

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ.ИВАН РИЛСКИ”
МИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ”

Георги Ангелов Дачев

**ГЕОМЕХАНИЧНА ЛОГИСТИКА ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕТО
НА ПОДДЪРЖАЩИТЕ ЦЕЛИЦИ ПРИ СИСТЕМИТЕ НА
РАЗРАБОТВАНЕ С ОТКРИТО ДОБИВНО ПРОСТРАНСТВО**
(На примера на рудник „Ерма Река”, находище „Гюдюрска”)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд, представен за присъждане на образователна и
научна степен „ДОКТОР”

Научна специалност: „Подземен добив на полезни изкопаеми”

Научен ръководител:

Проф. д-р инж. Венцислав Симеонов Иванов

Рецензенти:

Проф. д-р Димитър Стоянов Анастасов

Проф. д-р Драгомир Стефанов Стефанов

София, 2016 г.

Дисертацията съдържа 138 страници; 65 фигури; 28 таблици; 52 формули и 110 литературни източници.

Дисертационният труд е обсъден от разширен катедрен съвет на катедра „Подземно разработване на полезни изкопаеми“ и е предложен за защита пред Научно жури, съгласно ЗРАСРБ, определено със заповед №-Р-20 от 11.01. 2016 г. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“

Защитата на дисертацията ще се състои на 16.03.2016 г. от 11:00 часа в зала 236 „Геострой“ на МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „Св. Иван Рилски“ за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“.

Дисертационният труд, авторефератът, рецензията и становищата на членовете на научното жури са на разположение на интересуващите се в канцеларията на сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“ в сградата на Ректората етаж III, стая 79.

Автор: Георги Ангелов Дачев

Заглавие: Геомеханична логистика при оразмеряването на поддържащите целици при системите на разработване с открито добивно пространство (На примера на рудник „Ерма Река“, находище „Гюдюрска“)

Тираж: 25 броя

Печат: Издателска къща „Св. Иван Рилски“ МГУ НИС

Адрес: 1700 София, Студентски град
МГУ „Св. Иван Рилски“

УВОД

Системите на разработване с открито добивно пространство (камерно-стълбови и непрекъснати) намират все по-голямо приложение в подземният добив на полезни изкопаеми. Причините за това са комплексни - едни от тях са възможностите на съвременните софтуери да решават задачи от различен тип, свързани с оразмеряването на конструктивните елементи в системите на разработване.

Дисертацията е насочена към геомеханичната логистика при оразмеряването на изолираните междукamerни поддържащи целици осигуряващи устойчивостта на камерно-стълбовите и непрекъснатите системи на разработване.

В първата част, на дисертационният труд е извършен задълбочен анализ на множество формули и методи за оразмеряване. След запознаване с тези многообразни методи са посочени предимствата и недостатъците им. Основният проблем, който е предмет за решаване в настоящия дисертационен труд е оразмеряването на системата добивна камера/поддържащ целик (ДК/ПЦ).

Решаването на този проблем е залегнало още от втората глава на дисертацията със съставяне на методология, която осигурява комплексна логистика, характеристика на масива и вземане на проектни решения свързани с оразмеряването.

Третата част от дисертацията отразява проведените многообразни лабораторни и "in situ" методи за характеристика на масива в експлоатационния участък.

Експерименталните изследвания са представени в четвъртата глава. Там са обосновани факторите определящи напрегнатото и деформирано състояние (НДС) на системата ДК/ПЦ, извършени са обратни анализи и са проведени експериментални измервания, които характеризират прирастите на натоварване, граничната носеща способност и механизмите на разрушаване на поддържащите целици.

На базата разработените четири глави накрая се открояват и научно-приложните приноси на докторанта.

Последната част на дисертацията представлява списък на използваните литературни източници.

ОСНОВНО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА ПЪРВА. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

1.1. Методи за оразмеряване на добивни камери и на междукамерни поддържащи целици:

Методите за оразмеряване на изолирани междукамерни поддържащи целици могат да се разделят на няколко основни групи:

- Евристични методи;
- Аналитични методи;
- Емпирични методи;
- Числени методи.

1.2. Фактори определящи напрегнатото и деформирано състояние (НДС) на междукамерните поддържащи целици

Основна характеристика на целика е неговото НДС, то е обуславено от:

- Естественото поле на напрежения;
- Структурните и литоложки характеристики на масива;
- Технологичните параметри на добивният участък;
- Механичните и структурни характеристики на изграждащите целика типове скали.

1.2.1 Фактори влияещи при оразмеряването и определящи устойчивостта на междукамерните поддържащи целици

Основните фактори оказващи влияние върху оразмеряването, респективно върху устойчивостта на изолираните междукамерни поддържащи целици са:

- напрегнато състояние на целика;
- носещата способност на целика.

Единен метод за оценка устойчивостта на поддържащите целици на база горните два фактора е представен с общата формула 1. С нейна помощ се определя и се прави оценка на един от най-важните фактори - коефициентът на местна (локална) устойчивост F.S. (FOS) на целика.

$$F.S.=S_p/\sigma_p \quad (1)$$

1.3. Методи за оразмеряване на изолирани междукамерни поддържащи целици

1.3.1 Определяне на напрегнатото състояние на междукамерните поддържащи целици

Основните групи методи определящи напрегнатото състояние на междукамерните поддържащи целици са:

- Метод на прилежащата площ;
- Емпирични методи;
- Числени методи;
- Аналитични методи.

- Метод на прилежащата площ

На фигура 1 е представена конфигурация на регулярно разположени междукамерни поддържащи целици и камерите между тях. По долу е представена и съответната формула (формула 2), с помощта на която може да се определи и напрегнатото състояние на поддържащите целици по метода на прилежащата площ.

$$\sigma_p = p_{zz} (w_o + w_p) / w_p \quad (2)$$

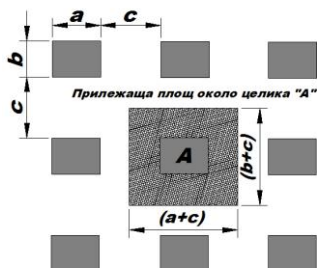
където:

σ_p - вертикалното напрежение действащо в целика, МПа.

p_{zz} - вертикалната нормална компонента, МПа.

w_o - ширина на камерата, m.

w_p - ширина на целика, m.



Фиг. 1. Анализ на напрегнатото състояние на междукамерни поддържащи целици по теорията на прилежащата площ.

- Емпирични методи за определяне на напрегнатото състояние в междукamerните поддържащи целици

Емпиричните методи за определяне на напрегнатото състояние в междукamerните поддържащи целици са се основали основно на теорията на прилежащата площ.

За определяне на средното напрегнато състояние действащо в целика при регулярно разположени добивни камери и междукamerни поддържащи целици може да се използва следната емпирична формула:

$$\sigma_p = \gamma \times H \times \left(\frac{C_1 \times C_2}{w \times l} \right) \quad (3)$$

където:

σ_p - е вертикалното напрежение действащо в целика, МПа.

γ - средно обемно тегло на скалите (почвите) до повърхността) MN/m³.

H-дълбочина на разработване, m.

w-ширина на целика, m.

l-дължина на целика, m.

C₁ и C₂- разстоянията от центъра на целика до центъра на камерата, m.

Един от най-широко използваните методи и у нас при оразмеряване на междукamerни поддържащи целици е представен с формула 4, позволяващ определянето на напрежението в поддържащите целици с различна форма и напречно сечение. Този подход е използван повсеместно при определяне на напрегнатото състояние в междукamerни поддържащи целици освен в рудни, но и в много възглищни находища на полезни изкопаеми.

$$\sigma_p = S.H.\gamma_{cp} = S \sum_{i=1}^n \gamma_i . h_i \quad (4)$$

където:

σ_p -средното напрежение в целика, МПа.

S-напречното сечение на целика, m²

H-дълбочина от земната повърхност, m.

γ_{cp} -средното обемно тегло на скалите до повърхността, MN/m³.

γ_i -обемно тегло на всеки отделен пласт скали до повърхността, MN/m³.

h_i -мощността на всеки отделен пласт на разглежданата дълбочина, m.

- Числени методи за определяне напрегнатото състояние на междокамерните поддържащи целици

Числените методи за моделиране се използват обикновено при оразмеряване, изследване поведението на масива и механизмите на разрушаване на целиците, както и за оценка на геомеханичния риск. За тези цели числените методи могат да бъдат използвани за:

- Прогнозиране риска от потенциална загуба на устойчивост;
- Предвиждане и оценяване характера, местоположението и размера на потенциално нарушаване на масива;
- Получаване на представа за причините довели до разрушаване;
- Идентифициране на критични геомеханични фактори, които спомагат за разрушаването;
- Осигуряване на етапност при симулиране на експлоатационните работи.

Най-често използваните методи за моделиране и параметричен анализ се разделят на две групи - методи за непрекъсната и методи за дискретна среда.

Методите за непрекъсната среда са:

- Метод на крайните елементи (МКЕ) (FEM);
- Метод на крайните разлики (МКР) (FDM);
- Метод на граничните елементи (МГЕ) (BEM);
- Метод на граничните и интегрални уравнения (МГИУ)(BIEM).

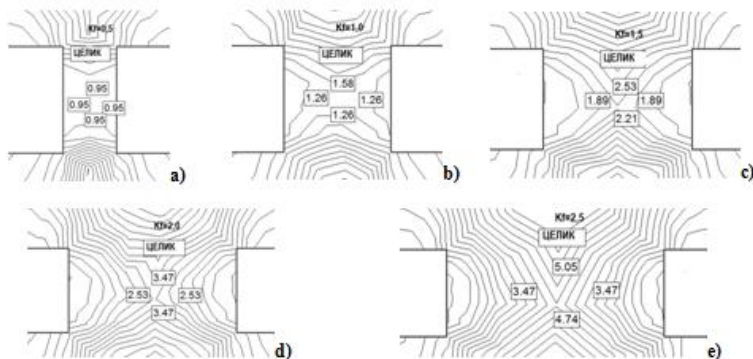
Методите на дискретните среди са:

- Метод на дискретните елементи (МДЕ) (DEM);
- Метод на дискретната мрежа и напуканост (МДН) (DEN).

С развитието на числените методи в геомеханиката в началото се използва критерият за разрушаване на Mohr-Coulomb, а в последствие се добавя и критерият на Hoek-Brown, а в най-последните версии на численото моделиране се дава възможност двата критерия да се използват съвместно. Критерият за разрушаване на Hoek-Brown изразява отношението якост (носеща способност) към действащите напрежения в конструктивния елемент. Той се дефинира, чрез максималното главно напрежение (σ_1), минималното главно напрежение σ_3 , якостта на едноосов натиск на масива (σ_c) и материалните константи m и s . Обобщеният емпиричен критерий на Hoek и Brown са предложили обобщен емпиричен критерий за определяне на устойчивостта на скалния масив, които е представен с уравнение 5.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (5)$$

На фигура 2 е представен крайният резултат при определяне на напрегнатото състояние в един поддържащ целик при промяна на неговата ширина с помощта на числено моделиране.



Фиг. 2. Моделни етапи и разпределение на напрегнатото състояние в поддържащ целик с различен коефициент на формата.

С увеличаване на коефициента на формата на поддържащия целик стойността на напрегнато състояние за всеки модел се променят, докато стойността за факторът FOS достигне устойчиво състояние т.е. $FOS > 1,0$ или $FOS > 1,5$. Този подход дава възможност и за определяне на крайните, проектни размери на един поддържащ целик оценявайки директно неговата устойчивост.

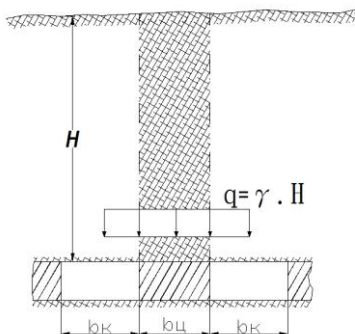
- Аналитични методи за определяне на напрегнатото състояние в поддържащите целици

Методите за аналитично определяне на напрегнатото състояние в поддържащите целици се свеждат до предварително решаване на няколко основни задачи:

- Анализ и избор на хипотеза;
- Определяне вида на напрегнато състояние и разпределението му;
- Изследване способността на материала да се съпротивлява на възникналите натоварвания в него;
- Определяне коефициента на сигурност.

- **Хипотеза за стълба на натиска**

Един от първите методи за определяне на напрегнатото състояние на поддържащи целици се основава на изчисления, включващи дълбочината и теглото на скалите до повърхността (фигура 3). В хипотезата за „стълба на натиск“ се приема, че върху междукामерните поддържащи целици действа равномерно разпределен товар, който се формира от теглото на стълба до повърхността.



Фиг. 3. Изчислителна схема към хипотезата за стълба на натиск при изчисляване на напрегнатото състояние на междукамерните поддържащи целици.

В тази хипотеза очакваното напрегнато състояние се определя съгласно формула 6:

$$P = q = \gamma H, [MPa] \quad (6)$$

където:

P - натоварването върху поддържащият целик, МПа.

γ - средното обемно тегло на скалите до повърхността, MN/m³;

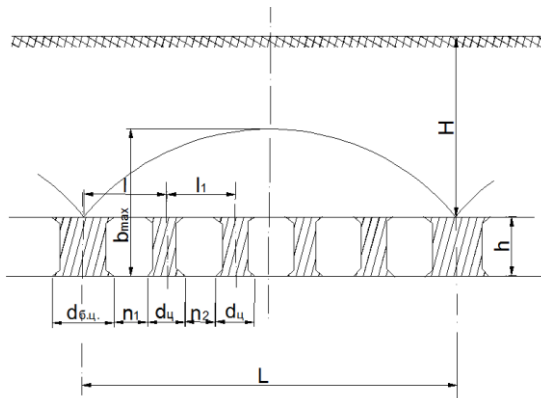
H - дълбочината на разработване, m.

Тази хипотеза се използва за определяне на напрегнатото състояние при разработване на малки дълбочини и определяне параметрите на изетите добивни пространства и целиците при оставяне на празни пространства в масива.

- **Хипотеза за свода**

В основата на хипотезата е залегнало предположението, че при наличие на масивни бариерни целици с по-големи размери и якост в двата края на добивния участък ще възприемат теглото на масива до повърхността.

Поддържащите междукामерни целици които имат по-малко сечение и се локализируют от периферията към центъра на добивното пространство, ще възприемат теглото в границите само на образувалия се параболичен свод представен на фигура 4.



Фиг. 4. Схема за определяне на напрегнатото състояние в междукамерните целици по хипотезата на свода от Гулевич.

В този случай напрегнатото състояние на междукамерните поддържащи целици ще бъде определено с израза:

$$\sigma_p = \gamma_{св} H_{св} \quad (7)$$

където:

σ_p -натоварването на поддържащите целици, МПа.

$\gamma_{св}$ -обемното тегло на скалите в границите на образувалия се свод, MN/m³.

$H_{св}$ -височина на свода, m.

1.3.2. Методи за определяне на носещата способност на междукамерните поддържащи целици

Якостта на материала, изграждащ поддържащите целици, е основен параметър, оказващ влияние върху носещата им способност. Носещата способност на междукамерните поддържащи целици може да бъде определена по три метода:

- Емпиричен метод;
- Числен метод;
- Експериментален метод.

- Емпирични методи за определяне носещата способност на междукामерните поддържащи целици

Емпирични методи за определяне носещата способност на междукамерните поддържащи целици, могат да се класифицират в следната последователност: Формули, отчитащи якостта и формата на целика, Ноек-Броун емпиричен критерий за разрушаване на масива и формули базирани на уравнението за ефективна якост на целика.

• Формули отчитащи якостта и формата на целика

Всички представени методи за определяне носещата способност на поддържащите целици са свързани с определяне коефициента на формата на целика (ширина/височина) и ненарушената якост на материала, от които е изграден целика.

$$P_s = K \cdot \left[A + B \left(\frac{w^a}{h^b} \right) \right] \quad (8)$$

където:

P_s - якост на целика, МПа.

K - коефициент свързан със якостта на материала в целика, МПа.

w - ширина на целика, m.

h -височина на целика, m.

A, B, a, b -емпирично получени константи.

В следващата формула якостта (носещата способност) на един целик се определя с квадратния корен и съотношението широчина/височина на целика. Тази връзка е предложена първоначално от Церн, Holland, Hazen и Artier.

$$P_s = K \cdot \sqrt{\frac{w}{h}} \quad (9)$$

където:

P_s – якост (носеща способност) на целика, МПа.

K -якост на едноосов натиск на кубче 30 cm образец от целика, МПа.

w - ширина на целика, m.

h -височина на целика, m.

Следващата модифицирана формула е тази, представена с уравнение 10. От тази формула се установява, че с нарастването във височината на целика, носещата му способност ще намалява.

$$P_s = K \frac{W^a}{h^b} \quad (10)$$

където:

P_s – якостта (носещата способност) на целика, МПа.

K – якостта на материала изграждащ целика, МПа.

W – ширина на целика, m.

h – височина на целика, m.

a, b – емпирично въведени константи.

• Обобщен критерий на Hoek-Brown за определяне якостта на поддържащите целици

Hoek и Brown установяват, че влиянието на структурните нарушения в целика може да се измери чрез използване на параметрите на скалния масив посредством класификации. Тези класификации използват емпиричните параметри "m" и "s" за определяне литоложкия тип на скалния масив, и се включват във уравнение 11, за да се определи съответната якост на масива. Тази стойност сравнява изчисленото напрегнато състояние в целика, с което може да бъде определен и коефициентът на сигурност. На фигура 5 е представен преход на скалния масив от ненарушено състояние до силно нарушено състояние.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_3 \sigma_c + s \sigma_c^2} \quad (11)$$

където:

σ_1 – най-голямото главно действащо напрежение, МПа.

σ_3 – най-малкото главно действащо напрежение, МПа.

σ_c – якостта на едноосов натиск на ненарушен масив, МПа.

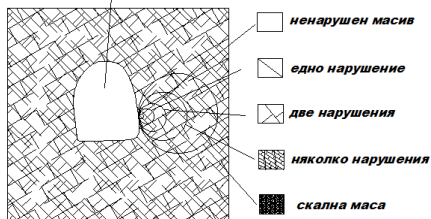
m и s – емпирични константи базирани на вида скален масив и качеството на материала изграждащ целика.

Hoek и Brown построяват и криви за оценка якостта на целици въз основа на този критерий за якост и разпределение на напреженията в моделирани целици.

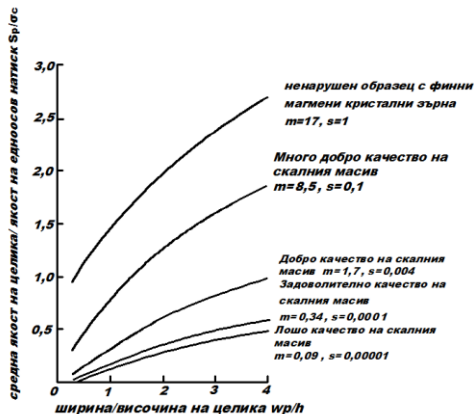
На фигура 6 е представена графика от Hoek и Brown, представяща кривите за якост на целици за магмени скални масиви. Резултатите за напрегнатото състояние в целиците се определят с помощта на числено моделиране. В модела разрушаването на целика е прието да започне, когато средният коефициент на безопасност в центъра на целика достигне до 1.0, въз основа на модела за определяне на напрегнатото състояние.

Ноек и Браун предлагат съотношението между широчина/височина на един целик и оценката на скалният масив и средната якост на целика да бъдат еквивалентни спрямо якостта на едноосов натиск на материала, от който е изграден целика с които и да се определят размерите. За да използвате този метод за различни скални масиви, следва да се изчертае серия от криви, познаващи точните стойности на "m" и "s".

Подземна изработка



Фиг. 5. Представяне на прехода от ненарушена скален масив до силно нарушен скален масив с увеличаване в размера на изследваната област (Ноек и Браун).



Фиг. 6. Определяне якостта на целиците за даден вид скален масив (Ноек-Браун)

- **Формули базирани на уравнението за ефективна якост на целика**

Една от най-точните емпирични зависимости, изразяваща ефекта от обема на целика и геометричната му форма върху якостта на целика, е тази на Нари и Агарито. Върховата якост на целика S се определя по формула 12.

$$S = S_0 \cdot V^a \cdot (w_p / h)^b = S_0 \cdot V^a \cdot R^b \quad (12)$$

където:

V-обема на целика, m³

W_p- ширина на целика, m.

h-височина на целика, m.

a,b-емпирични коефициенти

S₀- якостта на едноосов на рудния масив, МПа.

R-съотношението между ширината към височина на целика.

За целици, които са квадратни в план, степенните показатели α, β, а и b в уравнение 13 са линейно свързани чрез изразите. Стойностите за тези показатели, предложени от различни автори, са представени в таблица I.1.

$$a = \frac{1}{3}(\alpha + \beta), \quad b = \frac{1}{3}(\beta - 2\alpha) \quad (13)$$

Таблица I.1.

Емпирично определени степенни показатели α, β, а, b.

Източник	α	β	a	b	Предметна среда
Salamon and Munro (1967)	-0,66 ±0,16	0,46	-0,067± 0,048	0,59± 0,14	ЮАП- въглища; „in situ” разрушаване
Greenwald и др. (1939)	-0,83	0,50	-0,111	0,72	Питсбърг - въглища; моделни изследвания
Stear (1954); Holland and Gaddy (1957)	-1,00	0,50	-0,167	0,83	Западна Вирджиния- въглища; лабораторни изследвания
Skinner (1959)	-	-	-0,079	-	Лабораторни изследвания

I.3.3 Систематични методи на оразмеряване

Систематичните методи за оразмеряване на междукамерни поддържащи целици са предложени от автори като Именитов, Шевяков, Hedley, Grant и др.

Шевяков на база хипотезата на Турнер, дава възможност да се определят необходимите размери на поддържащите целици за хоризонтални и полегати рудни тела с помощта на формула 14.

$$S.H.\gamma_{cp} + s.h_0.\gamma \leq \frac{S[\sigma_H]}{n} \quad (14)$$

където:

h_0 -височина на целика, м.

γ - обемно тегло на скалите изграждащи целика, MN/m³.

γ_{cp} - средно обемно тегло на скалите намиращи се над целика, MN/m³.

S-площ на отработеното пространство, м².

n- коефициент на запас на якост.

H- дълбочина на разработване от земната повърхност, м.

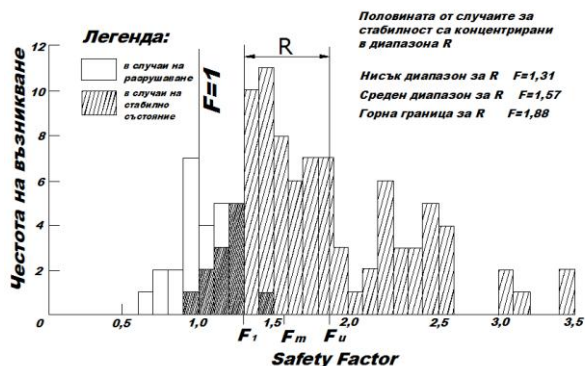
σ_H - якост на едноосов натиск, МПа.

s-площ на напречното сечение на целиците, м².

Hedley & Grant предлагат друг систематичен подход за оразмеряване на поддържащи целици въз основа на предварително получени резултати. Те предлагат якостта (носещата способност) на целика да се изчисли с "формулата за ефективен размер", представена с формула 15, а напрегнатото му състояние с помощта на предварително изведени графични зависимости. Означенията във формула 15 са идентични като тези във формула 10.

$$P_s = K \frac{W^{0,5}}{h^{0,75}} \quad (15)$$

Изборът на подходящ коефициент на безопасност по отношение на това изследване и механизмите на разрушаване на целика се основава на проектна стойност на $SF \geq 1,6$ представено на фигура 7.



Фиг. 7. Разпределение на честотите в „поведението“ (разрушаването) на ненарушени и нарушени поддържащи целици, като функция от коефициента на безопасност SF.

Различните диапазони в якостта и напрегнато състояние в целика, в случая представени заедно, установяват, че коефициентът на безопасност е функция от ширината и височината, на целика, както и от ширината на камерата.

- Експериментални и числени методи за определяне носещата способност на междукामерните поддържащи целици

Друг подход за оценка носещата способност на поддържащите целици е определяне якостта на материала, който ги изгражда и сравняването ѝ с т.н. лабораторно определена якост. Тя не е еквивалентно на реалната якост на целика, тъй като якостта на материала, изграждащ целика, е много по-голяма в сравнение с реалната.

Експериментално определяне носещата способност на изолираните междукамерни поддържащи целици може да се определи по два начина, като някои от тези методи са използвани в практиката, а други не са.

Първият начин е, чрез съпоставяне на намалено мащабно изображение (ядка) и стандартно и изпитване, отговарящо по формата на целика

Вторият начин е чрез „in situ” изпитване якостта на целият образец, т.е. целият целик, което на практика е много трудно, дори и невъзможно.

I.4. Изводи

Въз основа на литературният преглед на най-добрите практики при оразмеряване на междукамерни поддържащи целици могат да се формулират следните основни изводи:

1. Системите на разработване с открито добивно пространство (камерно-стълбови и непрекъснати) осигуряващи устойчивост единствено с изолирани междукамерни поддържащи целици са широко прилагани по света от тази гледна точка оразмеряването им е изключително актуално.

2. Оразмеряването на конструктивните елементи (изолираните поддържащи целици) на съвременен етап от минно-добивната дейност е едно от основните направления на геомеханиката.

3. В световен план необходимостта от съвременен тип оразмеряване с повишена адекватност е несъмнена, тя е свързана още и с опазването от вредното влияние на екосистемите на повърхността.

4. Обобщеният анализ на литературния обзор на най-съвременните подходи и добрите практики при оразмеряването установява, че за адекватното оразмеряване на междукамерни поддържащи целици е нужен метод, който да отчита: вида на напрегнатото състояние (интензитет и разпределение), параметрите на индуцираните от технологичните въздействия

полета, ФМС на скалите, якостно-деформационните и структурните характеристики на масива и др.

5. Оразмеряването на камерно-стълбовите системи на разработване се нуждае от актуализация, която се практикува и е в съответствие с минни практики по света.

I.5. Цели и задачи на дисертационния труд

Въз основа на извършеното проучване и анализа за състоянието на проблема при оразмеряване на изолирани поддържащи целици в дисертационния труд е поставена цел за пълно геомеханично осигуряване при оразмеряване на тези конструктивни елементи. За геомеханичното осигуряване и оразмеряване на поддържащите целици ще се акцентира само на онези, които са със стълбообразна форма, т.е. това са изолираните междукamerни поддържащи целици, предназначени да поддържат горнището от масива в оформените открити добивни пространства- камерите.

За постигането на поставените цели е необходимо да се решат следните задачи:

1. Да се структурира и състави методология за комплексна геомеханична логистика при оразмеряването на изолираните междукamerни целици. Структурната структура на тази методология да осигури необходим и достатъчен брой изследвания за осигуряване на целите на настоящото изследване.

2. Да се извърши характеризация на скалите и скалният масив по механични и структурни свойства, определяне на напрегнатото състояние, действащо върху целиците и съставяне на многомерна база данни, обуславяща параметрите на състоянието. За решаването на тази задача е необходимо да се извършат полеви наблюдения, "in situ" и лабораторни изследвания. Всички лабораторни и "in situ" изследвания да отговарят на стандартите на ISRM.

3. Да се извърши параметричен анализ на конструктивните елементи от системата ДК/ПЦ с отчитане ефектите от технологичните въздействия, посредством най-развитите и достъпни на пазара числени методи.

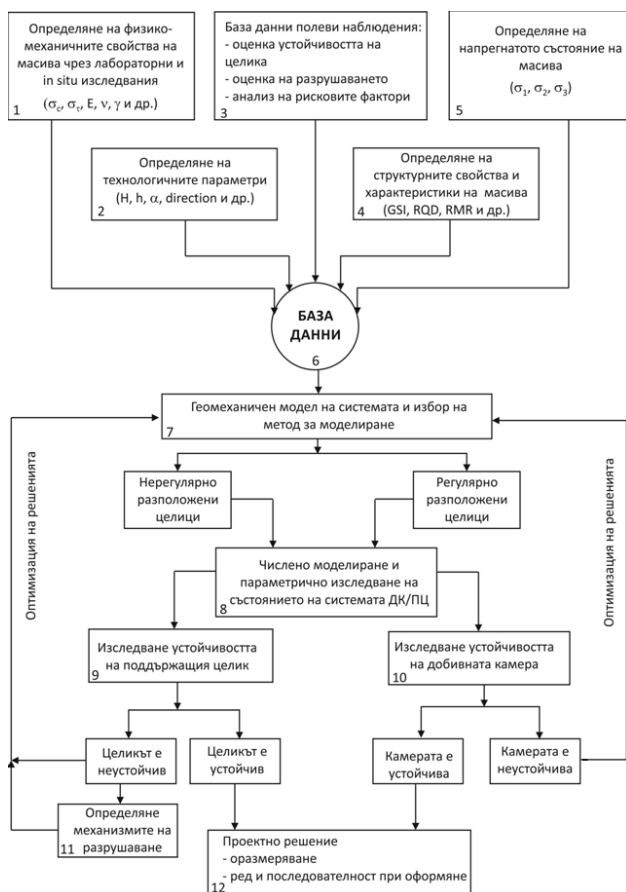
4. Да се направи оценка на геомеханичния риск и се определяне устойчивостта на системата ДК/ПЦ.

5. Да се извърши практическа проверка на представената методология, чрез всичките й структурни елементи.

ГЛАВА ВТОРА. МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ГЕОМЕХАНИЧНА ЛОГИСТИКА ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕ И ПРОЕКТИРАНЕ НА ИЗОЛИРАНИ МЕЖДУКАМЕРНИ ПОДДЪРЖАЩИ ЦЕЛИЦИ

II.1. Методология за геомеханична логистика при оразмеряване на изолирани междукamerни поддържащи целици

Методологията за геомеханична логистика при оразмеряването на междукamerни поддържащи целици е представена на фигура 8. Структурата ѝ е йерархична, освен това тя е и отворена, последното позволява избор на съставляващите я параметри.



Фиг. 8. Блок-схема на методологията за геомеханично оразмеряване на двойката добивна камера/ изолиран поддържащ целик.

Методологията осигурява логистика, възможност за креативни и разнообразни приложения, които са извън обхвата на приложението за което е изготвена, което е най-същественото и предимство.

1. Методологията започва с лабораторно определяне на якостно-деформационните и физико-механичните свойства на масива от добивните хоризонти и експлоатационните участъци.

2. Определяне на технологичните параметри - местоположението на добивните участъци, (H) от земната повърхност, наклона (α), ориентация на рудното тяло и мощност (h). Тези групи фактори идентифицират естественото напрегнато състояние (ЕНС), както и избора на технология на разработване.

3. Методологията продължава с блок от данни (полеви наблюдения), наричан още "mine history", които е базиран на проучване за механизмите на разрушаване: времето на настъпване на интензивно нарушаване по стените на целика, хронологичният ред пространствените характеристики, характерните места на интензивно на обрушаване и т.н.

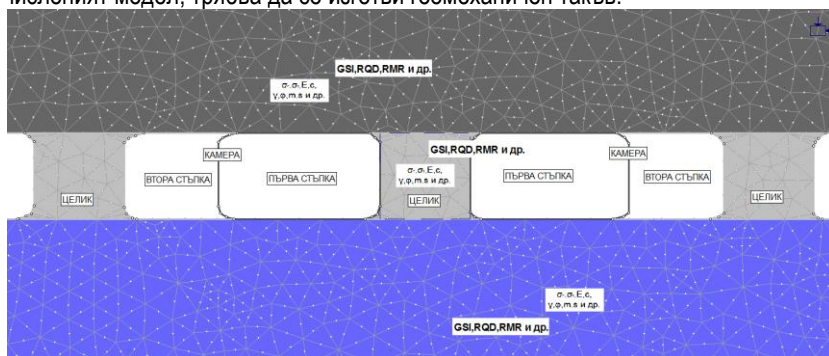
4. Определяне на структурните характеристики на масива: RMR на Bieniawski, MRMR, Rh и DRMS на Laubscher, RQD на Deere.

5. Определяне на напрегнатото състояние е главна характеристика за всяко находище на полезни изкопаеми. Естественото напрегнато състояние плюс индуцираното от водене на минните работи такова са основни фактори за оценка състоянието на масива. Изследването на напрегнатото състояние в масива може да бъде осъществено по два метода:

- Диагностичен;
- Експериментален.

6. Всички резултати от тези изследвания се използват за създаване на многомерна база данни (БД).

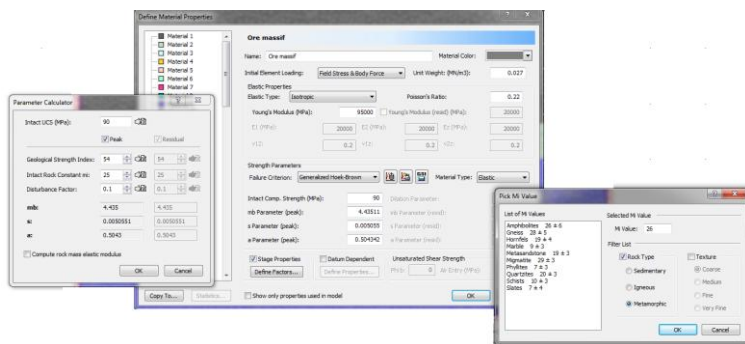
7. Геомеханичен модел и избор на метод за моделиране. Преди да се численият модел, трябва да се изготви геомеханичен такъв.



Фиг 9. Геомеханичен модел на системата ДК/ПЦ

На фигура 10 е представена част от базата данни, характеризираща всяка среда (геоложка структура) на създадения геомеханичен модел. Изготвеният геомеханичен модел представен на фигура 9 и създадената база данни характеризират масива и се използват за захранване на числения модел. Предварително са избрани няколко проектни сечения за изготвяне на параметричния анализ. За целта е избрана и последната версия на софтуера Phase² 8.0.

Софтуерът Phase² 8.0 работи по метода на крайните елементи (МКЕ) и е избран да анализира всички участъци от масива, където се водят експлоатационни процеси, свързани с оформянето на изолирани поддържащи целици и открити добивни пространства (камерите) между тях.



Фиг 10. Входни параметри за захранване на геомеханичния модел на системата ДК/ПЦ

8. Избор на метод за численото моделиране и параметричен анализ по принцип се прави в съответствие с необходимите цели и задачи. Тези цели са насочени към изследване устойчивостта на поддържащия целик и изследване устойчивостта на добивната камера. Използвани са софтуери като RocLab, RocData и Phase² 8.0, позволяващи връзка между лабораторните и интегралните характеристики на скалите, използване на различни критерии за разрушаване (Hoek-Brown, Mohr-Coulomb, и др.), детайлни решения с използване възможностите за прав и обратен анализ, определяне на начина и механизмите на разрушаване и др.

9. За изследване устойчивостта на поддържащия целик е използван численият модел работещ по МКЕ (Phase² 8.0) и е извършено симулиране на етапи от неговото оформяне с развитие на минните работи. При този етап могат да се сравнят и експериментално получените резултати с резултатите от параметричния анализ, да се определят механизмите на разрушаване, да се анализират резултати за настъпилите деформации, премествания, напрегнато състояние и т.н.

10. Определяне устойчивостта на тавана на добивната камера се осъществява на базата на метода на граничното равновесие при отчитане на натисковите и опъновите съставляващи. За устойчивост на горнището се приема коефициент на сигурност, препоръчаната стойност на който е $FOS \geq 1.5$.

11. За да се направи адекватна оценка в якостта и напрегнатото състояние, респективно носещата способност на поддържащите целици, е необходимо да се оценят механизмите им на разрушаване. Проведените предварително полеви визуални изследвания в БД дават възможност да се оценят двата основни режима при разрушаване на междукamerните поддържащи целици:

- режим на нарастващо или контролирано разрушаване;
- режим на неконтролирано разрушаване, придружено и със скален удар.

12. Получените резултати от численото моделиране, избрано за оценка устойчивостта на системата ДК/ПЦ, е приложено за всеки от конструктивните елементи в системата на разработване за определяне на геомеханичното състояние при обосновката за крайния проект, свързан с оразмеряването, както и при формулиране на препоръки за запълване, анкриране или принудително обрушаване

II.2 Изводи

Представената методология за оразмеряване и опита, който е натрупан, дава увереност да се обоснове изводът, че избраната методична последователност осигурява всички етапи от подземния добив на полезни изкопаеми, освен това:

1. Методологията осигурява комплексна геомеханичната логистика за всеки инженерен проект;

2. Методологията дава възможност за количествена и качествена характеристика на проектите решения на основните групи фактори;

3. Представената методология за оразмеряване и опита които е натрупан дава увереност да се обоснове извода, че избраната методична последователност осигурява всички етапи от подземния добив на полезни изкопаеми. От лабораторните и полеви изследвания, моделирането и предварителния проект, през строителство и експлоатацията до рекултивирането и решенията за вторично използване на отработените пространства с други предназначения, изключително актуално в съвременен етап от развитие на минните работи.

4. Адекватността на представената методология може да бъде проверена само чрез експерименталното ѝ приложение.

Последното обстоятелство дава насока за плана на изследванията и анализ на резултатите от тях, на което са посветени следващите глави на настоящия дисертационен труд.

ГЛАВА ТРЕТА. ПРАКТИЧЕСКО ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРЕДСТАВЕНАТА МЕТОДОЛОГИЯ

III.1. Характеризация на скалния масив в експлоатационния добивен участък

- Лабораторни изследвания за определяне на ФМС на вмествания масив от експлоатационният участък

След предварителното посещение в експлоатационния блок 19-а, наречен експериментален участък, от находище „Гюдюрска“, са извършени анализи които включват:

- Изготвяне на геоложки разрези за определяне разпределението на изграждащите типове скали в експлоатационния участък;
- Актуализация на геоложките разрези в експлоатационния хоризонт;
- Определяне на ориентацията и местоположението на структурните нарушения (пукнатини, разломи и т.н.);

Избор на образци с правилна и неправилна геометрична форма за лабораторните изследвания, включени в представената методология.

От проведените лабораторни изследвания са определени следните параметри и характеристики:

- Обемната плътност γ [MN/m³];
- Порестост P [%];
- Якост на едноосов натиск σ_c [MPa];
- Якост на опън (Бразилски тест) σ_t [MPa];
- Построяване на якостни паспорти по върхови натоварвания;
- Построяване на графики отразяващи връзката $\sigma_c - \sigma_{t(50)}$;
- Построяване на деформационни диаграми на различните видове скали;
- Модул на еластичност E [GPa];
- Определяне на кохезията c [MPa] и ъгъла на вътрешно триене ϕ , при върхова якост.

• Якостни изследвания

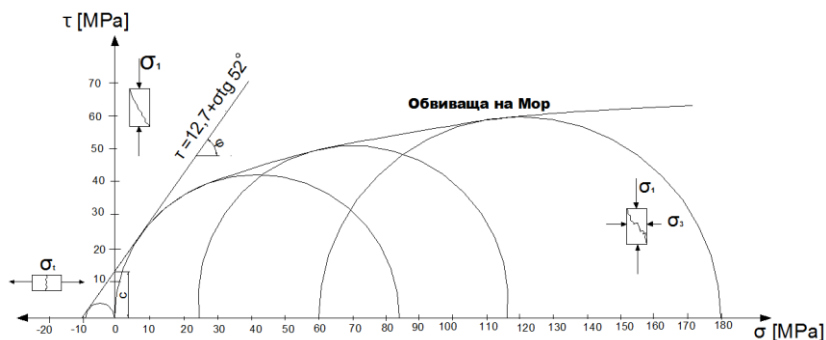
От различните серии лабораторни проби е установено, че експлоатационният експериментален участък е изграден от разновидности гнайси, различаващи се по степен на вторична нарушеност. Получените резултати от извършените якостни изследвания за различните разновидности гнайси са представени в таблица III.1.

Таблица III.1

Лабораторни данни за ФМС на различните видове скали, изграждащи експлоатационният участък

Литология Параметри	Амфибол-биотитови гнайси	Хидротермално променени гнайси	Гнайси с мраморни прослойки
Обемна плътност, [MN/m ³]	0,0265	0,0263	0,0260
Специфична плътност, [MN/m ³]	0,0275	0,0265	0,0263
Порестост, [%]	2,7	5,4	4,2
Якост на едноосов натиск, σ_{ucs} [MPa] min/max	92/104	75/88	49/66
Якост на опън, σ_t [MPa] min/max	8,2/9,6	8,9/11,5	5,8/7,4
Кохезия C [MPa]	14,80	12,70	8,5
Ъгъл на вътрешно триене, [°]	52,0	54,0	47,0

Един от якостните паспорти построен по тези данни е представен на фигура 11.



а) амфибол-биотитови гнайси

Фиг.11 Паспорти за якост на скалите от разновидностите гнайси

За определяне якостта на скалите от вместващият масив са взети образци с неправилна форма от основното горнището (Г) и долнището (Д) на оформената камера и от целика (Ц) по места. От тези места са подбрани скални образци и са изпитани в лабораторни условия чрез Point Load Index Test за определянето индекса на якост и якостта на едноосов натиск. С помощта на формула 16 е преходено от $I_{s(50)}$ към якостта на едноосов натиск σ_c .

$$\sigma_c \approx (22-24) I_{s(50)} \quad (16)$$

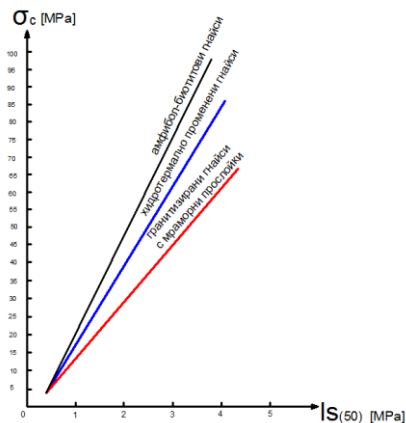
Извършени са изследвания които позволяват да се направят следните заключения:

Средната якост на едноосов натиск на рудния масив от които са изградени целиците в хоризонт 675 е $\sigma_{c\text{ ср}} \approx 85$ МПа, на непосредственото горнище и основното долнище за същия хоризонт са съответно $\sigma_{c\text{ ср}} \approx 92$ МПа и $\sigma_{c\text{ ср}} \approx 104$ МПа, което е съществено по-малко според литературните данни от предишни изследвания.

1. По-здрави са образците от основното долнище, отколкото тези от основното горнище.

2. Изследванията показват наличие на анизотропия на якост в горнището и долнището на изграждащите скали по двата хоризонта, която се дължи на структурни нарушения.

Във връзка с проведените лабораторни методи за определяне якостта на разновидностите скали е изготвена диаграма, даваща връзката между лабораторно определената якост σ_c и якостта σ_c определена с уреда за точково натоварване PLT в полеви условия.



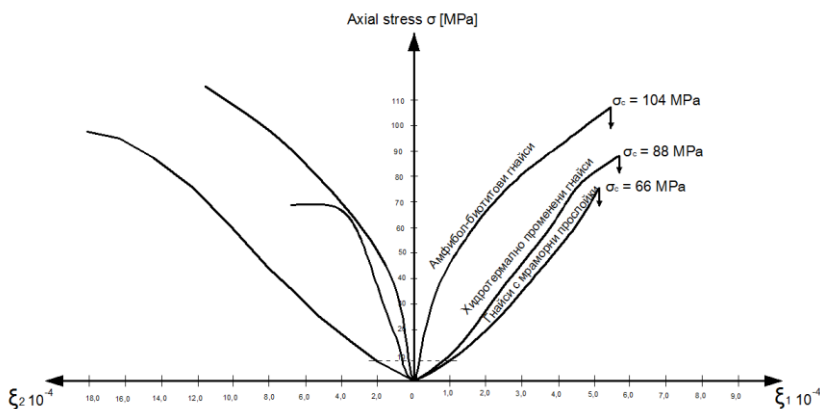
Фиг. 12 Връзка между лабораторно определената якост и якостта на масива определена по точково натоварване

• Деформационни изследвания

Деформационните характеристики на разновидностите скали в експлоатационният участък 19-а са определени в условията на едноосов натиск. Експериментите са осъществени в условия на циклично натоварване и разтоварване осъществени стъпалообразно.

Построени са деформационните (σ - ξ) диаграми на трите разновидности скали, изграждащи основното горнище, основното долнище и рудният масив, от които са изградени целиците. От построените диаграми са определени еластичната константа E (Модул на Юнг) и ν (коефициент на Поасон) в режим на разтоварване. След анализа на деформационното поведение на образеца, той е разрушен при чист натиск за определяне на якостта му, впоследствие са описани и механизмите му на разрушаване. Еластичният модул е определян по средни стойности за линейната част от деформационната графика.

За нуждите на анализа всички резултати от деформационните изследвания са построени на една обща диаграма, характеризиращи деформационното поведение на разновидностите гнайси. Тези резултати са представени на фигура 13.



Фиг.13. Деформационни диаграми на разновидностите скали от експлоатационния участък

В таблица III.2 са нанесени основните якостно-деформационни характеристики на литоложките типове скали, изграждащи експлоатационния блок 19-а на хор. 675 от находище „Гюдюрска“. Анализът на резултатите показва, че поведението на масива е еластично-вискозно, като то е най-ясно е изразено в скалите с по-малка якост.

В таблица III.2

Деформационни параметри от лабораторни данни

Параметър Литоложки тип	Якост на ЕН, σ [MPa] min/max	Еластичен модул, E [MPa] max/min	Модул на плъзгане, G [MPa] max/min	Коефициент на Поеасон ν ср.
Амфибол-биотитови гнайси	92/104	103 804/ 95 720	65/32	0,18
Хидротермално-променени гнайси	76/88	87 630/ 72 150	45/27	0,20
Гнайси с мраморни прослойки	49/66	58,320/ 47 800	80/67	0,22

• **Структурни характеристики и геомеханична класификация на вместващият масив**

Направено е едно общо окачествяване на масива в експерименталния експлоатационен участък, съгласно оценките RMR и MRMR. По получените стойности за RMR и MRMR са определени и обхватите на изменчивост по минимална и максимална стойност.

На база класификацията на RMR е разработена и широко използваната в минната практика класификация на Laubscher MRMR (Mining Rock Mass Reiting) На база на тези изследвания е определен и хидравличният радиус R_h , определящ зоната стабилност/обрушаемост, на база подсичащата площ към периметъра при оформянето на добивните камери. Съгласно получените резултати за R_h , класификационна оценка за MRMR, е направена и класификационна оценка за обрушаемостта на масива.

Таблица III.3

Класификационни параметри на масива

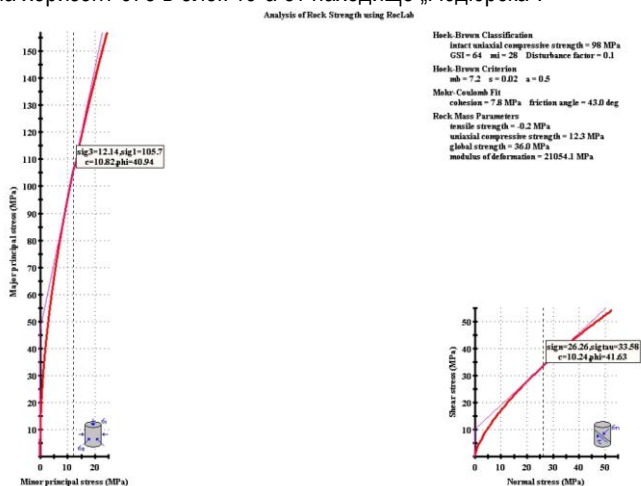
Параметър Литоложки тип	RMR	MRMR
Амфибол-биотитови гнайси	69 II клас	60
Хидротермално-променени гнайси	62 – 57 II – III клас	49
Гранитизирани гнайси с мраморни прослойки	59-54 III клас	43

Получените резултати, представени в таблица III.3, определят качеството на различните видове гнайси в експлоатационния участък, които са в диапазона добър до задоволителен. Резултатите за рейтинга и качеството на масива, лабораторните данни и стойностите за геоложкия индекс за якост (GSI) са използвани за анализ на задпределното поведение на масива, посредством еквивалентните якостно-деформационни характеристики и материалните константи m и s от критерия на Hoek-Brown. Численото моделиране дава възможност този критерий да се използва директно при него.

Критерият за разрушаване на Hoek-Brown е базиран на поведението на непрекъсната, нелинейна изменяща се среда, построяван в координатна система σ_1 - σ_3 . В тази връзка е използвана възможността да се приложи софтуерът RocLab за определяне на връзката между главните напрежения (σ_1 - σ_3) и тангенциалните и нормалните (T - σ) напрежения. Резултатите от тази взаимовръзка са представени на фигура 14.

Геомеханичните характеристики на нарушения масив в зоната на експерименталния участък са определени по критерия на Hoek-Brown и диапазоните на GSI, като параметрите на задпределното състояние (post failure) са определени по методика и софтуерите RocLab и RocData. Резултатите от тези изчисления са представени в таблица III.4.

Резултатите от извършените лабораторни и "in situ" геомеханични характеристики са използвани за съставянето на многомерна база данни, позволяваща характеризация на скалния масив от експлоатационния участък на хоризонт 675 в блок 19-а от находище „Гюдюрска“.



Фиг. 14. Анализ на якостните параметри на литоложките разновидности скали (амфибол-биотитови гнайси) чрез взаимовръзките между критериите за разрушаване на Hoek – Brown и Mohr – Coulomb с програмата RocLab

Таблица III.4

Характеристики на скалния масив, данни определени с програмата RocLab

Геомеханични параметри	Анфибол-биотитови гнайси	Хидротермално-променени гнайси	Гранитогнайси с мрамори прослойки
Средна якост на едноосов натиск σ_{ucs} [MPa] (таблица III.5)	98	82	58
Hoek-Brown константа-mi	28	24,0	17
Геоложки индекс за якост GSI (таблица III.6)	64	58	54
Hoek-Brown константа-mb	7,234	4,949	3,016
Hoek-Brown константа-s	0,0160	0,0080	0,0051
Константа-a	0,502	0,503	0,504
Модул на еластичност E, [MPa] (таблица III.5)	103 804	87 630	58 320
Кохезия-c [MPa]	7,59	5,348	2,945
Ъгъл на вътрешно триене- ϕ [°]	43,04	39,82	35,54
Якост на опън на скалния масив, [MPa]	-0,210	-0,123	-0,082
σ_{ucsM} -Якост на едноосов натиск на скалния масив [MPa]	11,895	6,693	3,405
Обща якост- $\sigma_{strength}$, [MPa]	34,940	22,842	11,448
Деформационен модул- E_m , [MPa]	20 729	13 126	8 372

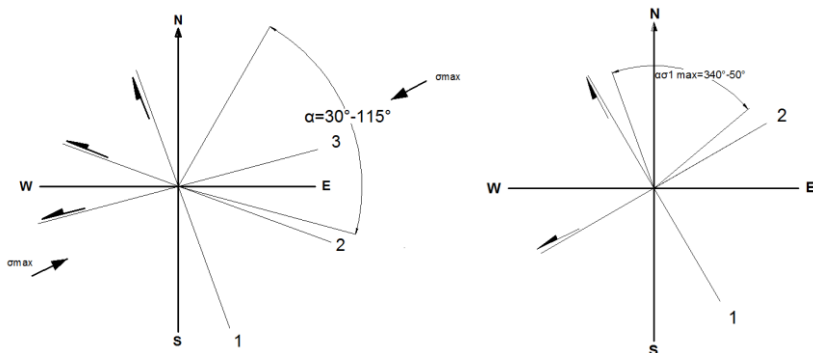
• **Изследване напрегнатото състояние на масива**

Напрегнатото състояние в находище „Гюдюрска“ е в комбинация от взаимодействието на две компоненти - гравитационна и тектонска. Гравитационната компонента се определя като се отчете дълбочината на водене на минните работи (H) и средната обемна плътност на отделните скали до по повърхността ($\gamma_{ср.}$).

Във връзка с изложеното горе е извършено изследване на НС на масива на две нива по тектониката на разкъсване и по резултати експерименталното му определяне в предишен по-ранен период.

➤ Палеополе

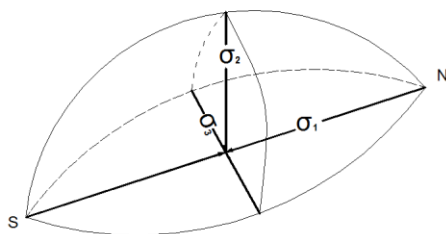
Резултатите от извършените аналитични реконструкции за полето на палеонапрежения за находище „Гюдюрска“ са представени на фигура 15 а) и б).



а) б)
Фиг.15 Реконструкция на разпределението в компонентите на палеополето на напрежение в участъка

➤ . Конфигурация на естественото поле

Конфигурацията на естественото поле в участъка е с форма на елипсоид, показан на фигура 16 с оси σ_1 ($\sigma_{\max}$), σ_2 (σ_v), и σ_3 ($\sigma_{\min}$). Изменящите магнитуди са в зависимост от дълбочината, физико-механическите и структурните характеристики на масива.



Фиг.16 . Елипсоид на естественото поле на напрежения

Определените стойности на елипсоида на фигура 16 съответстват по посока и ориентация спрямо тези от останалите рудници, локализирани в близост до находище „Гюдюрска“. Поради тази причина като основен входен параметър за посоките на трите главни напрежения могат да се приемат получените резултати на фигура 16.

III.2. Изводи

1. Извършени са комплексни лабораторни изследвания на образци от разнородностите скали, изграждащи вмествания масив. Определени са основните характеристики на различните литоложки разновидности скали, изграждащи вмествания масив в експерименталния експлоатационен участък.

2. Изследвана е структурната нарушеност (RQD) и е извършена геомеханична класификация на масива чрез геомеханичните системи RMR и MRMR. Оценена е изменчивостта на „качеството“ на масива и са определени диапазони на изменение на двете системи (RMR и MRMR).

3. Извършена е оценка на НДС на масива в експлоатационния хоризонт. Определено е най-младото поле на напрежения, което е използвано при изготвяне на последващите анализи.

4. В резултат от извършените лабораторни, полеви и структурни изследвания е съставена многомерна база данни за комплексна характеризация на масива, осигуряваща мотивация на адекватен числен модел при планирания параметричен анализ в разчетите на инженерния проект.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА. ИЗСЛЕДВАНЕ НА НДС НА МЕЖДУКАМЕРНИТЕ ПОДДЪРЖАЩИ ЦЕЛИЦИ

IV.1. Обратен анализ за определяне състоянието на междукामерните поддържащи целици в находище „Гюдюрска“

Извършени са изследвания за около седемдесет изолирани междукамерни поддържащи целици от седем отработени добивни блока в два различни добивни хоризонта от находището, всичко това позволява да се направят следните изводи:

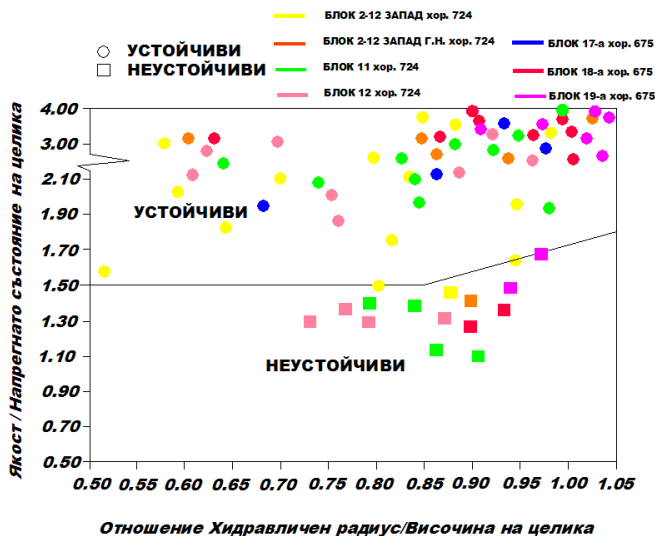
1. Неблагоприятно отношение, определящо формата на целика в двата добивни хоризонта имат 25% от междукамерните поддържащи целици, когато отношението на w/h е по-малко от 1.0, поради което в целика не може да се формира обемно напрегнато състояние с достатъчни размери, което да увеличи носещата му способност.

2. Целиците са неравномерно натоварени поради размерите си и размерите на камерите (поддържана/поддържаща площ), поради което съществуват състояния, в които има пренапрегнати от формиращите се зони на концентрация на напрежения междукамерни целици.

3. Горните две обстоятелства формират ниски стойности в коефициента на сигурност (т.е. по-малък от 1.5), което наред с несъобразените им размери и разположение ги превръща в опасни и способни да проявяват внезапни разрушавания.

4. При технологията на отработване на добивните камери в особено критично състояние са целиците, които се оставят към границите на експлоатационния блок, където много често коефициента на формата (K_f) и коефициента на сигурност ($K_{сиг.}$) са с по-малки стойности от необходимите за устойчивост.

Получените резултати от обратния анализ позволяват да се приложи графичен метод за прогнозиране на устойчивостта на целиците, чрез прилагане на двумерна диаграма, представена на фигура 17.



Фигура 17. Обобщена класификация на геомеханичното състояние на целиците от хоризонт 675 и хоризонт 724

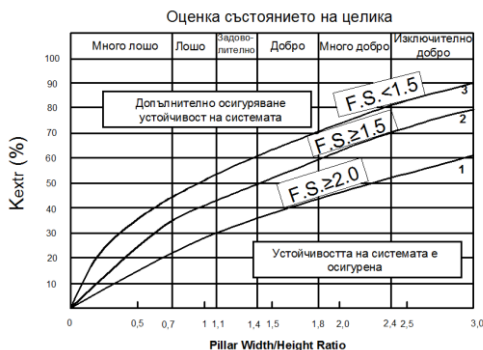
Въз основа на общо приетата гранична стойност на коефициента на сигурност 1.50, която разделя целиците на устойчиви и неустойчиви, те са въведени в диаграмата с различни означения на точките - всички целици с коефициент на сигурност, по-малък от 1.50 - със знак "□", а тези с коефициент, по-голям от 1.50 - със знак "○". Както се вижда от диаграмата на фигура 50, точките се групират в две области - на устойчиви и на неустойчиви целици. Освен това всички точки са представени с цветове, които характеризират в кои блок е извършен анализът. Разработеният графичен метод значително облекчава труда на минния инженер – технолог и проектант, тъй като по проектните размери бързо може да се разбере дали след оразмеряване междукamerните целици ще бъдат устойчиви или не.

От досега прилаганата практика в находище „Гюдюрска“ и на база резултатите от по-ранни изследвания е определен коефициентът на формата

на рудните целици. Фактически той е не по-малък от 1.5 за около 50% от целиците и е в интервала от 1.5 до 2.5. Коефициентът на сигурност на целиците $K_{\text{сиг}}$ като обобщаващ показател за състоянието им е определен с отношението: носеща способност на целика S_p към действащото напрежение в целика σ_p . Установено е, че за 25 % от поддържащите целици $K_{\text{сиг}}$ е под 1.5, за около 60% от поддържащите целици достига до 4.0, а за останалите 15% този коефициент надвишава дори 4.0. В този анализ се включват и масивните нерудни изолирани междукamerни поддържащи целици. Практиката при оразмеряване на изолираните поддържащи рудни целици установява, че минималният коефициент на сигурност трябва да бъде не по-малък от 1.5. Това съответства на препоръките и на световната минна практика. Фактически изолираните междукamerни целици в отработените добивни участъци, които имат коефициент на сигурност под 1.5, са подложени на последващо „престъргване“.

• **Определяне устойчивостта на междукamerните поддържащи целици в зависимост от, факторите напрегнато състояние, FOS , K_{extr} и K_f**

С помощта на обратния анализ и класификационната оценка представена на фигура 18 може да се определи в зависимост от факторите - коефициент на формата и коефициент на извличане, от един добивен блок в кой от шесте класа попада целика.



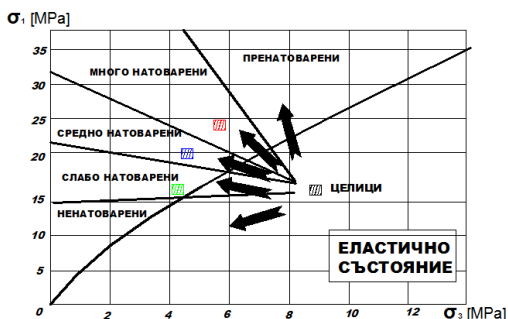
Фиг. 18. Класификационна оценка на състоянието на целиците в зависимост от факторите K_f и K_{extr} .

1-траектория на устойчивост; 2-траектория на локална неустойчивост; 3-траектория на потенциално разрушаване

Съгласно представената класификационна оценка на фигура 18 може да се определи освен категорията, в която попада целикът, но и необходимите мерки по неговата дълговременна устойчивост. Състоянието, попадащо под графичната зависимост 1, определя гарантираната устойчивост на системата,

а зоната над графичната зависимост 3 определя обрушаемост и необходимост от допълнителни мероприятия по осигуряване на устойчивост.

На фигура 19 е построена още една класификационна оценка, отразяваща характера на НС на междукामерните целици от находище „Гюдюрска“.



Фиг.19. Характер на напрегнатото състояние на анализираниите междукамерни целици от находище „Гюдюрска“

Изследвано е НС на целиците, съгласно връзката максимално главно σ_1 , към минимално главно σ_3 напрегнато състояние. С различни цветове са отбелязани трите групи целици, това дава възможност да се направят следните изводи:

1. Около 15% от междукамерните целици са в диапазона много натоварени, по-голяма част от тези целици впоследствие са подложени на последващо „престъргване“;
2. Малко над 50% от междукамерните целици са в диапазона на средно натоварените целици, т.е. това са тези целици, които са запазили първоначалната си форма и размери, без да са допълнително „престъргвани“;
3. Последната група целици са представени със зелен цвят и са в диапазона слабо натоварени. Това са останалите целици, които са с много големи размери и обикновено са изградени от скални включения, т.е. това са масивните междукамерни целици и те са около 35%.

• Механизми на разрушаване на изолираните междукамерни целици

За устойчивите параметри на прилаганата система на разработване може да се съди и от обработената налична информация за възникналите нарушения и разрушавания в границите на добивните блокове (разрушени поддържащи целици, обрушено горнище, нарушения по целиците и т.н.).

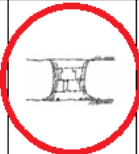
Във връзка с това, след визуална оценка на механизмите на разрушаване на междукамерните поддържащи целици от находище „Гюдюрска“ и характера

на тяхното поведение във времето, могат да се направят няколко важни оценки, които да класифицират в коя категория попадат оформените целици.

В таблица IV.1 са представени две оценки, свързани пръко с устойчивостта на изолираните междукामерни целици, като за по-голяма нагледност оценките са представени паралелно и диапазоните им на изменение съвпадат.

Таблица IV.1

Оценка на напрегнатото състояние и на геоложката структура на целиците от експлоатационните блокове на находище „Гюдюрска“

Оценка за напрегнатото състояние в целика			Оценка в геоложката структура на целика		
Оценка	Изобразяване	Описание	Оценка	Изобразяване	Описание
1 Ненатоварен		Няма напрежение свързано с нарушени или разрушаване, което да се наблюдава. Могат да съществуват връзки или нарушения вследствие на възникнали работи.	1 Ненарушен		По-малко от 0.3 m пукнатини причинени от взривяване. Може да съществуват нарушения по целика свързано от взривяване.
2 Ниско натоварен		Малки блокове или плочи, нарушаване на ненарушената среда по ъглите на целика, а стените могат да бъдат вдлъбнати, като това се наблюдава след започване на добива.	2 Слабо нарушен		Формата на целика е повлияна от 0.3 до 1 m. Някои напаставания се образуват около целика, по време на взривяване може да се образува стъпка на напаставане на плоче и малко по малко се плъзгат и падат след първоначално взривяване.
3 Средно натоварен		Нарушения се наблюдават с повече от 1 m дължина, отворени пукнатини, ъглови увреждания по целиците, може да се наложи повторно оформяване на целиците след първоначалното развитие. Поддръжка се първоначалната квадратна форма на целика.	3 Средно нарушен		Формата на целика е повлияна от 1 до 3 m. Пукнатини и разпукки на контролирани отлагания. Нарушенията в целика могат да продължат и след започването на добива.
4 Много натоварен		Разрушаване във форма на плъсчен часовник. Отворени пукнатини в целика по-дълги от 1 m, блокове около целика, първоначалната квадратна форма на целика не се запазва, по стените се наблюдава образуване на дълби и издърбени плочи.	4 Интензивно напукан		Височина на нарушени блок > 3m. Формата на целика е нарушена, образуват се големи блокове на пренесване или блокове пренесващи се по равнини на плъзгане. Първоначалната форма на целика е нарушена след започване на добива.
5 Претоварен		Образуване на големи открити пукнатини интензивен плъсчен часовник. Целика вероятно губи и остатъчната си якост.	5 Фрагментация		Целика е пресечен от нарушения преминаващи през него с наклон от повече от 60°. Целика потенциално се образува в горната половина. Якостта на целика зависи от остатъчната якост.

За да се направи адекватна оценка на носещата способност и напрегнатото състояние на междукамерните поддържащи целици, е необходимо да се познаят механизмите им на разрушаване.

Съгласно категорията е която попадат целиците е установено, че механизмите на разрушаване са от структурни придвижвания по нарушения с

ниска тангенциална якост на разделителните повърхности се обуславят от блоковата структура на масива и стръмните контактни повърхности при наличие на мраморни прослойки с ниска якост.

В периода на експлоатация, в различни добивни участъци са се проявявали и двата вида механизми на разрушаване след превишаване на якост и по структурни нарушения.

IV.2 Експериментални изследвания

Извършените експериментални изследвания са избрани поради относително простата, но ефективна схема на измерване при запазване на добра точност и надеждност, като всички те са базирани на измерване на премествания, а не на определяне на напрежения.

За постигане на целите при планиране е използвана методична последователност на изследвания, както следва:

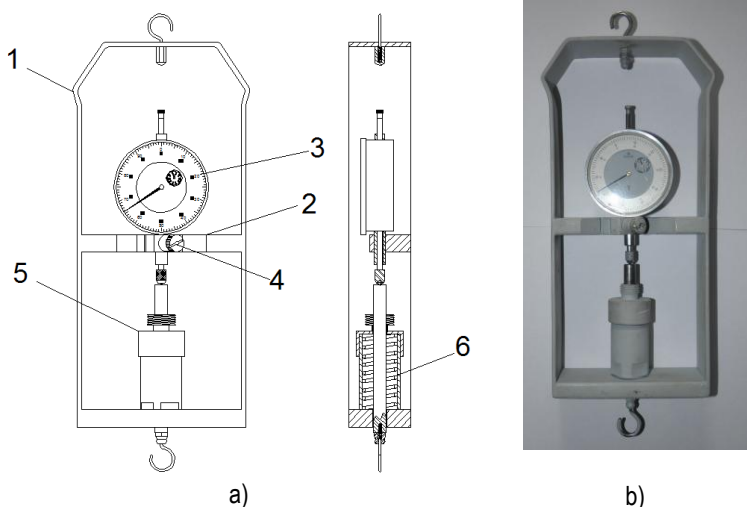
- Определяне на началното НДС на целика;
- Експериментално определяне на главните деформации в целика и изчисляване прираста на напрегнато състояние по получените резултати. Определяне на допълнителното натоварване на целика, оценка на устойчивостта му и анализ на риска, с отчитане на технологичните въздействия;
- Актуализация на експерименталните резултати и данни за численото моделиране и параметричното изследване на устойчивостта на системата ДК/ПЦ;
- Верификация на резултатите от горните изследвания (получени от измерването и от параметричният анализ) за целите на един обратен анализ за определяне на адекватността на получените решения;
- Определяне на резултантното НДС и нивото на устойчивост на целика след окончателно оформяне на камерата;
- Комплексна оценка на НДС на системата ДК/ПЦ с отчитане на изменението на конвергенцията горнище-долнище и определяне на механичното състояние на повлияния масив по упоменатата по-горе система.

- Експериментално определяне натоварването в целика и конвергенцията на камерата

За да се извършат експерименталните измервания, най-напред е поставена задачата да се конструира, разработи и тарира прибор, съответстващ на условията на експеримента. Приборът трябва да осигурява измервания по двете бази - при измерване на деформации в целика и при измерване на конвергенции в камерата. Планираните измервания трябва да осигурят и възможност те да се извършат, без да се пречи на добивните процеси.

- **Конструкция на измерителния прибор**

За извършване на експерименталните измервания на деформации и конвергенции е конструиран прибора „Деформометър 1.0“, които е представен на фигура 20.



Фиг. 20. Технологичен чертеж а) и снимка б) на прибора „Деформометър 1.0“

Технологичният чертеж на прибора е показан на фигура 20 а), а снимката му на фигура 20 б). Приборът е предназначен да измерва линейни премествания между два срещуположни репера, инсталирани на една измерителна площадка.

Конструкцията на прибора „Деформометър 1.0“ притежава следните предимства:

- Осигурява измерване на срещуположни чифтове реperi с променлива база;
- Осигурява простота на измерванията чрез пряко визуално отчитане на стойностите им, т.е. най-подходящо за директно измерване и препоръчително, когато е възможно;
- Не се нуждае от захранване, което го прави автономен и мобилен;
- Притежава висока точност при различен диапазон на измерване, при зададена чувствителност на часовниковия индикатор;
- Осигурява разделяне на измервателните от добивните процеси;
- Лекотата на прибора осигурява мобилност и извършване на голям брой измервания в различни измерителни станции;

- Осигуряване на висока надеждност в специфична руднична атмосфера, както и проста калибровка на показанията.

Всички представени по-горе предимства повишават надеждността на експерименталните измервания и на тяхната достоверност, което осигурява използването на този прибор в различни условия на неговото приложение.

За определяне на експлоатационните характеристики на конструирания прибор е извършена и лабораторна тарировка на „Деформометъра 1.0” и е определена точността при измерване.

След извършване на лабораторните изследвания са представени лабораторните характеристики на прибора „Деформометър 1.0”, които са обобщени в таблица IV.2.

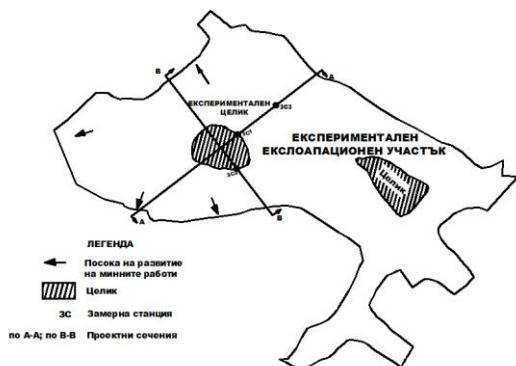
Таблица IV.2
Технологични параметри на прибора „Деформометър 1.0”

Технически данни:	Стойност	Мярка
Височина на прибора	290	mm
Ширина на прибора	110	mm
Тегло на прибора	1,60	kg
Обхват на измерването/ точност на измерването	10,0/ 0,01	mm mm
Обхват на измерването/ точност на измерването	5,0/ 0,001	mm mm
Средна грешка от измерването	11,0	%

• Методика на “in situ” измерването

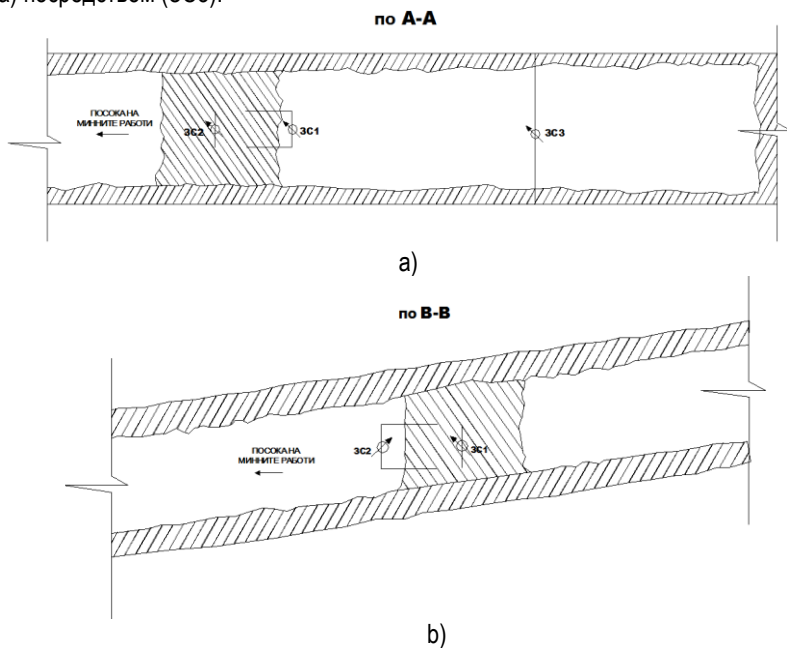
За извършване на тези измервания е избран един изолиран новооформен междукामерен поддържащ целик, означен като целик 8-19-а. Избрана е и схема на измерване, която ще даде възможност за определяне на вертикалните деформации в централната част на целика и посредством останалите параметри ще бъде определено неговото НДС. За по-пълна представителност при измерванията е предвидено и определяне на конвергенцията между основното горнище и долнище в централната част на добивната камера, намираща се непосредствено до целика.

Експерименталният участък е представен на фигура 21. Измерванията съгласно плана на експеримента са както следва: на две взаимно перпендикулярни стени в един изолиран междукамерен целик се инсталират замерни станции (ЗС): замерна станция едно (ЗС1) и замерна станция две (ЗС2), представени на фигура 22 а) и б).



Фиг. 21. Експлоатационен участък в блок 19-а

За нуждите на комплексния анализ се осигурява контрол на измерванията на конвергенцията горнище - долнище в добивната камера, ситуирана в противоположната (източна) страна на водене на добивни процеси (фигура 22 а) посредством (ЗС3).



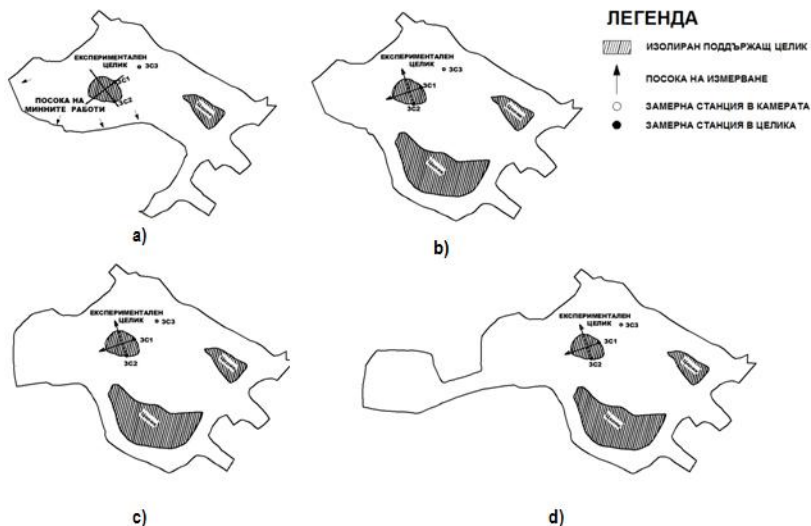
Фиг. 22 а) и б). Постановка на измерванията в експерименталният експлоатационен участък в блок 19-а

Експерименталният участък е представен на фигура 21, на която се виждат местата на замерните станции, а на фигура 22 а) и б) са представени двата проектни разреза по А-А и по В-В, отразяващи геомеханичната ситуация за реализиране на началните планирани експериментални измервания.

Методиката на измерване с уреда „Деформометър 1.0“ се състои в следното:

- Началните отчети във всяка замерна станция се приемат за базови.
- Всяка регистрирана промяна от измерванията е съпоставена с ефектите от технологичните въздействия;
- Експерименталните резултати се подлагат на един обобщен и един конкретен анализ при всяка промяна на показанията за определяне на връзката с развиващите се технологични процеси;
- Периодът на “in situ” измерване в експерименталния участък приключва, когато показанията на прибора не отчитат промяна след крайното оформяне на добивния блок. Периодът на измерванията се преустановява след затихване на добивните работи, когато не се наблюдава промяна в показанията в продължение на четири-пет интервала от по седем дни. Последният отчет се приема за окончателен.

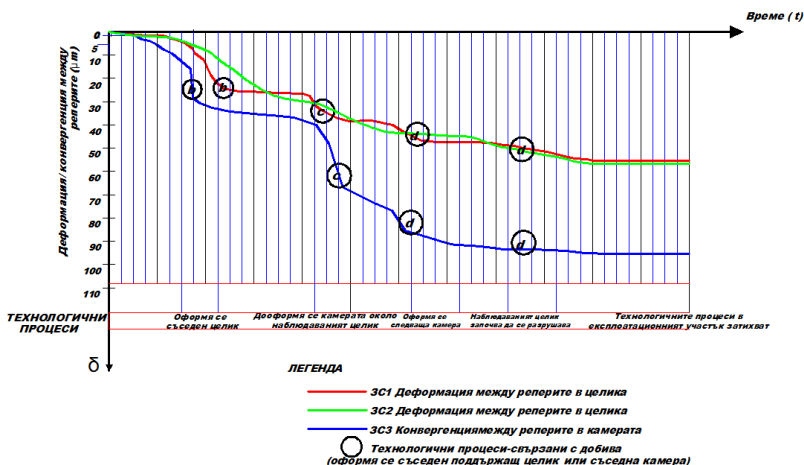
Технологичните етапи по оформяне и измерване са представени на фигура 23, а гореописаната методика съответства на тази ситуация.



Фиг. 23 Етапи при отработване на експлоатационният участък

• Резултати

Резултатите от извършените измервания и развитието на деформационните процеси на целика и в камерата са представени на фигура 24. От графиката на фигура 24 се вижда, че с развитие на експлоатационните процеси се появяват и развиват деформациите в целика и конвергенция горнище – долнище в съседната оформена камера. Измерванията, представени с кръгове на фигура 24, индикират резките промени в деформации и конвергенции, чието съпоставяне установява етапите на оформяне на експлоатационния експериментален блок 19-а. С червена и зелена линия са отразени измерените деформации в целика по двете площадки във всяка замерна станция (ЗС1 и ЗС2). Със синя линия е представена графиката, отразяваща резултатите, свързани с конвергенцията в добивната камера.



Фиг. 24. Обща графика на експериментално получените резултати от извършените измервания.

Експериментално получените резултати за деформациите в целика установяват, че прирастът на напрегнато състояние в поддържащия целик, изразен като напрежения при първия етап (фигура 23 b) от добивните процеси е 1,2 МПа, с развитието на минните работи, при втория етап (фигура 23 c) прирастът нараства до 2,8 МПа, а в последния трети етап от оформяне на експлоатационния добивен блок (фигура 23 d) окончателният прираст на НС в целика достига до 4,8 МПа.

Цялото това изследване дава основание да се извършат още нови анализи, свързани с прирастите на натоварване и интензитета (ускорението) на този процес във времето с отчитане на технологичните ефекти.

- **Определяне прирастите на натоварване в оформените междукамерни поддържащи целици в експерименталния участък**

За да се определи това натоварване, е необходимо добивният участък да се привърже към локална-декартова (x,y,z) или полярна (E-W-N-S) координатни системи (фигура 25), с помощта на които се определят координатите (центровете) на всеки от поддържащите целици. Методиката на това изследване е представена със следното уравнение:

$$W_i(-\gamma H) - W_i(x_i) - W_i(x_k) = W_i^0(x_i) \quad 1 \leq i \leq n \quad (17)$$

където:

n е броят на разглежданите целици;

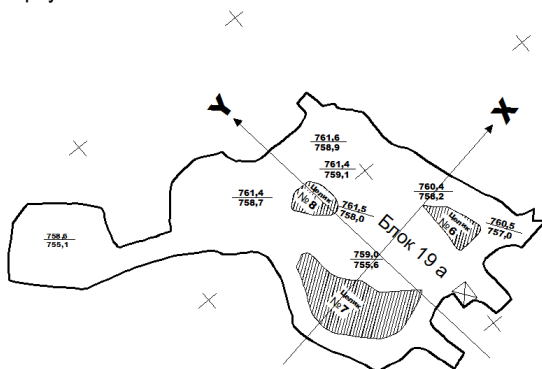
x_i, x_k – неизвестно натоварване съответно върху i-я и k-я целик;

$W_i(-\gamma H)$ - конвергенцията между пода и тавана на камерата под действието на вертикалното натоварване;

$W_i(x_i)$ - преместване на вмествашия масив над i-я целик под действие на възникналите реакции в i-я целик;

$W_i(x_k)$ - преместване на вмествашия масив над i-я целик под действие на възникналите реакции в останалите целици;

$W_i^0(x_i)$ - абсолютна деформация на i-я целик в резултат на фактическото натоварване върху него.



Фиг. 25. Определяне на натоварването на междукамерните поддържащи целици в експерименталния участък.

Изчисленият прираст на напрегнато състояние в наблюдавания целик 8-19-а, определен по методиката, представена с формула 17 е 3,5 МПа. Експериментално определеният прираст на НС от измерванията е 4,8 МПа, разликата между двата метода за определяне е 1,3 МПа, или по-малка от 25%,

което съответства на точностите при определяне по двата метода. Използвайки методичния подход, съгласно формула 17, са определени прирастите на натоварване и в останалите два целика от блок 19-а, (целици 6-19-а и 7-19-а), получените резултати за прирастите на натоварване са съответно 1,7 МПа и 1,1 МПа.

IV.3 Параметрично изследване

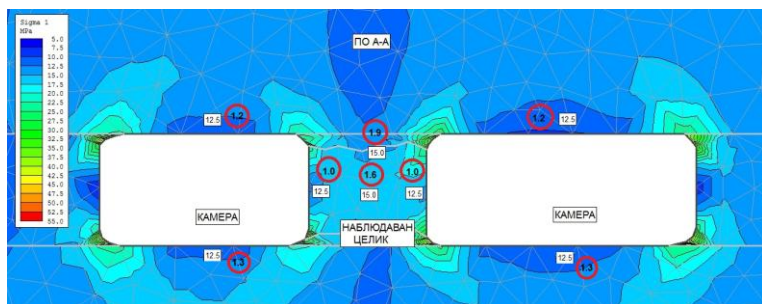
За целта е използвана и последната версия на хибридният програмен продукт Phase² 8.0, с използване на теорията на граничното равновесие.

Размерите на определените изчислителни сечения в модела са избрани така, че границите на изчислителните профили да обхващат зоните на влияние до техния край. Граничните условия за напрегнатото състояние (по посока), заложено в модела, са в съгласие с представените резултати за елипсоида на естественото поле на напрежения (фиг. 16). Спецификата на натоварване на целика по магнитуда е определена спрямо геостатичната хипотеза, вземайки в предвид ъглите на обрушаване и ъглите на движение на скалите (γ_{HCB}). Останалите входни параметри, характеризиращи състоянието на експерименталния участък са взети от получените резултати в таблица III.1, III.2 и III.4.

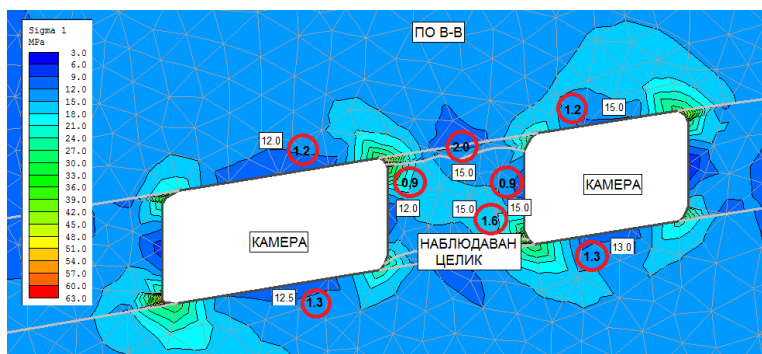
Областите на дискретизация на двете проектни сечения са определени така, че да обхванат най-неблагоприятни съчетания на геомеханични фактори - физико-механични и структурни характеристики на скалите, контактни условия, различни среди и т.н. Основните задачи при това моделиране са оценка на геомеханичната устойчивост и НДС при етапите от оформяне на камерата. Това моделиране е използвано още за определяне и за оценка на най-вероятни механизми на разрушаване.

Първоначално е пресъздаден редът на водене на минните работи, характерен при оформяне на камерите и целиците в експерименталния експлоатационен участък (виж фигура 23), впоследствие е изследвано разпределението на индуцирани напрежения в конструктивните елементи на системата горнище-долнище - целик.

Всяка от фигурите по-долу изобразява разпределението на напрежение във вместващия масив, около експлоатационния участък, по вид, големина, зони на концентрация в тавана, пода на камерата и в горнището, средата и долнището на целика. Белите правоъгълници за всеки от моделите изобразяват определените големини и магнитуди на действащите напрежения, а в червени кръгчета са показани стойностите на коефициента на местна устойчивост FOS, отразяващ съотношението между носеща способност, към напрегнатото състояние.



a)



b)

Фиг.26 а) и б). НДС на системата ДК/ПЦ преди ушяряване на камерата

На фигура 26 а) и б) е представено разпределението на напрежения, действащи в целика, в горнището и в долнището на камерата. Напреженията имат магнитуда, изменяща се в диапазон от 15 МРа в централните части до 12 МРа по периферията на наблюдавания целик, където се наблюдават и зони на разтоварване. Зони на концентрация на напрежения се наблюдават още в горните и долните ъгли на целика, като стойностите там достигат от 24 до 27 МРа, а между тях има зони на разтоварване. Изследването показва още, че над целика се образуват зони на концентрация на напрежения. При разглеждане на НДС в масива около камерата, горнище и долнище е видно, че индуцираните напрежения са от 12 до 15 МРа.

Параметричният анализ за състоянието на системата ДК/ПЦ продължава, като са изследвани всички представени етапи (фигура 23) от оформяне на камерата, до достигане на нейното крайно положение около целика. Поради липса на място е представен и анализиран последният етап от разширяване

Фиг.27 а) и б) НДС на системата ДК/ПЦ след оформяне на камерата

44

В помощ на анализа всички резултати от параметричното изследване са обобщени в таблица IV.3. Резултатите за разпределението и местоположението на отчетените стойности са означени с Г–горнище, Д–долнище на добивната камера и Ц–целик.

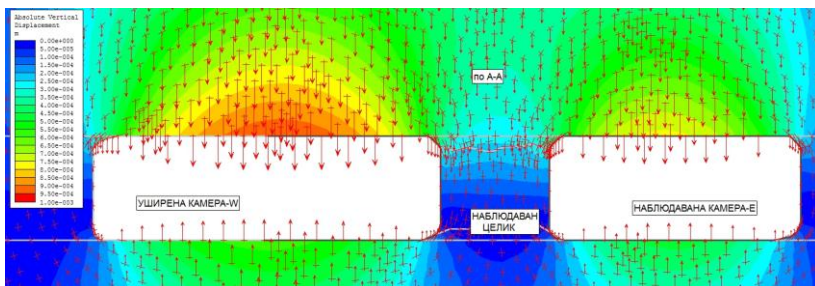
Таблица IV.3

Обобщени резултати от моделирането за НДС на системата ДК/ПЦ

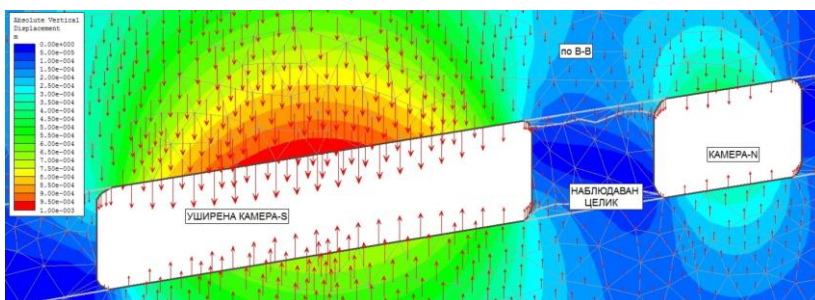
Харк- ристика Проектно сечение	Место- положение	Макси- мални действащи напрежения, МПа	Тангенциал- ни напрежения Тху	Коефициент на местна устойчивост FOS	Статус
По А-А преди оформяне	Г	13	-	1,2	Устойчиво
	Д	12,5	-	1,3	
	Ц	15	-	1,6	
По В-В преди оформяне	Г	15	3,50e 0,000	1,2	Устойчиво
	Д	13	3,50e 0,000	1,3	
	Ц	15	1,50e 0,001	1,6	
По А-А след оформяне	Г	12	-	1,0	Неустойчиво
	Д	9	-	1,1	
	Ц	18	-	1,3	
По В-В след оформяне	Г	15	5,50e 0,001	0,6	Неустойчиво
	Д	9	5,50e 0,001	1,0	
	Ц	18,5	1,75e 0,001	1,3	

В софтуера Phase ² 8.0 автоматично е вградена опцията на изчисляване на векторите на премествания, която е използвана при настоящия анализ. Разпределението на векторите на премествания съответстват на разпределението на напрежения, а техните големина се определят от магнитудите на главните действащи напрежения и деформационните свойства на масива. Съгласно числения модел са определени вертикалните деформации в целика и конвергенцията на камерите около него преди и след тяхното окончателно оформяне. Решенията на фигура 28 показват разпределение векторите на преместване по ориентация и амплитуда преди и след оформяне на камерата, съответстващи на технологичните въздействия (етапи).

За осигуряване на анализа на геомеханичната обстановка около камерите е извършено сравнение между числено определените амплитуди и експериментално определените стойности. За по-лесно дефиниране на всяка от камерите е идентифицирана и посоката на нейното ориентиране в пространството (Е–изток, W–запад, N–север, S–юг).



a)



б)

Фиг. 28 НДС на системата ДК/ПЦ

Съгласно получените резултати от таблица IV.3 за настъпилите деформации в целика и конвергенциите в камерите могат да се направят следните изводи:

- Максималната деформация в целика по надлъжния разрез A-A след уширяване на камерата (камера-W), определена от параметричния анализ, е 35×10^{-4} mm;
- Параметрично получените резултати по двата проектни разреза доказват развитие на деформации в камите с по-голям интензитет в сравнение с тези в целика;

- Максималната конвергенция по А-А в наблюдаваната камера (Камера-Е), определена от модела, е 37×10^{-4} mm, а за уширената камера (Камера-В) е 78×10^{-4} mm;
- Резултатите от модела, получени за конвергенцията на камерите по другия проектен разрез В-В по напречната ос, са както следва: за камера – С 95×10^{-4} mm, а за камера – N 28×10^{-4} mm;
- Сравнявайки резултатите между уширената и наблюдаваната камера е видно, че деформационните процеси са много по-интензивни и размерите и зоните на влияние са пропорционални на размерите на откритите добивни пространства (камерите);
- Експериментално и параметрично получените резултати за конвергенциите в наблюдаваната камерата (Камера-Е) по големини значително се различават. Причините за това са неизбежните идеализации в мащаба на модела, геометричните и структурните свойства на масива. Анализът на експериментално получените резултати за деформациите на целика също надвишават тези определени от модела. Обяснението на установените фактори се дължи още и на локалното изменение на свойствата, деформационните характеристики, анизотропията на якост и т.н.
- Картината на разпределение на полетата на деформации съответства на картината на разпределение на напрежения, което обяснява общия характер на причинно – следствените връзки между НДС на системата и произтичащите при това НДС деформации на конструктивните елементи;
- Директно измерените и фактически получените резултати се приемат за основни при всеки последващ анализ и оценка.

• Сравняване на резултатите от изследванията

Извършено е сравняване на прираста на напрежение в наблюдавания целик, вследствие развитието на камерата около него по трите метода, т.е. по експериментално получените резултати, резултатите от т.н. маркшайдерска методиката (представена с формула 17) и от параметрично получените резултати. И по трите метода е отчетено нарастване в различна степен на натоварването в наблюдавания целик. При първия (експерименталния) метод прирастът е 4,8 МПа, по втория (т.н. маркшайдерски) е 3,5 МПа, а по третия (параметричен) е 2,7 МПа. Тези разлики между стойностите на прирастите, изразени като съотношение са: 1,0:0,7:0,6. Разликите между тези прирасти са пренебрежително малки и са в рамките на допустимото, като за представителни могат да се смятат експерименталните, тъй като при тях се определят фактическите премествания, а при всички други преместванията се изчисляват или съществува неизбежна идеализация.

- **Изследване прираста на напрежение в целиците вследствие на тяхното „престъргване” (намаляване на напречното им сечение)**

Получените резултати на определените параметри носеща способност и напрегнато състояние са използвани за оценка на състоянието на три от рудните целици, които в по-ранни етапи от експлоатация са били обект на последващо „престъргване”.

Изследванията са извършени за изолирани междукамерни целици с номера 12-2-12, 3-17-а и 3-18-а. Анализът е започнал с целици 3-17-а и 3-18-а, които са от същия работен хоризонт (хоризонт 675-блок 17-а и блок 18-а). С помощта на този експеримент се дефинира еталонният експеримент и се установяват причините, довели до разрушаване на останалите междукамерни целици подложени на „престъргване”.

От извършения анализ, представен таблично, е установено, че носещата способност на целици 3-17-а и 3-18-а първоначално е по-голяма (от 28 до 32 МПа) от граничната и осигурява устойчивост на системата. След „престъргването” на рудните изолирани целици 3-17-а и 3-18-а картината се променя и тази носеща способност е намалена средно от 30 МПа на 24 МПа.

За целик 12-2-12, въпреки че се намира на горния хоризонт (хоризонт 724-блок 12), също се оказва, че е с намалена носеща способност от 32 МПа на 24 МПа и е подложен на последващо динамично разрушаване.

Извършеният по-горе анализ представя една динамична промяна в състоянието на разглежданите целици. Първоначално, вследствие на тяхното престъргване, т.е. намаляване на носеща им способност, и втори път от увеличаване на размерите на камерата около тях, т.е. увеличаване на натоварването им.

От извършения анализ е установено, че всички междукамерни целици се разрушават при намалена носеща способност, по-малка от 25 МПа, която е пределна и при увеличено НС от 35 МПа. Тези резултати се потвърждават и от последващ извършен параметричен анализ за 15 рудни целика в два от работните хоризонти, подложени на последващо „престъргване”, респективно намаляване на носещата им способност.

IV.4 Анализ на риска-рискови фактори

Основните групи рискови фактори, влияещи пряко върху устойчивостта на системата ДК/ПЦ са:

- Естественото плюс индуцираното напрегнато състояние на масива;
- ФМС на скалите и структурните характеристики на масива;
- Технологичните въздействия, които с геометричните си и пространствени характеристики нарушават целостта на скалния масив и формират ново НДС на системата.

Представените по-горе рискови фактори могат да се разделят на: неуправляеми (ЕНС, свойствата, строежа, нарушеността) и управляеми (индуцирани напрежения и сеизмичност, сеизмично въздействие от ПВР), определящи режимите на работа и ефектите от технологични въздействия.

При най-добрите практики в света комплексната оценка на риска се извършва чрез определяне на чувствителността на системата към обща индуцирана сеизмичност. За настоящото изследване е приложена следната методична последователност, с помощта на която се определя и индуцираната сеизмичност в наблюдавания целик (8-19-а).

Основните характеристики на факторите, определящи чувствителността, геомеханичните процеси, респективно категорията на масива по индуцираната сеизмичност, използвани широко в практиката, са:

- индекс на крехкост $BI = \sigma_c / \sigma_t$
- якостен индекс $RSI = 3\sigma_{\max} / \sigma_c$
- напреженов индекс $SI = \sigma_c / \sigma_{\max}$
- плътност на деформационна енергия $SED = \sigma_c^2 / 2E$ [kJ/m³],

където: σ_c – якост на едноосов натиск [MPa]; E – модул на Юнг [MPa]; $\sigma_{\max}$ – максимално главно действащо напрежение [MPa]; σ_t – якост на едноосов опън [MPa].

Резултатите от изчисления за групите фактори, изброени по-горе, са представени в таблица IV.4.

Таблица IV.4

Склонност на скалите изграждащи целика към индуцирана сеизмичност и енергонасищане на масива

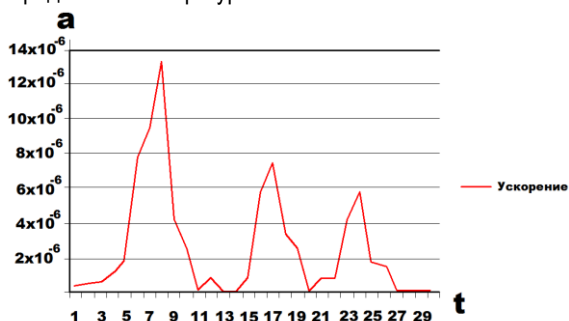
Критерии Целик	Индекс по крехкост BI	Якостен индекс RSI	Напреженов индекс SI	Плътност на деформационна енергия SED [kJ/m ³]	Обща оценка на ниво на индуцирана сеизмичност
Целик 8-19-а	7,2	0,3	10,7	0,04	много ниска

Получените резултати за крехкост ($BI=7,2$) и за напреженов индекс ($SI=10,7$), които отчитат респективно съотношенията якост/опън и натиск/максимално действащо напрежение установяват, че целикът, изграден от амфибол - биотитови гнайси, е склонен към натрупване на минно - индуцирана сеизмичност, т.е. той е достатъчно крехък, за да се разруши динамично. Това означава, че по рейтинговата скала на Yoop, якостта на скалите надвишава близо 11 пъти магнитудата на индуцираните напрежения в зоните им на концентрация, т.е. те са най-податливи към акумулиране на

деформационна енергия и е много вероятно да се разрушат от дефицит на носеща способност.

Съгласно определените стойности по горните критерии за оценка, въздействието на индуцирана сеизмичност разрушавания на целика от индуцирана сеизмичност не могат да възникнат, много по-вероятно е разрушаване от дефицит на носеща способност.

За да се разшири анализът е определен коефициентът на крехкост по два метода: единият е чрез определяне на коефициента на крехкост като съотношение между обща към необратима (т.е. чисто еластична деформация), със стойност 0,62 или 62% и определена съгласно графично – аналитичен метод; а другият метод е посредством определения вече VI индекс за крехкост (7,2) , като и двата резултата съответстват на едно доста добре еластично поведение на материала. Това дава възможност да се определи ускорението на изменение на натоварване (a) на целика в зависимост от времето (t). Тези резултати са представени на фигура 29.



Фиг. 29 Интензитет на натрупване на деформации в наблюдавания целик

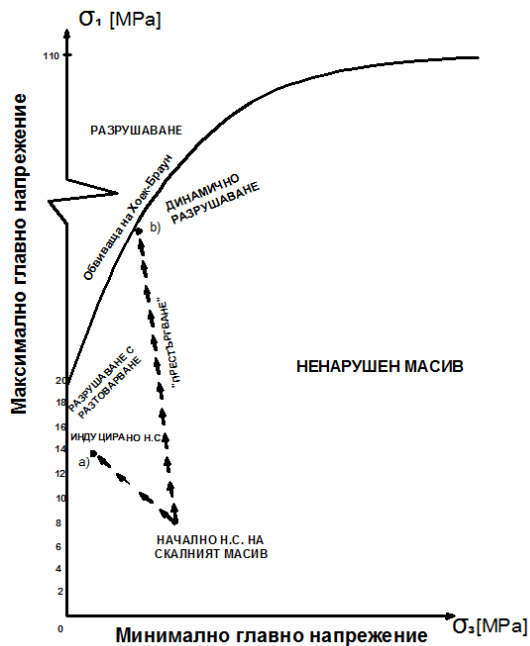
Извършеният анализ е базиран на определянето на физически потенциал от физически характеристики за натрупване на еластична енергия, на ефектите от технологични въздействия и съответстващото на тези ефекти стъпалообразно нарастване. Прирастът на натоварване в целика може да бъде критерий както за определени механизми на разрушаване, така и за интензивен режим на работа на целика.

Основната цел на последните изследвания е да се даде една обобщена оценка на НДС на системата ДК/ПЦ, да се оцени риска от загуба на устойчивост, чрез най-вероятни разрушавания и да се определи техния вид и механизъм.

За целта е приложен методът напреженова траектория „Stress Path”, прилаган в минната практика на много държави като Канада, САЩ, ЮАР и др.

Методът е приложим при познаване на естественото поле на напрежения, пълната характеристика на масива и прогнозираните индуцирани напрежения, предизвикани от оформяне на камери, целици, минни изработки и т.н.

Приложението на метода Stress Path за анализирания система ДК/ПЦ е представен на фигура 30.



Фиг.30 Напреженова траектория (Stress Path)

Анализът е базиран на якостните свойства на масива (табл III.1 и III.4) и естественото и индуцирано (фиг. 26 и фиг. 27) напрежение, позволяващи да се направят следните по-важни заключения за състоянието на системата ДК/ИПЦ, получена по метода Stress Path.

- Началното (σ_1 , σ_3) и крайното индуцирано (σ_1 , σ_3) напрежение характеризират съответно началното и крайното НДС на системата в областта на ненарушения (еластичен) режим.

- Траектория а) е насочена към низходящата част на обвиващата на критерия на Нокс-Броун, което е благоприятно и означава, че последователността, обемът и режимът от минните работи е без индуциране на напрежения и без проява на обрушаване и натрупване на сеизмична енергия. Този режим на поведение е характерен за изолирани целици, които са подложени на постепенното равномерно натоварване (т.е. целик 8-19-а),

предизвикано от едновременното развитие на мините при разширяване на камерата във всяка посока. По този начин се създават и условия за междинни разтоварвания от индуцираните напрежения при псевдопластичното деформационно поведение на скалите, изграждащи масива. НДС на системата в този случай се изменя без риск от инциденти (от превишаване якост на масива), с което се обуславя най-вероятен режим - загуба на устойчивост на „порции“.

- Траектория б) е характерна за целици с номера 3-17-а, 3-18-а и 12-2-12. Тя показва, че при този режим на „престъргване“ (намаляване на напречното сечение) на целиците и увеличаване на натоварването върху тях, НДС на системата ДК/ПЦ (разликите σ_1/σ_3 ще нарастват) се появяват зони на концентрации на напрежения и се индуцира сеизмичност. В този случай зоните на разрушаване ще се доближат до обвиващата на критерия на Hoek-Brown. С нарастването на девиатора ще се появят и високи напрежения, които ще предизвикат разрушаване и натрупване на сеизмична енергия.

IV.5 Изводи и заключения

1. Извършена е комплексна проверка на съставената методология за анализ на състоянието на системата ДК/ПЦ, което съответства на поставените цели и задачи;

2. Важен структурен елемент на методическата постановка на изследване е създаване на прибор за измерване на фактическите премествания (деформации в целика и конвергенции в камерата);

3. Доказана е работоспособността на прибора в “in situ” условия, извършен е комплексен анализ на НДС на системата ДК/ПЦ, определени са механизмите на разрушаване, определени са граничните стойности на натоварване на целика, при които настъпва загуба на устойчивост (първи разрушавания);

4. За тези геомеханични условия, характерни за експлоатационен блок 19-а на хоризонт 675, е определено съотношението поддържаща (площ на камерата) към поддържаща (площ на целика) площ.

5. Извършено е съчетание между числени и експериментални методи за определяне на основни фактори, влияещи върху НДС на системата ДК/ПЦ;

6. Установени са видовете, връзките и е оценено НДС на системата ДК/ПЦ чрез пряка връзка с технологичните ефекти. На базата на комплексен анализ, чрез използване на методологията, е определено количеството фактори, които определят геомеханичните условия, НДС, механизми на разрушаване, рискови фактори, които са основа за осигуряване на устойчиво и ефективно приложение на тази система.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Съставена е нова методология за комплексна параметрична геомеханична оценка и логистика при оразмеряването на елементите на непрекъснатата система на разработване. Методологията дава възможност за получаване на точни инженерни решения на всеки етап от приложението на системата и гарантира устойчивост и дълговременна носеща способност на целиците. Тя е приложима и за други системи на разработване в подземния добив.

2. В резултат от приложението на методологията е изяснен механизмът на разрушаване на изолираните целици, чрез установяване на: прираста на натоварване в целика. Определени са граничните стойности на натоварване, при които настъпва загуба на устойчивост и разрушаване на целика, стойността на критичната конвергенция в камерите и общото влияние на индуцираната сеизмичност. Приложен е методът Stress Path за управление на технологичните процеси при минимален геомеханичен риск.

3. В резултат на извършената характеризация, са определени качествените характеристики на масива и са получени нови данни за задпределното състояние на изграждащите го скали. Създадена е многомерна база данни, която, заедно с предложения методологичен подход осигурява входните параметри (параметри на състоянието) на вместващия масив в експерименталния експлоатационен участък.

4. Установено е, че локалното поле на напрежения е от тектонски произход, със субхоризонтално максимално главно напрежение, а преобладаващото поведение на масива е еластично-вискозно. Тези данни са фундамент за по-нататъшните изследвания.

5. Направен е критичен анализ и обобщение на световната практика по оразмеряването на изолирани междукamerни поддържащи целици. Установено е, че в голяма част от предлаганите формули включените параметри не са ясно мотивирани, имат неизяснена физическа същност и съдържат коефициенти без необходимата научна обосновка. Направеният анализ обогатява съществуващите знания с доказателства за несъответствия в съществуващите досега начини на оразмеряване.

6. Конструиран е прибор за линейни премествания, наречен „Деформометър 1.0“. С прибора са извършени *in situ* измервания и са получени данни за премествания (деформации и конвергенции) съответно в целика и в камерата в действащ минен участък.

НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ КЪМ ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Дачев Г., Иванов В. Сравнителен анализ на методите при оразмеряване на изолирани скални целици, IV^{та} Научно-техническа конференция с международно участие, гр. Девин 23-26 септември 2014, стр. 156-163.
2. Дачев Г., Иванов В., Проблеми при оразмеряване на единични опорни целици по примера на рудник „Ерма река“, находище „Гюдюрска“ („Южна Петровица“), Годишник на МГУ, том 57, св. II, 2014, стр. 12-14.
3. Dachev G., Ivanov V., Methodology for dimensioning of room and pillar system in underground mining VI th Balkan mine congress 20th – 23th of september 2015 Petrosani, Romania, page 2-8.
4. Дачев Г., Експериментално изследване на натоварването на изолиран поддържащ целик в условията на находище „Гюдюрска“, Годишник на МГУ, том 58, св. II, 2015, стр. 9-12.

СЪДЪРЖАНИЕ

Увод	3
Глава Първа. Състояние на проблема. Цели и задачи на изследването	4
I.1. Методи за оразмеряване на добивни камери и на междукamerни поддържащи целици	4
I.2. Фактори определящи напрегнатото и деформирано състояние (НДС) на междукamerните поддържащи целици	4
I.2.1 Фактори влияещи при оразмеряването и определящи устойчивостта на междукamerните поддържащи целици	4
I.3. Методи за оразмеряване на изолирани междукamerни поддържащи целици	5
I.3.1 Определяне на напрегнатото състояние на междукamerните поддържащи целици	5
I.3.2 Методи за определяне на носещата способност на междукamerните поддържащи целици	10
I.3.3 Систематични методи на оразмеряване	14
I.4 Изводи	16
I.5 Цели и задачи на дисертационния труд	17
Глава Втора. Методология за геомеханична логистика при оразмеряване и проектиране на изолирани междукamerни поддържащи целици	18
II.1. Методология за геомеханична логистика при оразмеряване на изолирани междукamerни поддържащи целици	18
II.2 Изводи	21
Глава Трета. Практическо приложение на представената методология	22
III.1. Характеризация на скалния масив в експлоатационния добивен участък	22
III.2. Изводи	30
Глава Четвърта. Изследване на НДС на междукamerните поддържащи целици	30
IV.1. Обратен анализ за определяне състоянието на междукamerните поддържащи целици в находище „Гюдюрска“	30
IV.2 Експериментални изследвания	35
IV.3 Параметрично изследване	42
IV.4 Анализ на риска-рискови фактори	48
IV.5 Изводи и заключения	52
Научно-приложни приноси	51
Научни публикации към дисертацията	54

Георги Ангелов Дачев

**ГЕОМЕХАНИЧНА ЛОГИСТИКА ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕТО НА
ПОДДЪРЖАЩИТЕ ЦЕЛИЦИ ПРИ СИСТЕМИТЕ НА РАЗРАБОТВАНЕ С
ОТКРИТО ДОБИВНО ПРОСТРАНСТВО**

(На примера на рудник „Ерма Река”, находище „Гюдюрска”)

**АВТОРЕФЕРАТ
София - 2016**