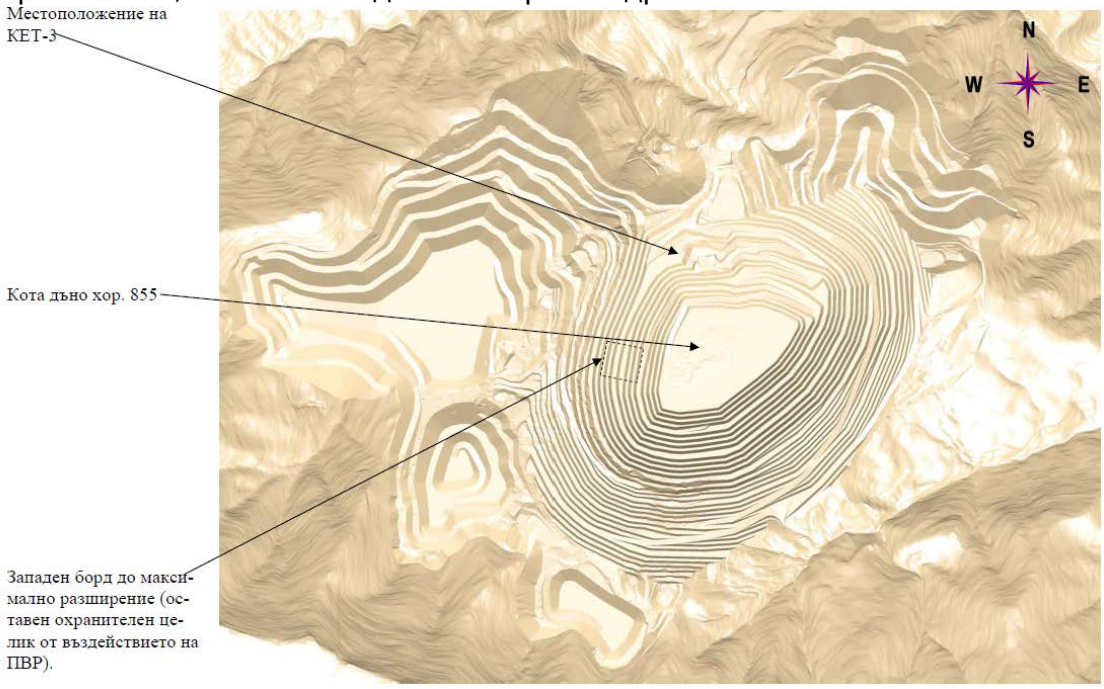
Проектната кота за дъно на рудника е хоризонт 855 m, чрез което се запазва гравитачното отводняване на иззетото пространство (котлована) до края на настоящия концесионен срок.

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 условието 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.

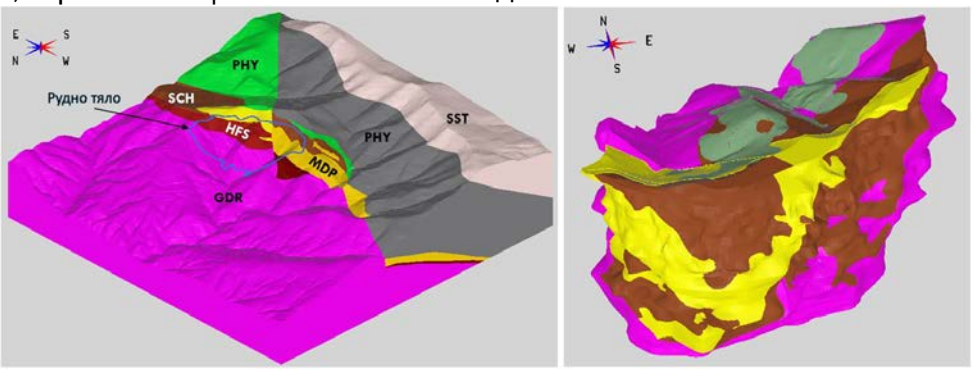


Фиг.2.1 Модел на началната повърхнина за търсене и оконтуряване на запас от 160 млн. t руда

2.2.2 Ресурсен блоков модел 2020 г. (ВМ’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“.

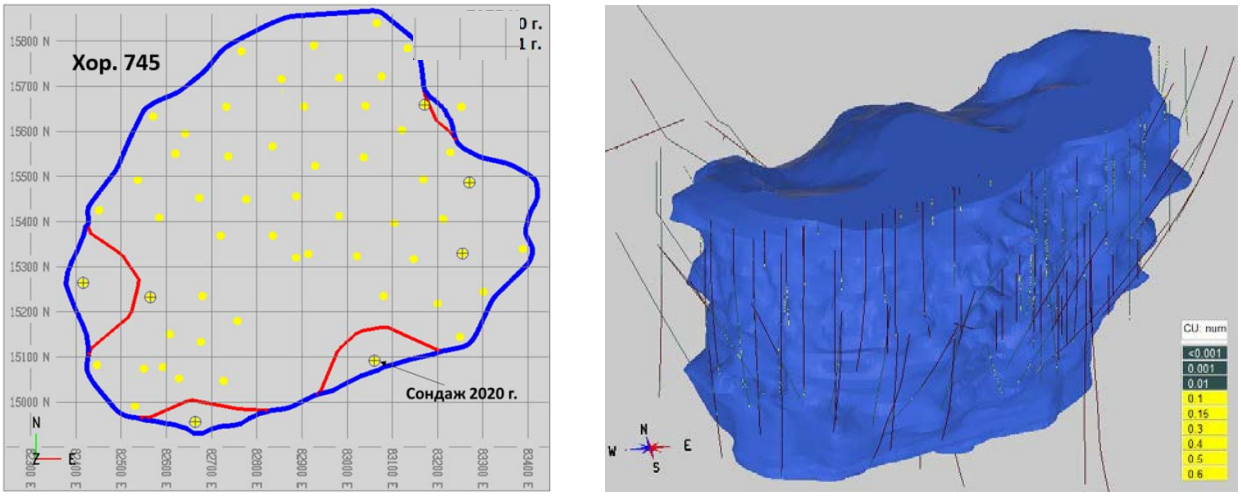
Съгласно възприетия подход за създаване на блоковия модел се построява геоложки модел (Фиг.2.2) на находището, посредством конструктивни (гранични) повърхнини между отделните лотоложки разновидности, след което се въвеждат повърхнини, ограничаващи лито-тектонските домейни.



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.

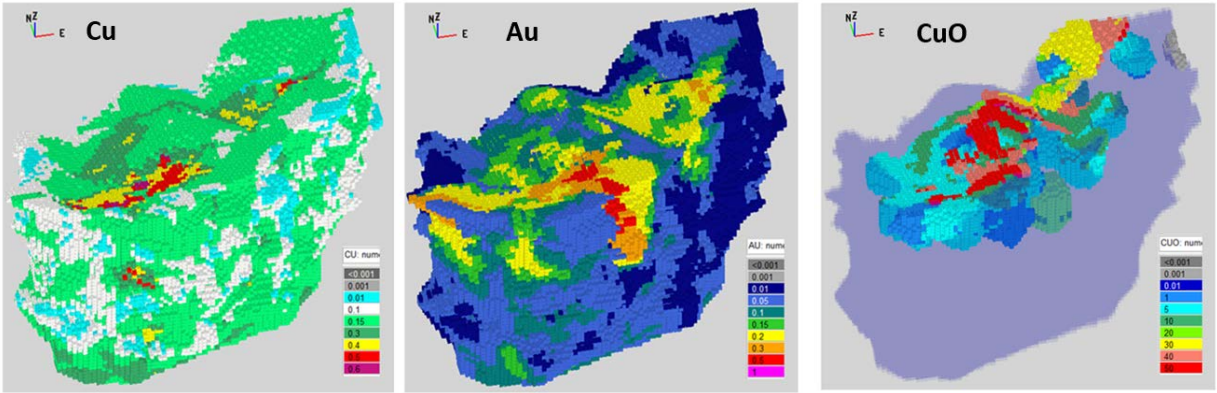
На фигура 2.3 е показан триизмерен изглед и хоризонтен план на моделираното рудно тяло по съдържанията на основното полезно изкопаемо (Cu), в едно с геолого-проучвателните сондажи.



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 откритие 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 последствия 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 й 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

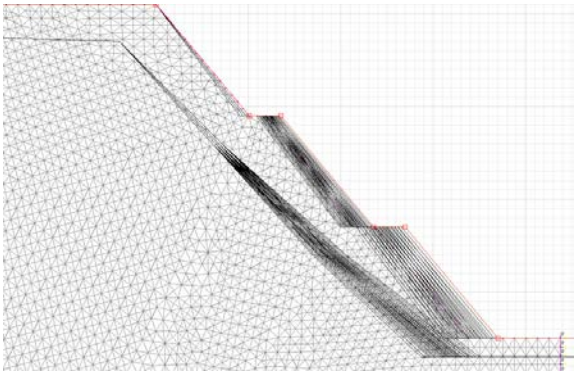
Ъглите на бордовете на рудник „Елаците“, заложени в специализирания софтуер при търсене на концептуалните контурни граници (*ъгъл на борда по лито-тектонски домейн)* и параметрите за проектиране на контурните граници (*конструкция на борда, спрямо „генералния“ ъгъла на борда по лито-тектонски домейн*),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

Таблица 2.3

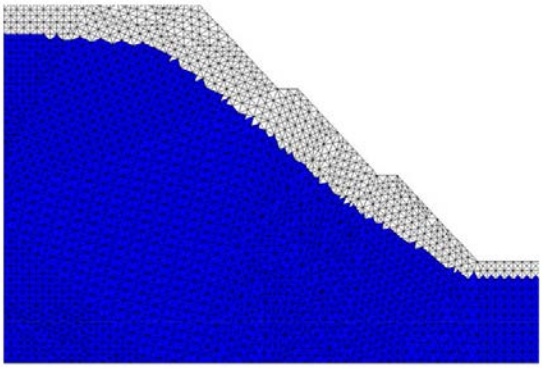
Геотехнически параметри използвани при търсене на контурните граници и параметри за конструкцията на борда									
Литоложка разновидност	**Атрибутивен код в блоковия модел**		**Бордови ъгли**	**Параметри за конструкцията на борда при проектиране, спрямо заложените ъгли по лито-тектонски домейн**					
	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**	**Ширина на транспортните площадки/ наклонени полутраншеи, 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 й 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:

o 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, който 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%
Обслужваши 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
Обслужваши звена, Разходи за екология	$/t	11%		
Управление ОК	$/t	11%		
Общо	$/t	100%		
Извлекаемост за мед	%	...%		
Извлек. за мед (смесени)	%	...%		
Платима мед	% (from conc)	конфиден.		
Извлекаемост 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	**Въвежда се цената на металите на LME**		
Платима	(%)/(gr.)	конф.	конф.	конф.	конф.	**Отчита се платимия метал в концентрата**		
Платима цена	US$/t ; US$/Oz	**конф.**	**конф.**	**конф.**	**конф.**	**Платима цена след отбив от платимия метал**		
Разходи за преработка в рафинерията	US$/t	конф.	конф.	конф.	конф.	**Важно е всички разходи по концентрата, да бъдат приравнени към $/t metal.**		
Разходи за рафиниране	US$/t	конф.	конф.	конф.	конф.			
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 MPEP	U$/lb; US$/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 TP↓	↓без TP↓	↓без TP и BP и CP↓
Разходи за добив в РК (без транспорт)	U$/t	89%		89%		89%	89%	67%
Обемно тегло	g/cm³	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****;*

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

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, m³;*

ρ *– обемната плътност на скалите t/m³.*

- *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);*

$$MC_{bl.W.VE...} = \left(Q_{bl.} \times C_{MC\ без\ р.тр.}\right) + \left[Q_{bl.} \times \left(TC_{tkm} x L_{ср.тр.р-е\ хор.}\right)\right], \$/bl, \quad (2.3)$$

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

$C_{MC\ без\ р.тр.} = 1,28\ \$/t$;

TC_{tkm} *– разходите за извозване на откривката в РК на разстояние от 1 km* $TC_{tkm} = 0,529 \$/t$;

$L_{ср.тр.р-е\ хор.}$ *– средното прогнозно транспортно разстояние за съответния хоризонт*

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

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

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

$$MC_{bl.W.V1510} = (8\ 842,5 \times 1,28) + (8\ 842,5 \times (0,529 \times 1,5) = 18\ 334,92\ \$/bl$$

$$MC_{bl.W.V1120} = (8\ 842,5 \times 1,28) + (8\ 842,5 \times (0,529 \times 4,5) = 32\,367,97\ \$/bl$$

$$MC_{bl.W.V730} = (8\ 842,5 \times 1,28) + (8\ 842,5 \times (0,529 \times 7,5) = 46\,401,02\ \$/bl$$

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 вариантните 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 откритие 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 откритие 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:

$$\begin{aligned} FP_{bl.Cu\&Au} = & \left[\left(Q_{bl.} \times \alpha_{bl.Cu.\%}\right) \times \varepsilon_{k.Cu} \times K_{Cu} \times Cu_{price/lb} + \right. \\ & \left. + \left(Q_{bl.} \times \alpha_{bl.Au.g/t}\right) \times \varepsilon_{k.Au} \times K_{Au} \times Au_{price/oz}\right] \\ & - \left[\left(Q_{bl.} \times MC\right) + Q_{bl.} \times \left(TC_{tkm.} \times L_{cp.тр.р-е\ хор.}\right) + \left(Q_{bl.} \times PC\right)\right], \$/bl \end{aligned} \quad (2.4)$$

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;*

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

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

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

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

където: Q^{t}_{metal} *– метал Cu =1t;*

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

$Q^{pey.}_{conc.\%}$ *– 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* $Q^{pro.}_{conc.\%}$*), $/t metal Cu;*

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

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

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

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;*

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

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;*

$C_{Au.roy.}$ *– концесионната такса, $/Oz;*

$Q_{\frac{g}{t}/Oz}$ *– превръщане от g/t в Oz,* $\frac{g}{t}/Oz$*;*

MC *– разходите за добив в рудодобивен комплекс, $/t;*

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

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;*

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

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;

- откривен 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 блоковите 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 откривен 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 модула „MinePlanEconomicPlanner” – „Lerchs-Grossmann“.

Процесът на оптимизиране на представения алгоритъма включва:

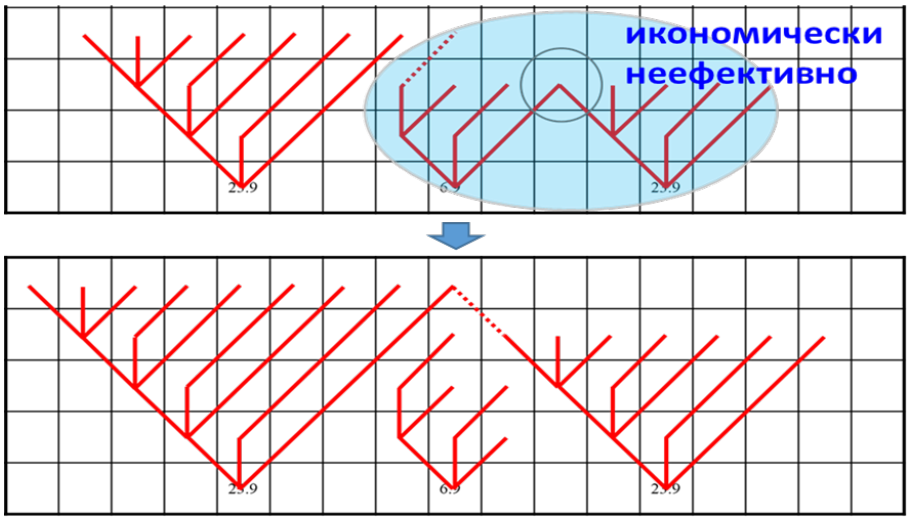
- след придаване на парична еквивалентна стойност, на всеки блок от блоковия модел, алгоритъма продължава изчисленията, като проверява връзката между блоковете, спрямо зададените бордови ъгли, като „дърво“ с множество разклонения.

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 преструктурирани повторно до намиране на оптималната им връзка.

- процеса продължава докато не се прекъснат и/или преструктурират 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 преструктурират, 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 откритя 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 ÷ 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 суривината в обогатителния комплекс. Допуска се обаче, че при обогатяването постапват 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 3.2

Определяне стойността на блока спрямо съдържанията на Cu и попътните съдържания на Au по вид скали без разходи за добив и преработка		
Икономически параметри - ДОБИВ		
Разходи за добив в РК за РУДА (с извадени транспортни разходи), $/t	1.06	
Разходи за добив в РК за ОТКРИВКА (с извадени транспортни разходи), $/t	1.06	
Трнспортни разходи в РК за РУДА, $/tkm	0.53	
Трнспортни разходи в РК за ОТКРИВКА, $/tkm	0.53	
Икономически параметри - ПРЕРАБОТКА		
Разходи за преработка в ОК, $/t	6.23	
Икономически параметри - ПРИХОД/РАЗХОД след РАФИНИРАНЕ (за определяне на бортово съдържание на Cu)		
6 000 $/t, Cu = $/lb	2.24	
1 500 $/Oz, Au = $/Oz	1 272.01	
Извличане в ОК на гранодиорити		
Cu, % (гранодиорити/шисти)	91.5%	89.0%
Au, % (гранодиорити/шисти)	70.0%	67.0%
Коефициенти за превръщане в MinePlanEconomicPlanner, част от MinePlan™3D		
за Cu	22.0462	
за Au	0.03215	
Количество на блока, t	8 842.50	

Определяне на оптималното бортово съдържание на основния полезен компонент, съгласно блоковете от блоковия модел с вариращи разходи по хоризонти и по видове скали в две направления, както следва:

- Определяне на съдържанията на полезния компонент, носещ приходи за инвеститора след разходите за добив, преработка и рафиниране;

- Определяне на оптималното бортово съдържание на полезен компонент, осигуряващ икономия след разлизиране на метала, спрямо изхвърлянето му на съоръжението за минни отпадъци в рудодобивен комплекс.

Анализ и оценка за определяне на оптимално бортово съдържание на мед по участъци във вертикала за условията на рудник "Елаците", чрез взимане под внимание на икономическите и технологични параметри за проекта

Формулен апарат: (16) $FP_{bl.Cu\&Au} = (P_{bl.Cu} + P_{bl.Au}) - (MC_{bl.ore+tr.} + PC_{bl}), \$/bl$; (11) $E_{bl.elev.} = FP_{bl.Cu\&Au} - MC_{bl.W.VE_}, (\pm)\$/bl$

Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №1)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.051	0.053	0.056	0.065	0.069	0.074	0.082	0.079	0.081		0.051	0.053	0.056	0.065	0.069	0.074	0.082	0.079	0.081	
Хоризонт	тр. р-е P, tkm	тр. р-е O, tkm																				
1270	2.193	4.373	-21 987	-17 301	-12 726	-6 225	-1 347	3 880	9 847	13 133	17 699	-20 494	-1 492	3 193	7 768	14 269	19 147	24 374	30 341	33 627	38 193	-20 494
1255	2.189	4.374	-21 968	-17 282	-12 707	-6 207	-1 329	3 899	9 865	13 151	17 717	-20 499	-1 469	3 217	7 792	14 292	19 170	24 398	30 364	33 650	38 216	-20 499
1240	1.618	3.924	-19 292	-14 606	-10 031	-3 531	1 347	6 575	12 541	15 827	20 393	-18 390	-902	3 784	8 359	14 859	19 737	24 965	30 931	34 217	38 783	-18 390
1225	1.725	3.858	-19 793	-15 108	-10 533	-4 032	846	6 073	12 040	15 326	19 892	-18 081	-1 713	2 973	7 548	14 048	18 927	24 154	30 120	33 407	37 973	-18 081
1210	1.598	3.919	-19 198	-14 513	-9 937	-3 437	1 441	6 669	12 635	15 921	20 487	-18 366	-832	3 854	8 429	14 930	19 808	25 035	31 002	34 288	38 854	-18 366
1195	1.53	4.116	-18 879	-14 194	-9 619	-3 118	1 760	6 987	12 954	16 240	20 806	-19 290	410	5 096	9 671	16 171	21 050	26 277	32 243	35 530	40 096	-19 290
1180	1.046	4.104	-16 611	-11 926	-7 350	-850	4 028	9 255	15 222	18 508	23 074	-19 233	2 622	7 308	11 883	18 383	23 262	28 489	34 456	37 742	42 308	-19 233
1165	1.088	4.142	-16 808	-12 122	-7 547	-1 047	3 831	9 059	15 025	18 311	22 877	-19 412	2 604	7 289	11 864	18 365	23 243	28 470	34 437	37 723	42 289	-19 412
1150	1.04	4.025	-16 583	-11 898	-7 322	-822	4 056	9 284	15 250	18 536	23 102	-18 863	2 280	6 966	11 541	18 041	22 920	28 147	34 113	37 400	41 966	-18 863
1135	1.066	3.845	-16 705	-12 019	-7 444	-944	3 934	9 162	15 128	18 414	22 980	-18 020	1 315	6 000	10 576	17 076	21 954	27 181	33 148	36 434	41 000	-18 020

Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №2)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.061	0.061	0.061	0.063	0.069	0.069	0.070	0.075	0.081		0.061	0.061	0.061	0.063	0.069	0.069	0.070	0.075	0.081	
1120	1.152	3.477	-14 589	-10 592	-6 473	-2 028	3 517	7 447	11 815	17 055	22 636	-16 295	1 707	5 703	9 822	14 267	19 812	23 742	28 110	33 350	38 932	-16 295
1105	1.355	3.229	-15 540	-11 544	-7 424	-2 979	2 566	6 496	10 864	16 103	21 685	-15 133	-407	3 589	7 708	12 153	17 698	21 629	25 996	31 236	36 818	-15 133
1090	1.444	3.605	-15 957	-11 961	-7 841	-3 397	2 149	6 079	10 446	15 686	21 268	-16 895	938	4 934	9 053	13 498	19 044	22 974	27 341	32 581	38 163	-16 895
1075	1.383	3.808	-15 671	-11 675	-7 556	-3 111	2 434	6 365	10 732	15 972	21 554	-17 846	2 175	6 171	10 291	14 736	20 281	24 211	28 579	33 818	39 400	-17 846
1060	1.315	4.098	-15 352	-11 356	-7 237	-2 792	2 753	6 684	11 051	16 291	21 873	-19 205	3 853	7 849	11 968	16 413	21 959	25 889	30 256	35 496	41 078	-19 205
1045	1.422	4.528	-15 854	-11 858	-7 738	-3 293	2 252	6 182	10 550	15 789	21 371	-21 221	5 367	9 363	13 482	17 927	23 472	27 403	31 770	37 010	42 592	-21 221
1030	1.682	4.867	-17 072	-13 076	-8 957	-4 512	1 033	4 964	9 331	14 571	20 153	-22 809	5 737	9 733	13 852	18 297	23 843	27 773	32 140	37 380	42 962	-22 809
1015	1.864	5.084	-17 925	-13 929	-9 810	-5 365	180	4 111	8 478	13 718	19 300	-23 826	5 901	9 897	14 017	18 461	24 007	27 937	32 304	37 544	43 126	-23 826
1000	2.094	5.555	-19 003	-15 007	-10 888	-6 443	-898	3 033	7 400	12 640	18 222	-26 034	7 030	11 026	15 146	19 591	25 136	29 066	33 434	38 673	44 255	-26 034
985	2.151	5.847	-19 270	-15 274	-11 155	-6 710	-1 165	2 766	7 133	12 373	17 955	-27 402	8 132	12 128	16 247	20 692	26 237	30 168	34 535	39 775	45 357	-27 402

Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №3)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.052	0.054	0.053	0.061	0.067	0.074	0.083	0.080	0.092		0.052	0.054	0.053	0.061	0.067	0.074	0.083	0.080	0.092	
970	2.128	5.88	-21 279	-16 735	-12 983	-7 015	-1 528	4 109	10 492	13 744	20 749	-27 557	6 277	10 822	14 573	20 542	26 029	31 666	38 049	41 301	48 306	-27 557
955	2.247	6.518	-21 837	-17 293	-13 541	-7 573	-2 085	3 551	9 934	13 186	20 192	-30 547	8 710	13 254	17 006	22 974	28 461	34 098	40 481	43 733	50 738	-30 547
940	2.483	6.835	-22 943	-18 399	-14 647	-8 679	-3 191	2 445	8 828	12 080	19 086	-32 032	9 089	13 634	17 385	23 354	28 841	34 478	40 861	44 113	51 118	-32 032
925	2.464	7.229	-22 854	-18 310	-14 558	-8 590	-3 102	2 534	8 917	12 169	19 175	-33 879	11 025	15 569	19 321	25 289	30 776	36 413	42 796	46 048	53 053	-33 879
910	2.59	7.438	-23 445	-18 900	-15 149	-9 180	-3 693	1 944	8 327	11 579	18 584	-34 858	11 414	15 958	19 710	25 678	31 165	36 802	43 185	46 437	53 442	-34 858
895	2.415	7.397	-22 625	-18 080	-14 329	-8 360	-2 873	2 764	9 147	12 399	19 404	-34 666	12 042	16 586	20 338	26 306	31 793	37 430	43 813	47 065	54 070	-34 666
880	2.367	7.549	-22 400	-17 855	-14 104	-8 135	-2 648	2 989	9 372	12 624	19 629	-35 379	12 979	17 523	21 275	27 244	32 731	38 367	44 750	48 003	55 008	-35 379
865	2.495	7.399	-22 999	-18 455	-14 703	-8 735	-3 248	2 389	8 772	12 024	19 029	-34 676	11 676	16 221	19 972	25 941	31 428	37 065	43 448	46 700	53 705	-34 676
850	2.616	7.126	-23 567	-19 022	-15 270	-9 302	-3 815	1 822	8 205	11 457	18 462	-33 396	9 830	14 374	18 126	24 094	29 581	35 218	41 601	44 853	51 858	-33 396
835	2.754	7.038	-24 213	-19 669	-15 917	-9 949	-4 462	1 175	7 558	10 810	17 816	-32 984	8 771	13 315	17 067	23 035	28 522	34 159	40 542	43 794	50 799	-32 984

Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №4)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.069	0.067	0.066	0.059	0.069	0.075	0.074	0.075	0.082		0.069	0.067	0.066	0.059	0.069	0.075	0.074	0.075	0.082	
820	2.883	7.446	-20 643	-17 046	-13 251	-11 096	-4 591	889	4 684	8 966	14 638	-34 896	14 253	17 850	21 645	23 800	30 305	35 785	39 579	43 862	49 534	-34 896
805	3.077	7.855	-21 552	-17 955	-14 160	-12 005	-5 500	-20	3 774	8 057	13 729	-36 813	15 261	18 857	22 652	24 807	31 312	36 793	40 587	44 870	50 541	-36 813
790	3.317	8.752	-22 677	-19 080	-15 285	-13 130	-6 625	-1 145	2 650	6 932	12 604	-41 016	18 340	21 936	25 731	27 886	34 391	39 872	43 666	47 949	53 620	-41 016
775	3.371	8.99	-22 930	-19 333	-15 538	-13 383	-6 878	-1 398	2 397	6 679	12 351	-42 132	19 202	22 799	26 594	28 749	35 254	40 734	44 528	48 811	54 483	-42 132
760	3.297	8.72	-22 583	-18 986	-15 191	-13 036	-6 531	-1 051	2 743	7 026	12 697	-40 866	18 283	21 880	25 675	27 830	34 335	39 816	43 610	47 892	53 564	-40 866
745	3.465	9.399	-23 370	-19 774	-15 979	-13 824	-7 319	-1 838	1 956	6 239	11 910	-44 049	20 678	24 275	28 070	30 225	36 730	42 210	46 005	50 287	55 959	-44 049
730	3.474	9.233	-23 413	-19 816	-16 021	-13 866	-7 361	-1 880	1 914	6 196	11 868	-43 271	19 858	23 455	27 250	29 405	35 910	41 390	45 185	49 467	55 139	-43 271
715	3.649	9.428	-24 233	-20 636	-16 841	-14 686	-8 181	-2 700	1 094	5 376	11 048	-44 185	19 952	23 548	27 343	29 499	36 003	41 484	45 278	49 561	55 232	-44 185
700	3.824	9.623	-25 053	-21 456	-17 661	-15 506	-9 001	-3 521	274	4 556	10 228	-45 098	20 046	23 642	27 437	29 592	36 097	41 578	45 372	49 655	55 326	-45 098
685	3.999	9.818	-25 873	-22 276	-18 481	-16 326	-9 821	-4 341	-547	3 736	9 408	-46 012	20 139	23 736	27 531	29 686	36 191	41 672	45 466	49 748	55 420	-46 012

Гранодиоритови скали (УЧАСТЪК №5)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.038	0.043	0.046	0.057	0.046	0.054	0.057	0.074	0.082		0.038	0.043	0.046	0.057	0.046	0.054	0.057	0.074	0.082	
670	4.174	10.013	-34 425	-29 188	-24 417	-17 644	-16 559	-10 458	-5 569	2 614	8 536	-46 926	12 501	17 739	22 509	29 282	30 368	36 468	41 357	49 540	55 462	-46 926
655	4.349	10.208	-35 245	-30 008	-25 237	-18 464	-17 379	-11 278	-6 389	1 794	7 716	-47 840	12 595	17 832	22 603	29 376	30 461	36 562	41 451	49 634	55 556	-47 840
640	4.524	10.403	-36 065	-30 828	-26 057	-19 285	-18 199	-12 098	-7 209	974	6 895	-48 754	12 689	17 926	22 697	29 469	30 555	36 656	41 545	49 728	55 649	-48 754
625	4.699	10.598	-36 885	-31 648	-26 877	-20 105	-19 019	-12 918	-8 030	153	6 075	-49 668	12 783	18 020	22 791	29 563	30 649	36 750	41 638	49 821	55 743	-49 668
610	4.874	10.793	-37 705	-32 468	-27 697	-20 925	-19 839	-13 738	-8 850	-667	5 255	-50 582	12 876	18 114	22 884	29 657	30 742	36 843	41 732	49 915	55 837	-50 582
595	5.049	10.988	-38 525	-33 288	-28 518	-21 745	-20 659	-14 559	-9 670	-1 487	4 435	-51 496	12 970	18 207	22 978	29 751	30 836	36 937	41 826	50 009	55 930	-51 496
580	5.224	11.183	-39 346	-34 108	-29 338	-22 565	-21 480	-15 379	-10 490	-2 307	3 615	-52 409	13 064	18 301	23 072	29 844	30 930	37 031	41 919	50 102	56 024	-52 409
565	5.399	11.378	-40 166	-34 929	-30 158	-23 385	-22 300	-16 199	-11 310	-3 127	2 795	-53 323	13 158	18 395	23 165	29 938	31 024	37 124	42 013	50 196	56 118	-53 323
550	5.574	11.573	-40 986	-35 749	-30 978	-24 205	-23 120	-17 019	-12 130	-3 947	1 975	-54 237	13 251	18 488	23 259	30 032	31 117	37 218	42 107	50 290	56 212	-54 237

Анализ и оценка за определяне на оптимално бортово съдържание на мед по участъци във вертикала за условията на рудник "Елаците", чрез взимане под внимание на икономическите и технологични параметри за проекта

Формулен апарат: (16) $FP_{bl.Cu\&Au} = (P_{bl.Cu} + P_{bl.Au}) - (MC_{bl.ore+tr.} + PC_{bl}), \$/bl$; (11) $E_{bl.elev.} = FP_{bl.Cu\&Au} - MC_{bl.W.VE_}, (\pm)\$/bl$

Шистови скали (УЧАСТЪК №1)

Cu, %			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Стерил	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Стерил
Au, g/t			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Хоризонт	тр. р-е P, tkm	тр. р-е O, tkm																				
1270	2.193	4.373	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1255	2.189	4.374	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1240	1.618	3.924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1225	1.725	3.858	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1210	1.598	3.919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1195	1.53	4.116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1180	1.046	4.104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1165	1.088	4.142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1150	1.04	4.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1135	1.066	3.845	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Шистови скали (УЧАСТЪК №2)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.053	0.051	0.071	0.070	0.087	0.072	0.081	0.073	0.065		0.053	0.051	0.071	0.070	0.087	0.072	0.081	0.073	0.065	
1120	1.152	3.477	-18 190	-14 845	-6 044	-2 479	5 653	5 819	11 832	13 913	15 923	-16 295	-1 895	1 450	10 251	13 816	21 948	22 114	28 127	30 208	32 219	-16 295
1105	1.355	3.229	-19 142	-15 796	-6 995	-3 430	4 701	4 868	10 880	12 962	14 972	-15 133	-4 009	-663	8 137	11 703	19 834	20 000	26 013	28 095	30 105	-15 133
1090	1.444	3.605	-19 559	-16 213	-7 412	-3 847	4 284	4 450	10 463	12 545	14 555	-16 895	-2 664	682	9 482	13 048	21 179	21 345	27 358	29 440	31 450	-16 895
1075	1.383	3.808	-19 273	-15 927	-7 127	-3 561	4 570	4 736	10 749	12 831	14 841	-17 846	-1 427	1 919	10 720	14 285	22 417	22 583	28 595	30 677	32 687	-17 846
1060	1.315	4.098	-18 954	-15 609	-6 808	-3 243	4 889	5 055	11 068	13 149	15 160	-19 205	251	3 597	12 398	15 963	24 094	24 260	30 273	32 355	34 365	-19 205
1045	1.422	4.528	-19 456	-16 110	-7 309	-3 744	4 388	4 554	10 566	12 648	14 658	-21 221	1 765	5 110	13 911	17 476	25 608	25 774	31 787	33 868	35 879	-21 221
1030	1.682	4.867	-20 674	-17 329	-8 528	-4 963	3 169	3 335	9 348	11 429	13 440	-22 809	2 135	5 481	14 281	17 847	25 978	26 144	32 157	34 239	36 249	-22 809
1015	1.864	5.084	-21 527	-18 182	-9 381	-5 816	2 316	2 482	8 495	10 576	12 587	-23 826	2 299	5 645	14 446	18 011	26 142	26 308	32 321	34 403	36 413	-23 826
1000	2.094	5.555	-22 605	-19 260	-10 459	-6 893	1 238	1 404	7 417	9 499	11 509	-26 034	3 429	6 774	15 575	19 140	27 272	27 438	33 451	35 532	37 542	-26 034
985	2.151	5.847	-22 872	-19 527	-10 726	-7 161	971	1 137	7 150	9 231	11 242	-27 402	4 530	7 875	16 676	20 241	28 373	28 539	34 552	36 634	38 644	-27 402

Шистови скали (УЧАСТЪК №3)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.067	0.064	0.067	0.073	0.072	0.076	0.075	0.086	0.090		0.067	0.064	0.067	0.073	0.072	0.076	0.075	0.086	0.090	
970	2.128	5.88	-19 392	-16 228	-11 507	-6 260	-2 479	2 359	5 886	12 566	17 376	-27 557	8 165	11 328	16 050	21 297	25 078	29 916	33 443	40 122	44 933	-27 557
955	2.247	6.518	-19 949	-16 786	-12 065	-6 817	-3 036	1 801	5 328	12 008	16 819	-30 547	10 597	13 761	18 482	23 729	27 511	32 348	35 875	42 555	47 365	-30 547
940	2.483	6.835	-21 055	-17 892	-13 171	-7 923	-4 142	695	4 222	10 902	15 712	-32 032	10 977	14 140	18 862	24 109	27 890	32 727	36 255	42 934	47 745	-32 032
925	2.464	7.229	-20 966	-17 803	-13 082	-7 834	-4 053	784	4 311	10 991	15 802	-33 879	12 912	16 076	20 797	26 045	29 826	34 663	38 190	44 870	49 680	-33 879
910	2.59	7.438	-21 557	-18 394	-13 672	-8 425	-4 644	194	3 721	10 400	15 211	-34 858	13 301	16 465	21 186	26 434	30 215	35 052	38 579	45 259	50 069	-34 858
895	2.415	7.397	-20 737	-17 574	-12 852	-7 605	-3 824	1 014	4 541	11 221	16 031	-34 666	13 929	17 093	21 814	27 062	30 843	35 680	39 207	45 887	50 697	-34 666
880	2.367	7.549	-20 512	-17 349	-12 627	-7 380	-3 599	1 239	4 766	11 445	16 256	-35 379	14 867	18 030	22 751	27 999	31 780	36 617	40 144	46 824	51 635	-35 379
865	2.495	7.399	-21 112	-17 948	-13 227	-7 980	-4 198	639	4 166	10 846	15 656	-34 676	13 564	16 727	21 448	26 696	30 477	35 314	38 842	45 521	50 332	-34 676
850	2.616	7.126	-21 679	-18 516	-13 794	-8 547	-4 766	72	3 599	10 279	15 089	-33 396	11 717	14 881	19 602	24 850	28 631	33 468	36 995	43 675	48 485	-33 396
835	2.754	7.038	-22 326	-19 162	-14 441	-9 193	-5 412	-575	2 952	9 632	14 442	-32 984	10 658	13 822	18 543	23 790	27 571	32 409	35 936	42 616	47 426	-32 984

Шистови скали (УЧАСТЪК №4)

Cu, %			0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	Стерил
Au, g/t			0.070	0.081	0.077	0.071	0.069	0.058	0.075	0.078	0.088		0.070	0.081	0.077	0.071	0.069	0.058	0.075	0.078	0.088	
820	2.883	7.446	-22 149	-15 494	-12 646	-10 221	-6 771	-5 659	2 491	6 872	13 415	-34 896	12 746	19 402	22 250	24 675	28 125	29 236	37 386	41 768	48 311	-34 896
805	3.077	7.855	-23 059	-16 403	-13 555	-11 130	-7 680	-6 569	1 581	5 963	12 505	-36 813	13 754	20 409	23 257	25 682	29 133	30 244	38 394	42 776	49 318	-36 813
790	3.317	8.752	-24 183	-17 528	-14 680	-12 255	-8 805	-7 693	457	4 839	11 381	-41 016	16 833	23 488	26 337	28 762	32 212	33 323	41 473	45 855	52 397	-41 016
775	3.371	8.99	-24 436	-17 781	-14 933	-12 508	-9 058	-7 946	203	4 585	11 128	-42 132	17 695	24 351	27 199	29 624	33 074	34 185	42 335	46 717	53 260	-42 132
760	3.297	8.72	-24 090	-17 434	-14 586	-12 161	-8 711	-7 600	550	4 932	11 474	-40 866	16 777	23 432	26 280	28 705	32 155	33 267	41 417	45 799	52 341	-40 866
745	3.465	9.399	-24 877	-18 222	-15 374	-12 949	-9 498	-8 387	-237	4 145	10 687	-44 049	19 172	25 827	28 675	31 100	34 550	35 662	43 812	48 194	54 736	-44 049
730	3.474	9.233	-24 919	-18 264	-15 416	-12 991	-9 541	-8 429	-279	4 103	10 645	-43 271	18 352	25 007	27 855	30 280	33 730	34 842	42 991	47 373	53 916	-43 271
715	3.649	9.428	-25 739	-19 084	-16 236	-13 811	-10 361	-9 249	-1 099	3 283	9 825	-44 185	18 445	25 101	27 949	30 374	33 824	34 935	43 085	47 467	54 009	-44 185
700	3.824	9.623	-26 559	-19 904	-17 056	-14 631	-11 181	-10 069	-1 920	2 462	9 005	-45 098	18 539	25 194	28 042	30 467	33 918	35 029	43 179	47 561	54 103	-45 098
685	3.999	9.818	-27 380	-20 724	-17 876	-15 451	-12 001	-10 890	-2 740	1 642	8 185	-46 012	18 633	25 288	28 136	30 561	34 011	35 123	43 273	47 655	54 197	-46 012

Шистови скали (УЧАСТЪК №5)

Cu, %			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Стерил	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Стерил
Au, g/t			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
670	4.174	10.013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
655	4.349	10.208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
640	4.524	10.403	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
625	4.699	10.598	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
610	4.874	10.793	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
595	5.049	10.988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
580	5.224	11.183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
565	5.399	11.378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
550	5.574	11.573	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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 лазположена 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 индетифицират по отношение на дъното на откритие 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 транспортьор (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 инфрастура 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 откритие рудник: размерите на дъното на рудника, широчината на работните, неработните и транспортните площадки,

допустимите минимални безопасни разстояния, габаритните размери и конструкнивните 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 рентабилеността 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-ниския 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 откривка.
- 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 борово 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 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 транспортьор, 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.t, с 10 години, при годишна производствена мощност от 16 млн. t/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. t 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. t руда в контура след 2031 г.)

Използвани ъгли	Оптимизирани по лито-тект.		
Вариант (бортово съдържание)	0.10/0.10	0.15/0.15	0.17/0.17
Ограничение	МГТЛ	МГТЛ	МГТЛ
Дъно на рудника	700	700	700
Руда, Mt	159.5	160.6	160.3
Съдържание на Cu, %	0.248	0.269	0.280
Съдържание на Au, %	0.114	0.120	0.123
Откривка, Mt	109.4	207.2	272.8
Рентабилност при Cu=6 000$/t и Au=1 500$/Oz, %	100.0%	46.5%	-0.2%
Коефициянт на откривка, t/t	0.69	1.29	1.70

Използвани ъгли	Оптимизирани по лито-тект.		
Вариант (бортово съдържание)	0.10/0.10	0.15/0.15	0.17/0.17
Ограничение	МГТЛ	МГТЛ	МГТЛ
Дъно на рудника	730	730	730
Руда, Mt	160.3	158.9	160.6
Съдържание на Cu, %	0.249	0.269	0.281
Съдържание на Au, %	0.116	0.121	0.123
Откривка, Mt	145.2	239.1	330.7
Рентабилност при Cu=6 000$/t и Au=1 500$/Oz, %	77.3%	18.0%	-50.4%
Коефициянт на откривка, t/t	0.91	1.51	2.06

Използвани ъгли	Оптимизирани по лито-тект.		
Вариант (бортово съдържание)	0.10/0.10	0.15/0.15	0.17/0.17
Ограничение	МГТЛ	МГТЛ	МГТЛ
Дъно на рудника	760	760	760
Руда, Mt	160.6	160.1	159.6
Съдържание на Cu, %	0.246	0.269	0.279
Съдържание на Au, %	0.115	0.120	0.122
Откривка, Mt	182.8	324.6	446.9
Рентабилност при Cu=6 000$/t и Au=1 500$/Oz, %	38.3%	-59.7%	-167.4%
Коефициянт на откривка, t/t	1.14	2.03	2.80

Повишаване кота за дъно на рудника

МАКСИМАЛНА РЕНТАБИЛНОСТ (РЕНТАБИЛНОСТ, спрямо зададените критерии)

Използвани ъгли	Оптимизирани по лито-тект.		
Вариант (бортово съдържание)	0.10/0.10	0.15/0.15	0.17/0.17
Ограничение	МГТЛ	МГТЛ	МГТЛ
Дъно на рудника	700	700	700
Руда, Mt	107.3	91.5	84.5
Съдържание на Cu, %	0.257	0.271	0.279
Съдържание на Au, %	0.121	0.125	0.127
Откривка, Mt	26.2	24.8	26.6
Рентабилност при Cu=6 000$/t и Au=1 500$/Oz, %	100.0%	94.1%	89.1%
Коефициянт на откривка, t/t	0.24	0.27	0.32

Използвани ъгли	Оптимизирани по лито-тект.		
Вариант (бортово съдържание)	0.10/0.10	0.15/0.15	0.17/0.17
Ограничение	МГТЛ	МГТЛ	МГТЛ
Дъно на рудника	730	730	730
Руда, Mt	99.4	86.4	78.5
Съдържание на Cu, %	0.257	0.272	0.281
Съдържание на Au, %	0.123	0.127	0.129
Откривка, Mt	22.4	24.0	24.6
Рентабилност при Cu=6 000$/t и Au=1 500$/Oz, %	96.1%	90.6%	85.9%
Коефициянт на откривка, t/t	0.23	0.28	0.31

Използвани ъгли	Оптимизирани по лито-тект.		
Вариант (бортово съдържание)	0.10/0.10	0.15/0.15	0.17/0.17
Ограничение	МГТЛ	МГТЛ	МГТЛ
Дъно на рудника	760	760	760
Руда, Mt	90.1	77.4	69.5
Съдържание на Cu, %	0.257	0.273	0.282
Съдържание на Au, %	0.125	0.129	0.131
Откривка, Mt	21.2	22.4	21.5
Рентабилност при Cu=6 000$/t и Au=1 500$/Oz, %	88.0%	83.0%	78.5%
Коефициянт на откривка, t/t	0.24	0.29	0.31

Повишаване кота за дъно на рудника

Представените резултати отразяват разглеждането на девет варианта при оконтуряване на запас от 160 млн. t 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. t 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. t 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. t*) 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. t 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

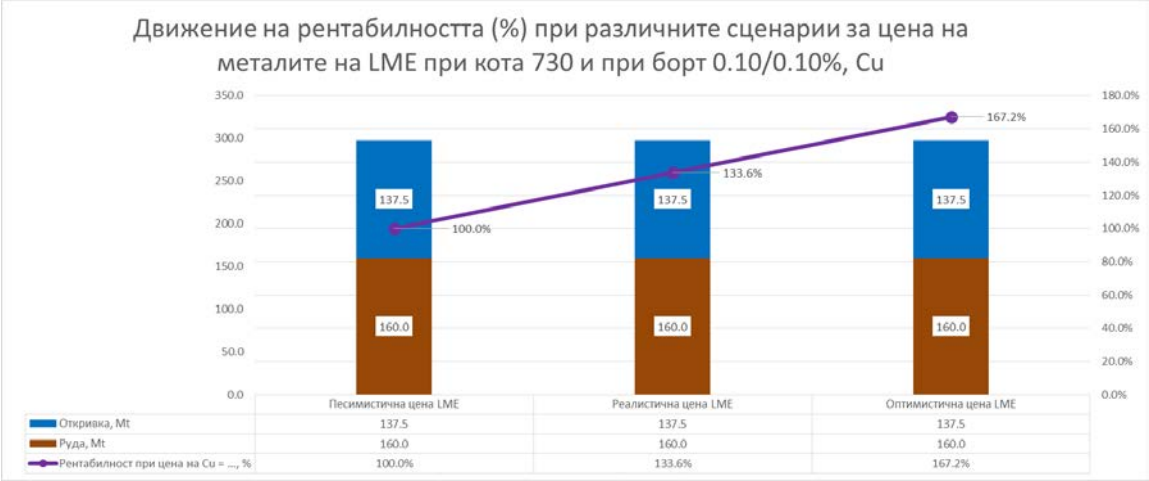
дори при най-песимистичния сценарии при кота 700 се генерира максимална печалба за контура при бортово съдържание 0,10/0,10%, Cu.

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 горецитираната 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.

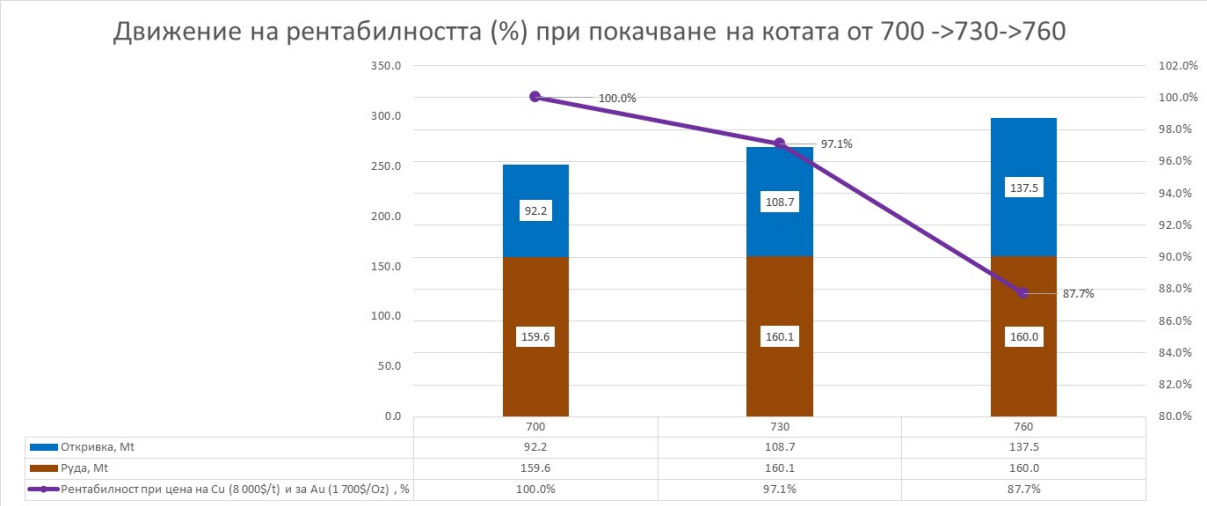
За кота 760 концептуалните контурни граници осигуряващи ≈ 160 млн. t руда са намерени при цена на медта от 8 800$/t, което отговаря на цената на медта на LME малко под оптимистичния сценарии (*Cu = 9 000$/t*) или ако цената на медта се понижи под 8 800$/t ще доведе до финансови загуби.

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 дънота на рудника: 700 ⇒730 ⇒ 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.

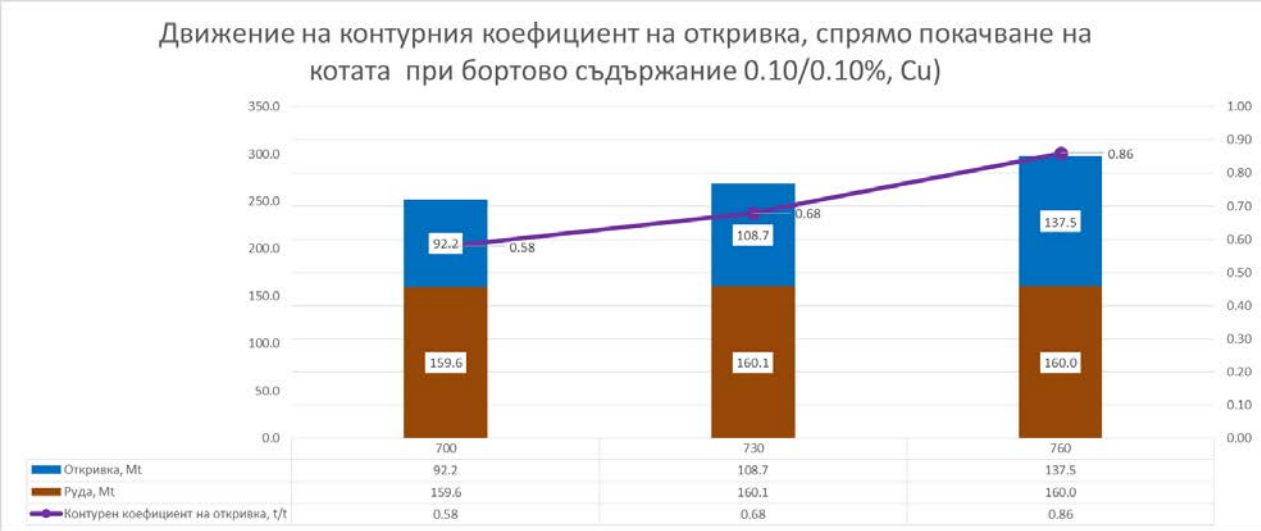
Таблица 4.3

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 удълбаване 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

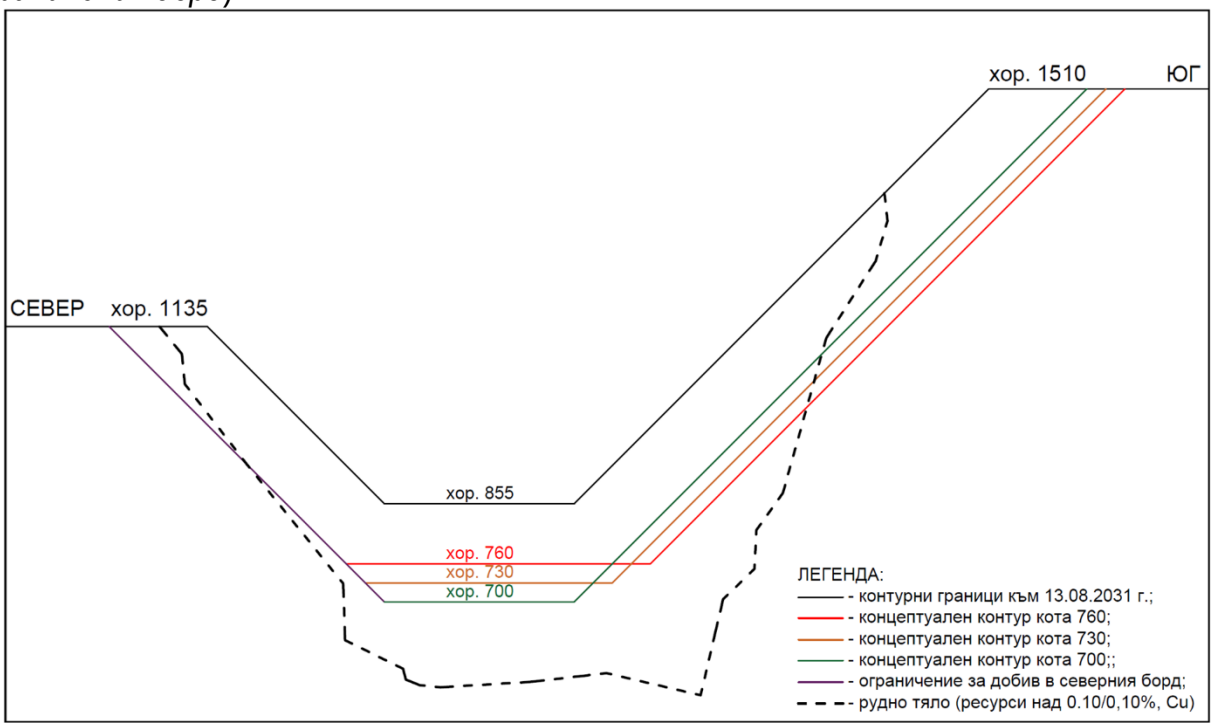
- **контурен коефициент на откривка** (t/t)

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. Отразено 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*).

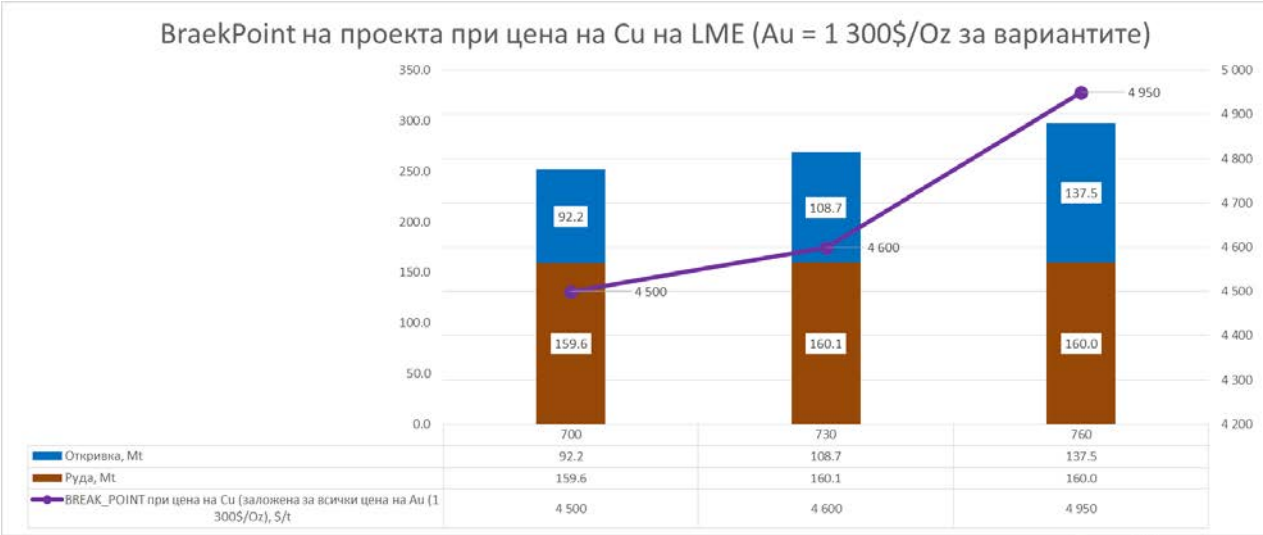


Фиг.4.8

- **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-а), изразена в цената на медта на LME, при която приходите при проектното решение са равни на разходите, респективно печалбата е раван 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, %	Разлика, %	Разлика, %
	Кота-700	Кота-730	Кота-760	между 1 и 2	между 1 и 3	между 2 и 3
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 заложения 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 ±50% през 5% ± 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 ±50% през 5% ± 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 ±50% през 5% ± 10 итерации.

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

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

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

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

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

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

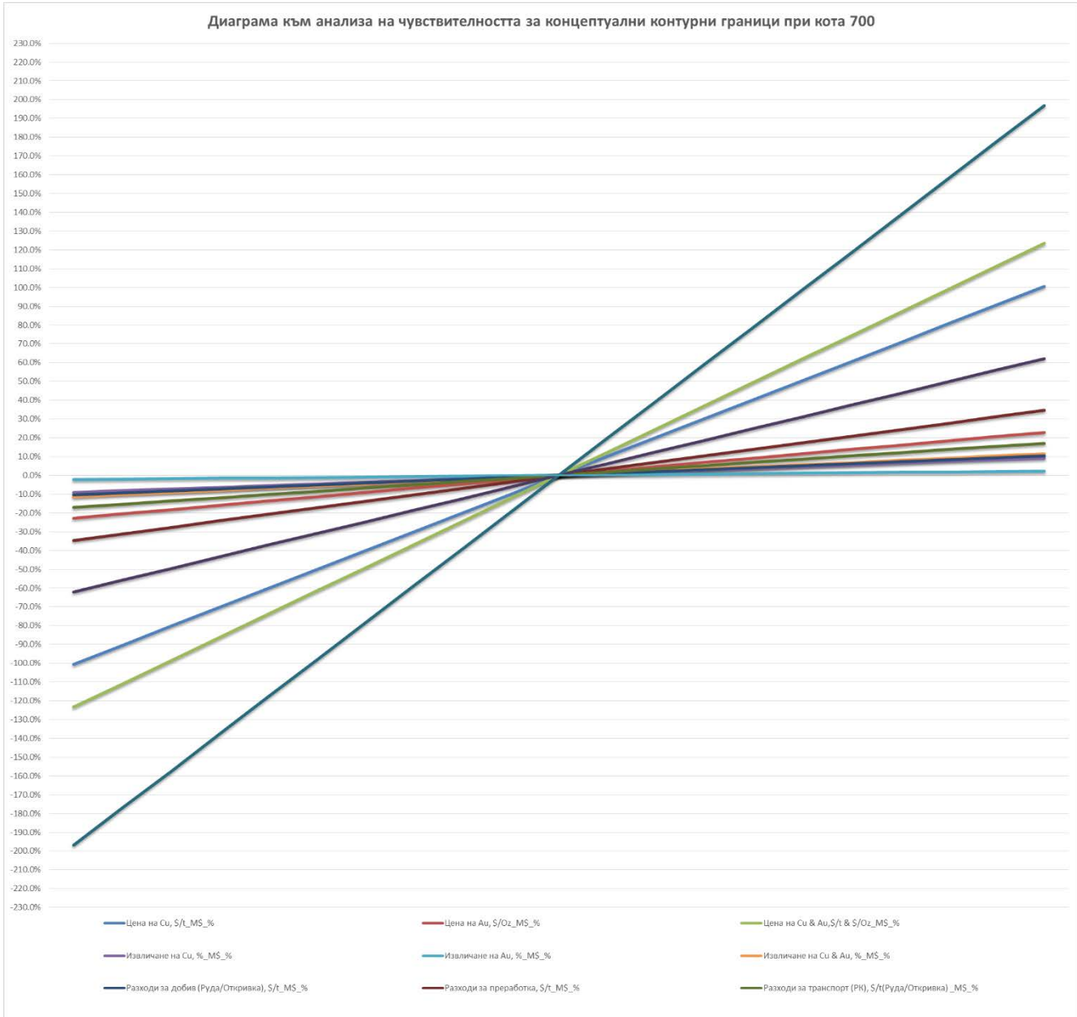
В таблицата 4.7 и на диаграма на фигура 4.10 е представен анализа на чувствителността при концептуалните контурни граници, осигуряващи 160 млн. t руда с ограничение на котата до хоризонт 700. Изменението в рентабилността, спрямо направените итерации е изразено в %, като при изследваните параметри по 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 „коеф. 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 ±5% (*до ±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 „коеф. 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
1	Цена на Cu, $/t_%	8 000	± 5%	±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
					-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, $/Oz_%	1 700	± 5%	±10	850	935	1 020	1 105	1 190	1 275	1 360	1 445	1 530	1 615	**1 700**	1 785	1 870	1 955	2 040	2 125	2 210	2 295	2 380	2 465	2 550
					-22.9%	-20.6%	-18.3%	-16.0%	-13.7%	-11.4%	-9.1%	-6.9%	-4.6%	-2.3%	**0.0%**	2.3%	4.6%	6.9%	9.1%	11.4%	13.7%	16.0%	18.3%	20.6%	22.9%
3	Цена на Cu & Au,$/t & $/Oz_%	8 000 / 1 700	± 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
					-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%
4	Извличане на Cu, %_%	91.5/90	± 0.5%	±10	86.9/85.5	87.4/86.0	87.8/86.4	88.3/86.9	88.8/87.3	89.2/87.8	89.7/88.2	90.1/88.7	90.6/89.1	91.0/89.6	**91.5/90**	92.0/90.5	92.4/90.9	92.9/91.4	93.3/91.8	93.8/92.3	94.2/92.7	94.7/93.2	95.2/93.6	95.6/94.1	96.1/94.5
					-9.2%	-8.2%	-7.4%	-6.4%	-5.4%	-4.6%	-3.6%	-2.8%	-1.8%	-1.0%	**0.0%**	1.0%	1.8%	2.8%	3.6%	4.6%	5.4%	6.4%	7.4%	8.2%	9.2%
5	Извличане на Au, %_%	70	± 0.5%	±10	66.5	66.9	67.2	67.6	67.9	68.3	68.6	69.0	69.3	69.7	**70**	70.4	70.7	71.1	71.4	71.8	72.1	72.5	72.8	73.2	73.5
					-2.3%	-2.0%	-1.8%	-1.6%	-1.4%	-1.1%	-0.9%	-0.7%	-0.5%	-0.2%	**0.0%**	0.3%	0.5%	0.7%	0.9%	1.2%	1.4%	1.6%	1.8%	2.1%	2.3%
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	90.6/69.3	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
					-11.5%	-10.2%	-9.2%	-7.9%	-6.8%	-5.7%	-4.5%	-3.4%	-2.3%	-1.2%	**0.0%**	1.3%	2.3%	3.5%	4.5%	5.8%	6.8%	8.0%	9.2%	10.3%	11.5%
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
					-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%
8	Разходи за преработка, $/t_%	6.23	± 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
					-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%
9	Разходи за транспорт (РК), $/tkm _%	0.53	± 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
					-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%
10	Разходи за добив + Разходи за транспорт в РК, $/t_% Разходи за преработка, $/t_%	Комбинация от №7, 8 и 9	± 5%	±10	№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
					-62.2%	-55.9%	-49.8%	-43.4%	-37.2%	-31.1%	-24.8%	-18.6%	-12.5%	-6.3%	**0.0%**	6.2%	12.4%	18.6%	24.8%	31.0%	37.3%	43.4%	49.6%	56.0%	62.1%
11	Изследване на всички параметри заедно №1,2,4,5,7,8 и 9	Комбинация от №1÷10	± 5%/± 0.5%	±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
					-197.0%	-177.1%	-157.7%	-137.7%	-118.0%	-98.5%	-78.7%	-59.1%	-39.4%	-19.8%	**0.0%**	19.8%	39.4%	59.2%	78.7%	98.5%	118.1%	137.8%	157.5%	177.3%	196.9%

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 (РК), 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**
Процентана стъпка за итерацията	**коеф. от $**	**коеф. 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**
Процентана стъпка за итерацията	**коеф. от $**	**коеф. от $**	**коеф. от $**	**коеф. от $**	**коеф. 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 ±25% и коефициента на вариация, спрямо рентабилността при използване на параметрите по задания, следствие на негативното отклонение до ±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 откритие рудник:

о за същото е необходимо да се разгледат вариантите за разполагане на площадка (точка на заустване), където да бъде входа за прокарване на отводнителната щолня;

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

о 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 откритие рудника, с цел минимизиране на разходите след края на живота на рудника;

о 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;

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

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

о при кота 700 необходимата вместимост за съоръженията за минни отпадъци би била с около 6-6.5 млн. m^3 по-малка от варианта за кота 730;

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

о при избор на кота 700 последващото търсене на контурни граници би осигурило възможността за оконтураване 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 откритие 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 оптимана 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 оптимана 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., Minable 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.