

До проф. Др Ивайло Копрев  
Председател на научно жури,  
Определено със  
Заповед № Р-476 , 20.06.2023  
на Ректора на МГУ - София

## РЕЦЕНЗИЯ

От проф.дн инж. Йордан Янков Христов  
Катедра „Инженерна Химия“,  
Химикотехнологичен и Металургичен Университет , София

на

дисертационен труд

“Анализ и разработване на стратегически варианти за развитие на рудник „ЕЛАЦИТЕ“  
представен от маг.инж. Ивайло Тодоров Николов,  
в направление 5.8 „Проучване ,добив и обработка на полезни изкопаеми“,  
докторска програма“ Открит и подведен добив на полезни изкопаеми“

- **Във връзка с процедурата и представените документи:**

Документацията и е представена според изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за приложението му в МГУ, София.

### **Биографични данни, професионална развитие на докторанта**

маг.инж. Ивайло Тодоров Николов завършва МГУ-София през 2004 г , като бакалавър със специалност „Разработка на полезни изкопаеми“ . През периода 2004-2005 защитава магистърска степен по специалност „ Открито разработване на полезни изкопаеми“.

След завършване на МГУ, инж. Ивайло Николов работи в редица минни предприятия в България и придобива значителен професионален опит.

### ***Съдържание на дисертацията и развити проблеми***

Дисертацията съдържа 127 страници организирани в 4 глави, генерални изводи и литература с 93 източника.

Основните проблеми и резултати, по глави , са както следва:

#### **Глава 1:**

Докторантът прави задълбочен анализ на планирането на миннодобивните работи като задача изискваща висока степен на достоверност на информацията по отношение на качествените показатели на полезното изкопаемо (съдържание на полезен компонент в рудата) в масива, и разпределение на добивните участъци във времето и в пространството, изменчивостта на инженерно-геоложките условия и т.н. Прави задълбочен анализ на аналитичните методи

използвани за определяне на границите на откритите рудници основаващи се на изчисления, извършени с помощта на опростени геометрични модели на рудните тела, разглеждащи добивните работи като статични.

При формулиране на основната задача на дисертацията на е разгледан проблема за актуалните проблеми свързани с разработването и развитието на рудник „Елаците“

Разгледани са проблемите за:

1. 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;
2. Намиране на оптимална кота за дъно на рудника по икономически, технологични и екологични критерии.

Въз основа на така поставените проблеми дисертационният труд разглежда задълбочено методите, които се прилагат при търсене на крайни (оптимални) контури на разработките, на концептуално ниво, чрез съвременните специализирани софтуерни продукти в частта на стратегическото минно планиране условията на рудник „Елаците“. Тази задача е сложна и изисква оптимизационен подход развит с следващите глави на дисертацията, но основните направления са :

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 контурни 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“.

*Използвани са :*

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

## **Глава 2 :**

Тази глава разглежда приложимите подходи при моделиране отчитайки специфичните особености на рудник „Елаците“ с хоризонт към 13.08.2014 г.

С използване на „MinePlan™3D“, софтуерен продукт на „Hexagon Mining“ (HxGN), внедрен за работа в рудник „Елаците“ в частта си за моделиране и изграждане на триизмерни модели, са разработени следните проблеми :

- **Модел на началната повърхнина за търсене и оконтуряване на запас от 160 млн. тона руда**, като 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 гравитач-ното отводняване на издетото пространство (котлована) до края на настоящия концесионен срок.
- **Ресурсен блоков модел 2020 г. (ВМ'20)** създаден въз основа на данните от геолого-проучвателните сондажи, извършени до края на 2020 г. от началото на геолого-проучвателните работи за находище „Елаците“. Данни са въвеждани в база данни със съответстващите им координати, инклинометрия, лотоложки характеристики и химично опробване.
  - Данните от геолого-проучвателните сондажи, в частност единичните проби са осредне-ни в 15 /петнадесет/ метрови композитни интервали, като са отчетени границите между ли-толожките типове скали. Същите се използват за моделиране на изо-повърхността (минерализирана обвивка), както и данните от експлоатационното проучване (във вече отработените участъци на рудно-то тяло).
  - Минерализираната обвивка е прието да се моделира с граница, отстояща на 25 /двадесет и пет/ m от периферните „рудни“ сондажи в находището, определени по съдържания по-големи или равни на 0.100%, Cu.
  - За да се отчетат вътрешно-стерилните (непродуктивни) участъци на рудното тяло са моделирани безрудни тела (дайки), моделирани по данни от детайлното и експлоатационно проучване.
  - Моделираните геоложки тела, поделени на лито-тектонски домейни се пресичат с ми-нерализираната обвивка (моделирана по 0,100%, Cu), като по този начин същите биват раз-делени на рудна и условно приета стерилна част (съдържания под 0,100%, Cu), в зависимост от това дали попада вътре или извън изоповърхността.
- Посочените модели се разработват и служат като основа при изграждането на блоковия модел, като същите вече разделени на рудна и стерилна част се задават с кодове в блоковия модел със съответстващите им плътностни характеристики. Геоложките тела са обединяват на база специфичните металургични характеристики на рудата и същите се използват при интерполацията на металните съдържания.
- Изграждането на блоковия модел се извършва, чрез интерполация на композитните съдържания, по метода на ординарния кригинг в границите на минерализираната изоповърхност.
- Моделът се запълва с информация за съдържанията последователно: по мед, злато и меден окис (необходима за търсене на концептуални контурни граници по зададени критерии).

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

В това направление са разгледани :

- Оптимизирането на геометричните параметри на конструкцията на рудник „Елаците“ за определяне на оптималната кон-фигурация на открития рудник в контекста на безопасността и възвръщаемостта на инвести-цията, след отчитане на резерв от предварително изчислен коефициент на устойчивост. Приети са стойности за коефициент на устойчивост при следните условия:
  - За водонаситени откоси с ниски последствия при разрушаването, коефициентът на устойчивост е приет да е равен или да бъде над 1,10, с вероятност коефициентът да бъде под 1-ца до 15-20%. Допуска се, че 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 при-дава на всеки отделен лито-тектонски домейн е базиран на данните получени при теренни и лабораторни геотехнически изследвания, изразяващи механичното поведение на скалния 41
  - С описаните по-горе параметри, по методиката на Ноек-Brown се изчисляват якостни-те и деформационни свойства на скалния масив. Като най-често използваните критерии за разрушаване са на Ноек-Brown и Mohr-Coulomb. Скалният масив е приет за еласто-пластичен с еднакви върхови и остатъчни якостни свойства. За всеки лито-тектонски домейн от модела, потенциалните режими на разрушаване се оценяват за съответния мащаб и откоса се оразмерява спрямо поставените граници на допустима устойчивост.

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

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 (в лицето на откоса, на борда) към концептуално положение на кон-тура, 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.

Алгоритъмът е представен, чрез пример за лито-тектонски домейн „101“ (GDR), къде-то:

- 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;

- **Икономически показатели за търсене на оптимални крайни граници**

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.

- **Изчисляване на икономическите показатели посредством модула „MinePlanEconomicPlanner“ на софтуера „MinePlan™3D“**

Данните за икономическите показатели, необходими при определяне на бортовото съ-държание 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 зави-симост 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 отдел-но перо.
- **Дефиниране на рудните и откривните блокове в геоложкия структурен мо-дел**

Един от най-важните елементи при търсене на оптимални крайни граници на откри-тия 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. Използваният формулен апарат от софтуера за изчисляване на стойността на всеки блок се основава на Khalokakaie (1999) и Petrov (2017).

Глава 3.

Разгледан е **алгоритъм за търсене на крайни (оптимал-ни) контурни граници чрез „MINEPLAN3D“.**

За търсенето на краен оптимален контур, чрез софтуера на „MinePlan3D“ е приложен модула „MinePlanEconomicPlanner“ – „Lerchs-Grossmann“ предложен през 1965 г., като алгоритъм за 2D решение при търсенето на краен контур за открити рудници, чрез оптимизиране на контурите, осигуряващи максимална печалба. Методът изисква голям брой итерации, но чрез същия успешно се намира крайния оптимален контур за открито отработване, спрямо заложените входни параметри, модели и ограничения.

- Разработената методика за условията на рудник „Елаците“ се основава на:
  - информация за съдържанията на мед и злато във всеки отделен блок на блоковия модел и по-конкретно оставащите ресурси след края на концесионния срок 13.08.2031 г.;

- изследване за зависимостите между съдържанията на мед и злато, използвайки медта, като основен полезен компонент, а златото като вторичен (попътен).
  - Целта на изследването е да се определи по математически път с относителна точност бортовото съдържание, при което следва да се търсят контурните граници за открития рудник, чрез максимизиране на печалбата.
- **Формулиране на ограничения за добивните участъци**

Най-общо ограниченията са: - инфраструктурни, екологични, технологични и допълнителни.

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 структуроопределящи за масива в южния борд на рудника, затруднява трасирането на вътрешно-руднични пътища в тази зона.

Развитието на пътната инфраструктура по предварително зададените критерии се явява като допълнително ограничение при моделиране на оптималния контур на рудника

#### **Глава 4**

Разгледани са оптималните контурни граници за рудник „ЕЛАЦИТЕ“ на концептуално ниво с използване на коментирания по-горе софтуер и наложени физически и икономически ограничения.

#### **Основни резултати на дисертацията**

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, показвайки 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. 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 теоретични и 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. Развита е и апробиран Алгоритъм за търсене на крайни (оптимални) контурни граници чрез „MINEPLAN3D“ за условията на рудник «Елаците».
5. Разгледани са перспективните сценарии (по варианти) за удължаване срока на експлоатация на рудник „Елаците“.
6. Приложеният анализ на чувствителността на метода позволява да се определи зависимостта между крайните граници на открития рудник и дълбочината на разработване.

Приемам всички приноси на дисертанта като значими и съответстващи на съдържанието на представената дисертация.

### **Публикации по дисертацията**

В процеса на разработване на дисертацията са публикувани 4 научни труда : 3 като доклади на конференции и 1 в списание „Минно Дело“. Всичките съответствуват на изискванията на закона за академичното развитие в даденото научно направление.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Във връзка с изложеното по-горе предлагам на научната жури да присъди научната и образователна степен „доктор“ на маг.инж. Ивайло Тодоров Николов, в направление 5.8 „Проучване ,добив и обработка на полезни изкопаеми“, докторска програма“ Открит и подведен добив на полезни изкопаеми“

18. 07. 2023 г.

проф.дн инж. Йордан Янков Христов