

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Розробки родовищ корисних копалин»  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_/Єфремов І.О./  
“ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

## Випускна кваліфікаційна робота

\_\_\_\_\_  
магістр  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Геомеханічне обґрунтування форми розмірів виробок при видобутку солі в ДП «Артемсіль» з метою зниження втрат корисної копалини»

Виконав: студент 2 курсу, групи РККзм-19

напряму підготовки (спеціальності) 184 «Гірництво», спеціалізація «Розробка родовищ корисних копалин»  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Петрієнко Є.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник проф. каф. РРКК, д.т.н., Сахно І.Г. \_\_\_\_\_  
(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць ін-  
ших авторів без відповідних посилань.*  
Студент Петрієнко Є.В. \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Покровськ – 2021 р**

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

Факультет Гірничий

Кафедра Розробка родовищ корисних копалин

Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

/Єфремов І.О./

“      ”                      2021 року

## З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРУ

Петрієнко Євген Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Геомеханічне обґрунтування форми розмірів виробок при видобутку солі в ДП «Артемсіль» з метою зниження втрат корисної копалини

керівник роботи Сахно Іван Георгійович, д.т.н.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом №        від “      ” 2021 року

2. Строк подання студентом роботи 15 травня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: загальна характеристика ДП «Артемсіль», аналіз сучасного стану підприємства, аналіз варіантів зниження втрат солі, математичне моделювання стану виробок, обґрунтування доцільної форми камер, розрахунок параметрів запропонованої системи розробки, заходи з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
стратиграфічна колонка порід, результати математичного моделювання, аналіз результатів

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання 1 березня 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №<br>n/n | Назва етапів роботи                                                                                                                                        | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1        | ГЕОЛОГІЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНА<br>ХАРАКТЕРИСТИКА АРТЕМІВСЬКОГО<br>РОДОВИЩА                                                                                        | 10.03.2021                     |          |
| 2        | АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ<br>ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОТУЖНИХ ПЛАСТІВ<br>СОЛІ                                                                                         | 01.04.2021                     |          |
| 3        | ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ КАМЕРИ НА<br>НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН<br>ВМІЩУЮЧОГО МАСИВУ І СТІЙКІСТЬ<br>КОНТУРУ ВИРОБКИ МЕТОДОМ<br>МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ | 20.04.2021                     |          |
| 4        | ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРУ<br>МІЖКАМЕРНОГО ЦІЛИКА ПРИ ЕЛІПСОЇДНІЙ<br>ФОРМІ КАМЕРИ НА НАПРУЖЕНО-<br>ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ВМІЩУЮЧОГО<br>МАСИВУ                  | 01.05.2021                     |          |
| 5        | ОХОРОНА ПРАЦІ                                                                                                                                              | 05.05.2021                     |          |
| 5        | Оформлення роботи і підготовка до захисту                                                                                                                  | 10.05.2021                     |          |

Студент \_\_\_\_\_ Петрієнко Є.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сахно І.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Петрієнко Є.В. Геомеханічне обґрунтування форми розмірів виробок при видобутку солі в ДП «Артемсіль» з метою зниження втрат корисної копалини / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Магістерська робота присвячена вирішенню актуального завдання обґрунтування доцільних параметрів камер при вийманні солі в умовах Артемівського родовища при яких би було підвищено коефіцієнт вилучення запасів і забезпечено стійкість в довготривалому періоді.

Сформовано основні перспективні шляхи удосконалення технологічних параметрів видобутку солі. Запропоновано підвищувати коефіцієнт вилучення запасів кам'яної солі за рахунок зміни геометричних параметрів очисних камер.

Проведено аналіз літератури, спрямований на пошук світового досвіду вирішення схожих задач, що дало можливість обрати метод дослідження. Обрано метод скінчених елементів. В якості критерію обрано силовий критерій. Прийнято в якості робочої першу теорію міцності.

Встановлено, що зміна форми камери істотно впливає на розподіл напружень на контурі виробки й у масиві. З точки зору стійкості контуру виробки найбільш раціональною є еліпсоїдна форма виробки із співвідношенням висоти і ширини камери рівним співвідношенню вертикальної і горизонтальної компонент напружень в масиві.

При еліпсоїдній формі камер і розмірі цілика 12 і більше метрів руйнування його відбуватися не буде, а при розмірі цілика менше 7 м спостерігатиметься його руйнування відразу після виїмки камери. В діапазоні 7-12 м необхідні додаткові заходи з підвищення стійкості. Альтернативним варіантом, який пропонується в роботі, є залишення ціликів не стрічкового типу, а окремо розташованих опор (стовпів).

**Ключові слова:** сіль, камера, комбайн, шахта, пласт, напруження.

## ABSTRACT

Petrienko E.V. Geomechanical substantiation of the shape of the size of mine openings during salt production in SE «Artemsil» in order to reduce mineral losses / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree «Master» specialty 184 «Mining». - SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The master's thesis is devoted to solving the urgent problem of substantiation of expedient parameters of chambers at extraction of salt in the conditions of the Artemivsk deposit at which the coefficient of extraction of stocks would be increased and stability in the long-term period would be provided.

The main perspective ways of improvement of technological parameters of salt extraction are formed. It is proposed to increase the rate of extraction of rock salt reserves by changing the geometric parameters of the treatment chambers. An analysis of the literature aimed at finding world experience in solving similar problems, which made it possible to choose a research method. The finite element method is selected. The power criterion was chosen as a criterion. Accepted as a opening first theory of strength.

It is established that the change in the shape of the chamber significantly affects the stress distribution on the production circuit and in the array. From the point of view of stability of a contour of working out the most rational is an ellipsoidal form of working out with a ratio of height and width of the chamber equal to a ratio of vertical and horizontal components of stresses in an array.

If the shape of the chambers is ellipsoidal and the size of the whole is 12 or more meters, it will not be destroyed, and if the size of the whole is less than 7 m, its destruction will be observed immediately after the camera is removed. In the range of 7-12 m, additional measures are needed to increase stability. An alternative proposed in the work is to leave the pillars are not tape type, and separately located supports (columns).

**Key words:** salt, chamber, combine, mine, formation, tension.

## ЗМІСТ

|   |                                                                                                                                                          |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|   | ВСТУП                                                                                                                                                    | 6  |
| 1 | ГЕОЛОГІЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА<br>АРТЕМІВСЬКОГО РОДОВИЩА                                                                                         | 8  |
|   | 1.1 Загальна характеристика ДПО «Артемсіль»                                                                                                              | 8  |
|   | 1.2 Геологічна будова Артемівського родовища                                                                                                             | 9  |
|   | 1.3 Система розробки и схема підготовки                                                                                                                  | 14 |
| 2 | АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОТУЖНИХ<br>ПЛАСТІВ СОЛІ                                                                                          | 19 |
| 3 | ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ КАМЕРИ НА НАПРУЖЕНО-<br>ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ВМІЩУЮЧОГО МАСИВУ І<br>СТІЙКІСТЬ КОНТУРУ ВИРОБКИ МЕТОДОМ<br>МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ | 33 |
|   | 3.1 Постановка завдання. Методика моделювання                                                                                                            | 33 |
|   | 3.2 Математичне моделювання. Аналіз результатів                                                                                                          | 42 |
|   | 3.3 Висновки                                                                                                                                             | 51 |
| 4 | ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРУ МІЖКАМЕРНОГО ЦІЛИКА<br>ПРИ ЕЛІПСОЇДНІЙ ФОРМІ КАМЕРИ НА НАПРУЖЕНО-<br>ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ВМІЩУЮЧОГО МАСИВУ                      | 53 |
|   | 4.1 Постановка задачі. Методика моделювання                                                                                                              | 53 |
|   | 4.2 Математичне моделювання. Аналіз результатів                                                                                                          | 55 |
|   | 4.3 Висновки                                                                                                                                             | 74 |
| 5 | ОХОРОНА ПРАЦІ                                                                                                                                            | 76 |
|   | 5.1 Комплексне знепилювання                                                                                                                              | 76 |
|   | 5.2 Питне водопостачання                                                                                                                                 | 77 |
|   | 5.3 Асенізація                                                                                                                                           | 77 |
|   | 5.4 Медична допомога                                                                                                                                     | 78 |
|   | 5.5 Техніка безпеки                                                                                                                                      | 78 |
|   | 5.6 Протипожежний захист                                                                                                                                 | 79 |
|   | ВИСНОВКИ                                                                                                                                                 | 80 |
|   | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                                                                                               | 81 |

## ВСТУП

Основним досягненням в області підземного видобутку кам'яної солі є перехід з буропідривного способу руйнування гірничого масиву на машинну (комбайнову) виїмку шарами по всій потужності пласта в камерах великих поперечних перетинів.

Комбайновий комплекс на соляних рудниках є системою взаємно доповнюючих одна одну гірничих машин – комбайн, бункер-перевантажувач і самохідні вагони, з яких сіль поступає на конвеєр через солеспускні свердловини.

Застосування машинної технології розробки потужних пластів кам'яної солі дозволяє різко скоротити кількість технологічних процесів і операцій і тим самим підвищити надійність всього комплексу робіт, безпеку праці, збільшити продуктивність, понизити втрати корисних копалин в надрах.

В той же час при існуючих параметрах системи розробки (ширина камер до 17,0 м, висота камер до 35,0 м, довжина – до 2000,0 м) і об'ємах видобутку (близько 3,0 млн. т/рік) час відпрацювання камер істотно збільшився і досягає 15 років і більше, що не можна вважати задовільним з погляду безпеки присутності людей в камерах з неконтрольованими оголеннями.

У зв'язку з цим виникає необхідність проведення досліджень по обґрунтуванню раціональних параметрів камерної системи розробки і обґрунтуванню геометричних параметрів і форми камер.

Метою роботи є вивчення можливості підвищення коефіцієнта вилучення запасів з ціликів, за рахунок зміни геометричних параметрів камер при вийманні солі в умовах Артемівського родовища.

Завдання:

1. Аналіз гірничо-технологічних умов відпрацювання солі в умовах Артемівського родовища.
2. Дослідження впливу форми камери на напружено-деформований стан вміщуючого масиву і стійкість контуру виробки.
3. Дослідження впливу розміру міжкамерного цілика при еліпсоїдній формі камери на напружено-деформований стан вміщуючого масиву.

Методи дослідження. В роботі використовувалися загальні наукові методи, метод кінцевих елементів, метод інженерних розрахунків.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 12 найменувань; містить 75 сторінок основного тексту, 37 рисунків, 3 таблиць, загальний обсяг роботи складає 82 сторінок.

# 1 ГЕОЛОГІЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АРТЕМІВСЬКОГО РОДОВИЩА

## 1.1 Загальна характеристика ДПО «Артемсіль»

До складу ДПО «Артемсіль» входять наступні солевидобувні підприємства: Рудник №1,3, Рудник №4, Рудник №7, Рудник ім. Володарського. В даний час відпрацьовуються два пласта Брянцевський (Рудник №4, Рудник №7, Рудник ім. Володарського) і Подбрянцевський (Рудник №1,3) [1].

Середньорічний річний видобуток по рудникам становить Рудник №1,3 - 580,2 тис.т, Рудник №4 - 504,4 тис.т, Рудник №7 - 702 тис.т, Рудник ім. Володарського - 596,4 тис.т [1].

Подбрянцевській пласт кам'яної солі має геологічну потужність від 27 до 31 м. Брянцевський пласт - від 31 до 38 м. Проект гірничого відводу рудників затверджений Управлінням Донецького округу Держгіртехнагляду УРСР 14.11.1960г. Солерудник перебуває в 12 км на північний схід від Артемівська Донецької області в межах р Соледара [1].

Джерелом електроенергії є система АТ"Донецькі електромережі", джерелом водопостачання - річка Сіверський Донець. В якості палива систем опалення використовується природний газ (у якості резервного палива - мазут). По проммайданчику рудників прокладені залізничні колії, які мають зв'язок зі станцією «Сіль» Донецької залізниці. Безпосередньо поруч з рудником проходить асфальтована дорога, яка має вихід до автомагістралі Харків - Ростов і в інші напрями [1].

Від групи солерудників №1, №2, №3 в північно-західному напрямку прокладено залізничну гілку до найближчої станції Сіль Донецької залізниці. Безпосередньо через ділянку проходить асфальтоване шосе, що з'єднує м. Артемівськ і всі солерудники Артемівського родовища кам'яної

солі між собою і що примикають дороги на околиці м. Артемівська до автомагістралі Харків-Ростов [1].

У орографічному відношенні район являє собою слабо хвилясту височину з відмітками від 90 м до 192 м. Найбільшою водною артерією є річка Бахмутка, що впадає в річку Сіверський Донець. На 39 км від гирла р. Бахмутка приймає в себе самий великий приплив - річку Мокру Плотву. Клімат району - континентальний. Він характеризується сухим, жарким літом з короткочасними дощами малосніжною зимою. Середні мінімальні температури рівні в січні від мінус 25 град до плюс 15 град. Середні максимальні температури в січні - плюс 5 град, в липні від плюс 26 до плюс 27 град. Абсолютні значення мінімальних температур в січні досягають мінус 36 град, максимальні - в січні плюс 9 град, в липні плюс 39 град [1].

Середня річна температура досягає від плюс 8,8 до плюс 9,2 градусів. Вітри постійно дмуть, влітку північного, північно-східного і південно-східного напрямків. Середня швидкість вітру коливається в межах 3-5 м / с. Кількість опадів, що випадають на рік досягає 501 мм, причому найбільша кількість їх випадає влітку у вигляді дощу і дуже мало взимку у вигляді снігу. Сніг випадає в грудні і тане в другій половині березня. Висота снігового покриву від 2 до 12 м. Відносна вологість повітря мінімальна влітку від 40 до 48% і максимальна взимку від 76 до 83% [1].

## 1.2 Геологічна будова Артемівського родовища

Згідно з даними ГО "Донбасгеологія" в геологічній будові родовища беруть участь пермські, палеогенові, неогенові і четвертинні утворення [1].

Відкладення пермського віку має повсюдне розповсюдження в межах родовища. Відкладення третинного віку, що збереглися у вигляді локальних ділянок на вододілах, мають потужність 15-20 м. Четвертинні відкладення суцільним чохлом покривають родовище і мають потужність 15-20 м, в долинах - 9-18 м, на схилах балок - 15-16 м. Пермські відкладення

в районі родовища представлені двома нижніми ( $P_1$ ) і верхніми ( $P_2$ ) відділами. У нижньопермських відкладеннях беруть участь відкладення слов'янської і краматорського світ, у відкладеннях верхньої пермі - дроновська світа [1].

Відкладення слов'янської свити представлені комплексом ритмічно чергуючихся пластів кам'яної солі, ангідритів, аргілітів, алевролітів, вапняків, доломіту. Переважаючими породами в розрізі свити є галогенні породи (кам'яна сіль, ангідрит, гіпс), більш підпорядковане значення мають теригенні утворення (аргіліти, алевроліти). Причому, з галогенних порід превалює кам'яна сіль, з теригенних-аргеліти, з органогенно-хемогенних – вапняки [1].

Соленосна свита Артемівського родовища містить п'ять продуктивних пластів кам'яної солі (зверху вниз): Надбрянцевській (НБП) із середньою корисною потужністю 10,6 м., Брянцевський (БП) 40,9 м, III 8,6 м, IV 4,3 м, Подбрянцевській (ПБП) 28,5 м. Потужність порід міжпластя між підшоною вишележачого і покрівлею нижчого пластів становить: НБП-БП - 25,7-75,5 м, БП-III-83,5-116 м, III-IV 11,4-20,1 м, IV-ПБП 11-20. Загальна товща соленосних свит по родовищу коливається в межах 131,6-231,6 м. Пласти можна віднести до категорії зближених, тобто відпрацювання будь-якого із зазначених пластів повинно здійснюватися з урахуванням надробки-підробки вищого і нижчого пластів.

Літологічну будову можна відстежити за стратиграфічною колонкою (рис. 1.1).

Фізико-хімічні показники солі Брянцевського пласта в цілому по всій потужності, характеризується наступним змістом основних компонентів в перерахунку на суху речовину:

$\text{CaSO}_4$  - от 0,90 до 1,165;

$\text{MgSO}_4$  -от 0,011 до 0,174;

$\text{MgCl}_2$  - от 0,007 до 0,120;

нерозчинний залишок - от 0,206 - 0,352.



приміщеннях рудника, навіть при несприятливих погодних умовах, вологість відвантаженої солі не перевищує 0,25%, що відповідає вимогам стандартів.

Усереднений (середньозважений) гранулометричний склад солі при видобутку комбайнами і видається на солефабрику для переробки, має наступну характеристику табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Гранулометричний склад солі при видобутку комбайнами

| Клас<br>(крупність),<br>мм | Після комбайна<br>«Урал»-20(10)КС» |                |      | Після комбайна «Паурат» |                |      |
|----------------------------|------------------------------------|----------------|------|-------------------------|----------------|------|
|                            | Зміст %                            | Сумарний вихід |      | Зміст %                 | Сумарний вихід |      |
|                            |                                    | 1              | f    |                         | 1              | f    |
| + 65                       | 1,7                                | 1,7            | 100  | 4                       | 4              | 100  |
| + 40-65                    | 2,8                                | 4,5            | 98,3 | 7                       | 11             | 96   |
| + 25-40                    | 7                                  | 11,5           | 95,5 | 9                       | 20             | 89   |
| +13-25                     | 12                                 | 23,5           | 88,5 | 12,5                    | 32,5           | 80   |
| +10-13                     | 5,5                                | 29             | 76,5 | 5                       | 37,5           | 67,5 |
| + 6,0 - 10                 | 13,2                               | 42,2           | 71   | 13,5                    | 51             | 62,5 |
| + 5,0 - 6,0                | 1,3                                | 43,5           | 57,8 | 1,5                     | 52,5           | 49   |
| + 4,0 - 5,0                | 8                                  | 51,5           | 56,5 | 7                       | 59,5           | 47,5 |
| + 3,5 - 4,0                | 3,5                                | 55             | 48,5 | 2                       | 61,5           | 40,5 |
| + 2,5 - 3,5                | 7                                  | 62             | 45   | 6                       | 67,5           | 38,5 |
| + 1,6 - 2,5                | 9                                  | 71             | 38   | 7                       | 74,5           | 32,5 |
| + 1,2- 1,6                 | 4                                  | 75             | 29   | 3                       | 77,5           | 25,5 |
| + 0,8- 1,2                 | 6                                  | 81             | 25   | 4                       | 81,5           | 22,5 |
| + 0,5- 0,8                 | 5                                  | 86             | 19   | 6                       | 87,5           | 18,5 |
| + 0,2 - 0,5                | 8                                  | 94             | 14   | 8,5                     | 96             | 12,5 |
| - 0,2                      | 6                                  | 100            | 6    | 4                       | 100            | 4    |

Таким чином, вихідна сіль Брянцевського пласта відповідно до вимог ДСТУ 3583-97 і ГОСТ Р 51574-2000 за фізико-хімічними показниками відноситься до першого сорту, а сіль для промислового споживання (ДСТУ 18.03-95), концентрат мінеральний «Галіт» (ДСТУ 18.27-98) і сіль кухонна для хімічних перетворень (ТУ У 18.44.23-96) - до вищого сорту.

По таблиці видно, що у вихідній солі, що видобувається в шахті комбайнами типу «Урал 10-КС» і «Урал -20КС » міститься:

помолу № 0 - 19,0%

помолу №1-25,0%

помолу №2 - 38,0%

помолу №3 - 48,5% [1].

З огляду на вимоги ДСТУ 18.27-98, за яким «Галіт» крупності №4 (подрібнений) - допускає наявність частинок до 40мм - 95% і кристал більш 40мм не більше 5%, фактично маємо 95,5 і 4,5% після комбайна «Урал» -20 (10) КС ». Звідси робимо висновок, що вся сіль, що видається з шахти після комбайнів «Урал-20 (10) КС», може відвантажуватися споживачам без переробки як подрібнене розміром 4 відповідно до ДСТУ 18.27-98 «Концентрат мінеральний «Галіт». Однак після комбайна «Паурат» показники вихідної солі не відповідають вимогам ДСТУ 18.27- 98 для крупності №4 і вже більш задовольняють ДСТУ 18.03-95 «Натрій хлористий для промислового споживання» для крупності №4 [1].

Виходячи з цього робимо висновок, що видобувається на руднику сіль задовольняє за своїми показниками вимогам різних стандартів і може поставлятися як без попередньої переробки, так і пройшовши етапи розсівання, дроблення, подрібнення, обспилювання з метою досягнення необхідних параметрів, заявлених споживачами.

Підземні води на Артемівському родовищі класифікують по породам, які їх вміщують. Серед них виділяються води пермських і четвертинних відкладень. Підземні води неогеново-палеогенових і четвертинних відкладень [1].

Мають невелике значення в балансі вод району родовища. Підземні води пермських відкладень відіграють домінуючу роль в гідрогеології району. Четвертинні відкладення описуваного району містять води, приурочені до суглинків схилів і вододілів, і води алювіальних відкладень. Води, приурочені до суглинків, мають часто спорадичні поширення і

незначний дебіт. Області живлення цього водоносного горизонту вкрай обмежені, що обумовлює їх слабку водоносність [1].

Алювіальний водоносний горизонт розкритий рядом свердловин, пробурених в заплавах річок Бахмутки і Мокрої Плотви. Води алювіальних відкладень приурочені до лінз різнозернистих пісків з включенням гальок. Алювій в основному стелить відкладенням дроновської свити, що містить в своєму складі витримані слабо-водопроникні глинисті породи. Тому проникнення вод р. Бахмутки і алювіально водоносного горизонту в відкладеннях дроновської свити дуже обмежено. Живлення алювіально водоносного горизонту відбувається за рахунок атмосферних опадів і вод річки Бахмутки [1].

Води палеогенових і неогенових відкладень приурочені до дрібнозернистих кварцевих пісків, мають локальне поширення і характеризуються обмеженими областями живлення. На площі Артемівського родовища кам'яної солі палеоген-неогенові відкладення розвинені на вододільних площах по обидва боки річки Мокрої Плотви і межиріччя р. Бахмутки і Горілий пень. Водообільність цих порід може бути характеризувати тільки за джерелами і криницями, що мають зазвичай незначний дебіт від слабих струменів до 1,1 м / год. Живлення цього горизонту відбувається за рахунок атмосферних опадів [1].

### 1.3 Система розробки и схема підготовки

Діюча система розробки на рудниках в цілому – камерна з розташуванням камер по простяганню пласта паралельно одна одній. Ширина камер 16 - 17 м, висота до 40 м, довжина камер коливається від 200 до 2000 м [1].

Схема підготовки – панельна.

Між очисними камерами передбачаються міжкамерні цілики, між панелями – панельні, в межах яких проводяться транспортні та вентиляційні виробки (штреки).

Спосіб відпрацювання очисних камер – комбайновий, за допомогою прохідницько-очисних комбайнів типу «Урал-20КСА», «Урал-10КСА», 4ПП-2М. Доставка видобутої солі від комбайнів до солеспусків-самохідними електричними вагонами типу 5ВС-15М. Транспорт солі по головним виробкам - конвеєрний, стрічковими конвеєрами типу КЛ-600, 1Л-100К і ін. до бункерів і від них до скіп-клітьового стволу [1].

На вентиляційному горизонті в межах панелі для цілей вентиляції і транспорту передбачені міжкамерні сбойки. На відкатувальному горизонті передбачені транспортні міжкамерні збійки для транспортування конвеєрами видобутої солі, що надходить з очисних камер по солеспускам. Відстань між збійками на вентиляційному горизонті приблизно 100 м, на відкаточному горизонті 200 м, кут розташування збійок до очисних камер в панелі 90 [1]. В межах панельних ціликів на відкаточному і вентиляційному горизонтах проводяться панельні штреки. Згідно зі схемою відпрацювання, очисні камери відпрацьовуються пошарово зверху вниз за допомогою комплексів, що складаються з комбайна типу «Урал-10КСА» або «Урал-20КСА», бункер-перевантажувача БП-14А і самохідного електричного вагона 5ВС-15М [1].

Відпрацювання очисних камер передбачена в два етапи. На першому етапі відпрацьовується частина камери довжиною 400 м в плані. Зворотним ходом - від розрізної виробки до розрахункових з утворенням похилого з'їзду по всій ширині камери з кутом нахилу 4. Проведення верхнього (першого) шару передбачено шляхом розтирання бокового штреку паралельними заходками до проектної ширини камери, яка дорівнює 17 м [1]. Зарізку другого шару проводиться з похилого з'їзду шляхом його подовження під кутом 4 до проектної висоти другого шару. Другий шар відпрацьовується аналогічними заходками по довжині камери на всю її

ширину. Третій і наступні шари відпрацьовуються аналогічно. В результаті такої послідовності відпрацювання шарів по кожній камері утворюється похилий з'їзд під кутом 4 на всю ширину, який з вентиляційного горизонту виходить на відкаточний на проектну відмітку ґрунту камери у нижній її горловини [1].

При проходці комбайнами сіль доставляється самоходними вагонами до солеспусков. Під час відсутності самоходного вагона сіль від комбайна вантажиться в бункер-перегрузатель. По мірі відпрацювання виїмкових шарів в верхніх горловинах камер комбайном робляться уступи, які обладнують драбинами і огорожами, і які служать запасними виходами з очисних камер на вентиляційний горизонт [1].

Камерна система розробки має ряд переваг в порівнянні з іншими системами розробки:

- відсутність технологічного процесу управління покрівлею, внаслідок чого продуктивність праці вище, а собівартість видобутку нижче;
  - можливість застосування найбільш потужною високопродуктивної самохідної гірничої техніки в умовах великих розмірів вільного простору в камерах;
  - більш висока концентрація гірничих робіт;
  - безпечні умови праці забійних робітників, так як гірничу техніку працює в основному на горизонтальній поверхні підшви виїмкових шарів.
- Широкому поширенню камерної системи розробки, яка зумовлює великі втрати солі в ціликах, сприяє те, що сіль відноситься до найбільш поширених і дешевих корисних копалин. Не останню роль відіграє також відсутність більш дешевого, ніж кам'яна сіль, закладного матеріалу в межах родовищ.

До істотних недоліків застосовуваної камерної системи розробки слід віднести:

- неможливість контролю стану оголень камер на великий (до 40 м) висоті;

- підвищені вимоги до оформлення оголень і склепіння камер;
- в умовах відсутності кріплення необхідність проведення великого обсягу експлуатаційної розвідки в стелині камер з керновим бурінням для дослідження їх фізико-механічних властивостей і визначення відміток покрівлі;
- великі (до 60-70%) втрати запасів солі в ціликах, що вимагає при проектуванні приймати параметри, що забезпечують максимальне вилучення запасів;
- підвищена небезпека динамічних проявів гірського тиску у вигляді обвалень, що вимагає забезпечення тривалої стійкості гірничих виробок;
- складність провітрювання очисних вибоїв через великий обсяг камер і вільних вироблених просторів.

Для пластових родовищ (Артемівське) основними несучими конструктивними елементами системи розробки є опорні цілики, водозахисна товща над виробками, безпосередня покрівля камер стелинами) - запобіжна пачка солі, а також запобіжна пачка солі в підошві камер як захисна товща від проникнення вод, приурочених до маркуючих прошарків порід, що вміщують. Аналіз досвіду розробки родовища кам'яної солі показав, що виникнення ускладнення у веденні експлуатаційних робіт були обумовлені в основному двома причинами. Одна з них пов'язана з недостатньою вивченістю геологічних і гідрогеологічних умов розробки родовищ і пов'язаними з цим прорахунками в управлінні гірським тиском. З цієї причини на Артемівському і Солотвинському родовищах багато соляних рудників в минулому були затоплені і занедбані, що неминуче спричиняло за собою зниження базису ерозії сводової частини, соляного купола і проникнення підземних вод до пластовим відкладенням кам'яної солі. Друга причина полягала в недостатній вивченості геомеханіки сольових порід, через що при вирішенні питань управління гірським тиском не враховувався вплив багатьох гірничотехнічних факторів, фактора часу, недооцінювалася роль також планування розвитку гірничих робіт.

Основна умова міцності, покладене в основу методів розрахунку параметрів несучих конструктивних елементів системи розробки при обраному способі управління гірським тиском, полягає в обліку:

- навантаження, що сприймається підземною конструкцією і залежить від глибини розробки;
- питомої маси порід;
- геомеханічних розмірів відпрацьовуються ділянок шахтних полів.

Несуча здатність конструктивного елементу системи розробки визначається мірою резерву для збереження її стійкості на заданий термін служби або в заданому режимі деформування, тобто коефіцієнтом запасу міцності. Для визначення несучої здатності конструкції враховується її геометрія, зв'язок з навколишнім виїмкових простір породним масивом, структурні особливості будови і механічні властивості порід.

## 2 АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОТУЖНИХ ПЛАСТІВ СОЛІ

Аналіз більш ніж 100-річного досвіду експлуатації Артемівського родовища з веденням гірничих робіт практично на всіх його продуктивних пластах, а також досвіду розробки зарубіжних соляних родовищ в західних країнах Європи і Америки (Німеччина, Польща, Франція, США, Канада) [2, 3] і родовищах калійних солей в Україні, Білорусії та Росії [2, 3, 4] показує, що найбільш поширеною і практично не має альтернативи при розробці вельми потужних пластів є камерна система розробки. Основними її відмінними ознаками при машинній (комбайновій) технології видобутку є відпрацювання пласта короткими очисними забоями в напрямку від транспортної виробки до вентиляційної із залишенням між камерами постійних (не вилучаємих) ціликів. При безвідходній роботі комбайнів можливе відпрацювання запасів солі від вентиляційної до транспортної виробки).

Камерна система розробки набула найбільшого поширення на соляних копальнях завдяки таким перевагам:

- значні розміри виробок дозволяють застосовувати потужне високопродуктивне самохідне гірське гирлове і транспортне обладнання;
- невеликий обсяг підготовчих і нарізних робіт;
- простота кріплення (анкерування), а в більшості випадків його відсутність;
- висока продуктивність праці завдяки великому фронту очисних робіт і можливості використання високопродуктивного обладнання;
- можливість реалізації поточності технологічних процесів виїмки і транспорту з малоенергоємних процесом доставки солі з виїмкової шару на транспортний горизонт за рахунок самопливного руху гірської маси по солеспускним свердловинах;

- висока безпека праці, так як самохідне обладнання в камерах працює в основному на горизонтальних поверхнях підшви очисних вибоїв.

Основний недолік камерної системи – великі втрати корисної копалини. Є певні складності з організацією ефективного провітрювання очисних вибоїв при величезних обсягах вироблених просторів.

Варіанти системи розробки залежать від потужності, розташування і кількості розроблюваних пластів. Варіант відпрацювання зближених пластів може розглядатися як ярусне відпрацювання потужного пласта з тією лише різницею, що міжповерховим (міжярусним) цілком є масив порід, що вміщують між пластами. Таке відпрацювання характерне для калійних родовищ, які розробляють зближені пласти [4, 2, 3].

Невеликої потужності пласти відпрацьовуються одноходовою або багатоходовими (двох-триходовими) камерами в залежності від потужності міжпласта, яке повинно бути несучою конструкцією - міжповерхових ціликом. Такі варіанти відпрацювання використовуються при розробці Верхньокамського (Росія) і Старобинського (Білорусь) родовищ. На цих родовищах випробувані варіанти з залишенням ціликів різної несучої здатності від жорстких (шириною 7-12 м) до вельми піддатливих (шириною 1,2-3,0 м) при висоті камер не більше 3,7 м. Інтерес представляє варіант, при якому збереглася співвісність і єдиний розмір «цілик + камера» в двох пластах, що відпрацьовуються. У випадках, коли ширина камер нижнього горизонту (пласта) перевищувала ширину камер верхнього горизонту, відбувалося обвалення міжгоризонтного цілика і крайових зон міжкамерних ціликів верхнього горизонту. Це послужило причиною коригування параметрів ціликів як міжгоризонтних, так і міжкамерних в бік збільшення ширини міжкамерних ціликів нижнього горизонту за рахунок звуження камер [5]. При відпрацюванні зближених пластів пильного вапняку використовується камерно-стовпова система розробки при двох варіантах виймання камер: дотримання співвісного розташування ціликів і камер в пластах і незалежне розташування камер [6]. У першому випадку розміри

ціликів в плані 10x10 м при ширині і висоті камер 6,5-7,2 м і 2,4-2,6 м, потужність міжпластового цілика 2,8-6,5 м. Гірничі роботи на верхньому горизонті проводилися з випередженням в просторі не менше 30 м робіт на нижньому горизонті. При не співвісному розташуванні ціликів і камер була збільшена до 15 м потужність міжгоризонтного цілика. В цьому випадку, що пролягає нижче пласт втягується в відпрацювання після відпрацювання вишележащого пласта.

Ярусне відпрацювання потужних пластів можна уподібнити відпрацюванню поверхами обмежених покладів, де масиви несучих конструкцій складаються з корисних копалин. У вітчизняній практиці таке відпрацювання проводиться на Солотвинському родовищі кам'яної і прикарпатських родовищах калійних солей. Застосовується етажно камерная система з розташуванням камер вхрест простягання, довжина камер залежить від потужності соляного тіла. Розміри несучих конструкцій (міжкамерних і міжповерхових ціликів) визначаються, крім усього іншого, прийнятими розмірами камер. Для Солотвинського родовища характерне відпрацювання ділянками панелями, менший лінійний розмір яких визначається довжиною камер від 80 до 170 м або їх шириною при довжині камер понад 170 м. На Стебниковському родовищі відпрацювання проводиться блоками, що включають камеру шириною 15 м, висотою 60 м і міжкамерний цілик шириною 12 м, потужність міжповерхового цілика 12 м [3]. У зарубіжній практиці прикладом поверхово-камерної розробки є купольні родовища Польщі [7]. Так, рудник Сольно-ІІ розробляє куполоподібний поклад на глибині до 600 м камерами висотою 9 м, шириною 20 м із залишенням міжкамерних ціликів шириною 20 м, міжповерхових 9 м. Поклад рудника Клодова, представлено крутими пластами потужністю 20 м і 140 м, розробляється поздовжніми горизонтальними камерами. У пластах потужністю 20 м, камери шириною 15 м, довжиною 100 м для зручності транспортування солі, поверх висотою 75 м ділиться на подетажи, висотою камери в подетажей 15 м, потужність міжповерхове стелини 10 м, камери по

довжині визначаються один від одного цілком шириною 40 м. Пласти потужністю 140 м розробляються поперечними камерами, довжина камер і міжкамерних ціликів 15 м, висота 10-15 м, потужність міжповерхового цілини 10 м. Проведений аналіз показав, що при ярусному відпрацюванні потужних пластів кам'яної солі може бути використана камерна система з залишенням міжкамерних ціликів в кожному ярусі і міжярусних ціликів, параметри яких залежать від гірничо-геологічних умов і технології видобутку.

З технологічної точки зору можливі безліч варіантів ведення гірських робіт в умовах ярусного відпрацювання потужних пластів в залежності від цільового призначення виробок і гірничо-геологічних умов розробки, а також застосовуваної видобувної і транспортної техніки. Пропонована ярусна система розробки призначена для застосування в спеціальних випадках, коли економічні критерії ефективності не грають визначальної ролі, так, наприклад, при нестабільному навантаженні на забій в умовах мінливого ринку, а при виборі оптимальних параметрів системи розробки прийняті такі фактори, як максимальне вилучення корисних копалин з надр і технологічність роботи добувного обладнання. Видобувна ділянка є частиною шахтного поля, обмежена в залежності від орієнтації камер, наприклад, по простяганню пласта розділовими ціликами, а по падінню і підняттю пласта головними транспортними та вентиляційними штреками або навпаки. Усередині ділянка містить ряд паралельно розташованих камер, розділених міжкамерними ціликами.

На рис. 2.1 показана схема для розрахунку коефіцієнта вилучення кам'яної солі при ярусній системі відпрацювання.

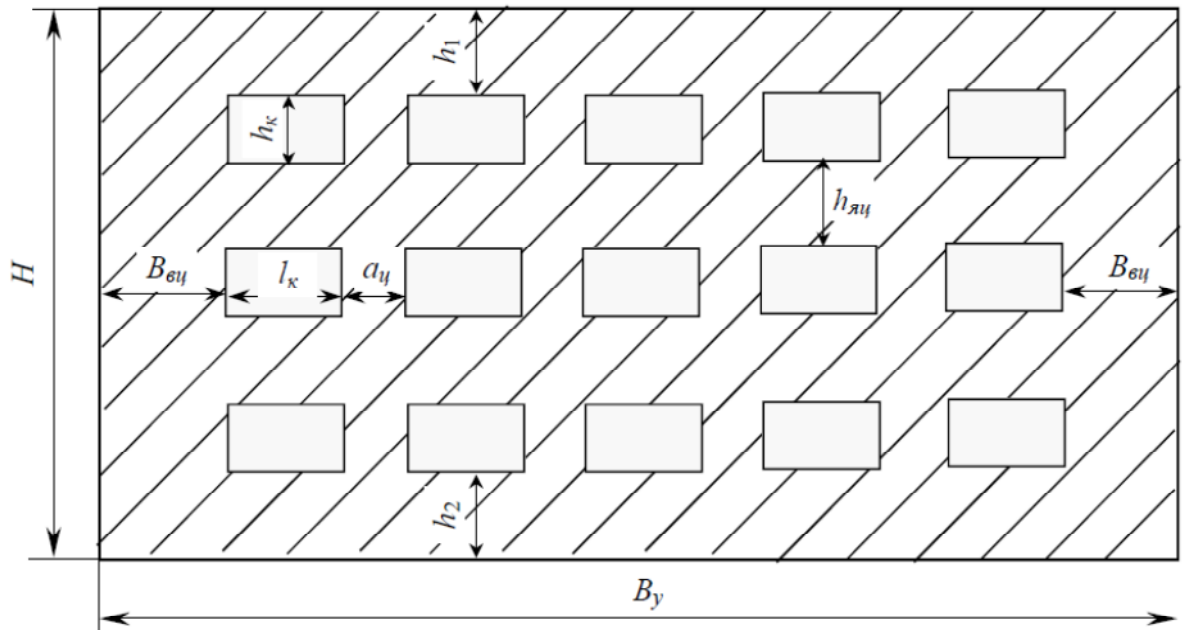


Рисунок 2.1 – Схема для розрахунку коефіцієнта вилучення кам'яної солі при ярусній системі розробки

У табл. 2.1 наведені результати розрахунку коефіцієнта вилучення солі стосовно використання комбайнів «Урал-10КСА», «Урал-20КСА» і «Паурат» по пласту Брянцевський Артемівського родовища в залежності від ширини видобувної ділянки. За реальних умов застосування комбайнів висота камери варіювалася в межах 4-7 м, ширина 5,5-10 м. Виходячи з розмірів існуючих шахтних полів гранична ширина ділянки обмежувалася 2000 м.

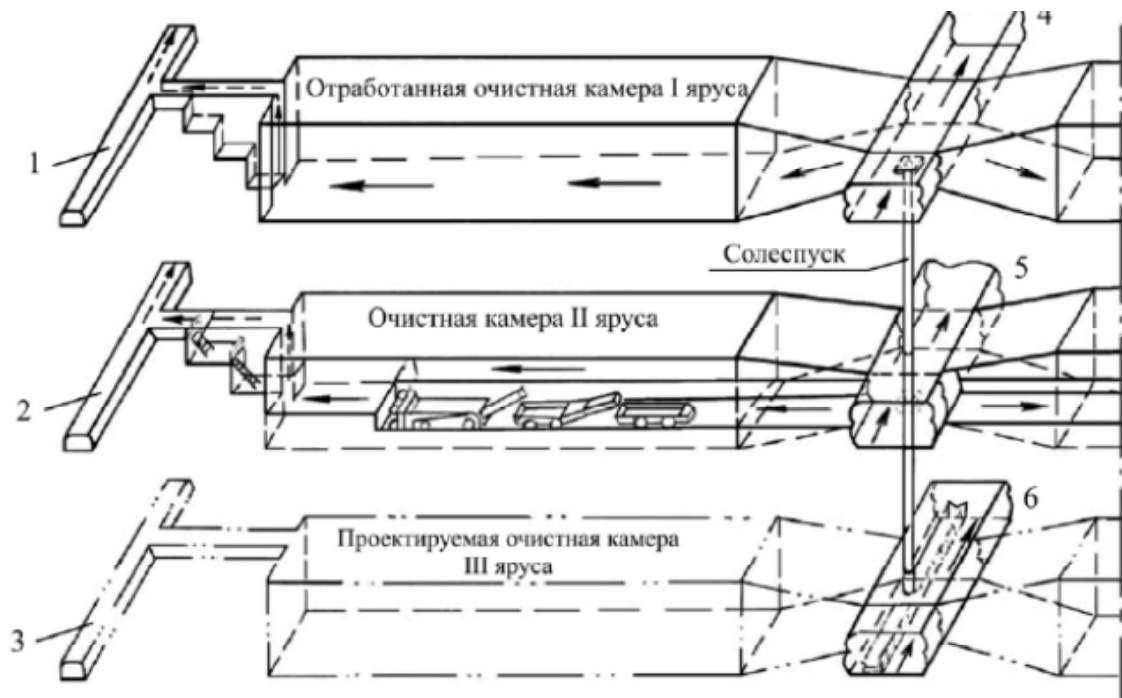
З табл. 2.1 видно, що коефіцієнт вилучення солі зростає при збільшенні ширини ділянки до 800-1200 м. При подальшому зростанні ширини ділянки до 2000м  $K_{изв.}$  не змінюється. Таким чином, при проектуванні ділянок видобутку солі з ярусним відпрацюванням ширина ділянки повинна бути не менше 800 м. Стосовно до використання комбайнів «Урал-20КСА» перетином  $20,2 \text{ м}^2$  при ярусному відпрацювання Брянцевського пласта максимальний коефіцієнт вилучення в зоні раціональної ширини ділянки досягається при наступних параметрах камер  $h_k = 6 \text{ м}$ ,  $l_k = 6,3 \text{ м}$ , що відповідає роботі комбайна двома ходами по висоті.

Таблиця 2.1 Результати розрахунку коефіцієнта вилучення солі в залежності від ширини видобувної ділянки при ярусному відпрацюванні Брянцевський пласта Артемівського родовища комбайнами різних перетинів

| Перетин, м <sup>2</sup> | Висота камери, $h_k$ , м | Ширина камери, $\ell_k$ , м | Потужність міжкамерного цілика, $a$ , м | Потужність міжярусного цілика, $h_{я.ц.}$ , м | Коефіцієнт вилучення ( $K_{изв}$ ) : при ширині ділянки $B_y$ |       |      |       |       |       |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|
|                         |                          |                             |                                         |                                               | Кількість ярусів в межах пласта                               | 400 м | 800м | 1200м | 1800м | 2000м |
| 20,2                    | 6,0                      | 8,0                         | 8,0                                     | 4,6                                           | 3                                                             | 18    | 20   | 21    | 21    | 21    |
| 20,2                    | 6,0                      | 6,3                         | 7,0                                     | 3,7                                           | 4                                                             | 22    | 25   | 26    | 27    | 27    |
| 20,2                    | 7,0                      | 10,0                        | 9,5                                     | 5,7                                           | 3                                                             | 21    | 24   | 25    | 25    | 25    |
| 20,2                    | 7,0                      | 6,3                         | 8,0                                     | 4,0                                           | 3                                                             | 18    | 20   | 21    | 22    | 22    |
| 20,2                    | 4,0                      | 6,0                         | 5,5                                     | 3,3                                           | 5                                                             | 21    | 23   | 24    | 24    | 25    |
| 17,9                    | 6,6                      | 5,8                         | 7,5                                     | 3,7                                           | 4                                                             | 23    | 25   | 26    | 27    | 27    |
| 17,9                    | 6,6                      | 9,5                         | 9,0                                     | 5,4                                           | 3                                                             | 21    | 23   | 23    | 24    | 24    |
| 15,3                    | 6,0                      | 5,6                         | 7,0                                     | 3,2                                           | 4                                                             | 21    | 24   | 25    | 25    | 25    |
| 15,3                    | 6,0                      | 9,0                         | 8,5                                     | 5,1                                           | 3                                                             | 18    | 20   | 21    | 22    | 22    |
| 10,0                    | 6,5                      | 7,0                         | 8,0                                     | 4,2                                           | 3                                                             | 18    | 20   | 21    | 21    | 21    |
| 10,0                    | 6,5                      | 10,0                        | 9,5                                     | 5,7                                           | 3                                                             | 21    | 22   | 23    | 23    | 23    |
| 60,0                    | 7,0                      | 8,6                         | 9,0                                     | 5,0                                           | 3                                                             | 20    | 23   | 24    | 24    | 24    |
| 60,0                    | 7,0                      | 5,5                         | 7,5                                     | 3,6                                           | 3                                                             | 18    | 19   | 20    | 20    | 20    |

При використанні комбайна «Урал-20КСА» перетином 17,9 м<sup>2</sup> раціональні розміри камер наступні:  $h_k = 6,6$  м,  $\ell_k = 5,8$  м<sup>2</sup>. В обох випадках в межах потужності пласта поміщається 3-4 яруси і потужність пласта використовується максимально по висоті. Питання про конкретні розміри камер має вирішуватися на стадії проектування з урахуванням призначення виробок і техніко економічних показників.

При розробці пологих і горизонтальних пластів корисної копалини найбільш прийнятним є панельний спосіб підготовки шахтного поля. При ярусному відпрацюванні кам'яної солі зберігаються основні ознаки панельного способу підготовки, тобто розподіл частини шахтного поля системою взаємно перпендикулярних штреків на прямокутні частини. При ярусному відпрацюванні частина шахтного поля ділиться на видобувні ділянки, обмежені з двох сторін, наприклад по простяганню пласта, ціликами, що не грають, на відміну від існуючого розподілу шахтного поля на панелі, з геомеханической точки зору ролі панельних ціликів, а служать для поділу та ізоляції одної видобувної ділянки від іншої або від небезпечної зони (роль бар'єрного цілика). З двох інших сторін (наприклад, з падіння і повстання пласта) ділянка обмежена головним транспортним та вентиляційним штреком, пройденими в пласті солі. Таким чином ділянка являє собою ізольовану частину шахтного поля, причому її відпрацювання не лімітується тимчасовим фактором, на відміну від існуючих схем відпрацювання панелей. В роботі [8] наведена типова технологічна схема підготовки панелі і відпрацювання камер, рекомендована до застосування при машинній технології видобутку кам'яної солі потужних родовищ. Ця схема з окремими змінами застосовна і при ярусній системі розробки.



1, 2, 3 – відповідно флангові вентиляційні виробки;

4,5,6 – відповідно виїмкові штреки

Рисунок 2.2 – Технологічна схема ярусного відпрацювання пласта кам'яної солі та схема провітрювання очисних камер

На транспортному горизонті ділянка оконтурюється нижніми виїмковими і вентиляційними штреками, пройденими в протилежних кінцях ділянки перпендикулярно поздовжньої осі камери, і двома дільничними штреками, що з'єднують транспортний і вентиляційний штреки. Дільничні штреки з'єднуються між собою постачальних штреками, на які через свердловини надходить сіль з ярусних камер. На верхньому горизонті контури ділянки утворюють верхню виїмкову і вентиляційний штреки, розташовані в створі аналогічних нижніх штреків. Ці штреки з'єднуються між собою в період підготовки ділянки двома розрізними штреками. Верхні і нижні виїмкові і вентиляційні штреки з'єднуються між собою похилими сбойками.

З похилих сбойок в створі оконтурюючих виробок проходяться проміжні постачальних і вентиляційні штреки, кількість яких відповідає

числу ярусних камер між верхнім і нижнім ярусами. Транспортні магістралі мають стрічкові конвеєри. Вентиляційна мережа рудника включає головний транспортний штрек, похилу збійки, ярусний виїмковий штрек (повітряпостачальну виробку в камеру), ярусний вентиляційний штрек, похилу збійки на іншій стороні ділянки і головний вентиляційний штрек (відведення вихідного струменя повітря з камери). При ярусному відпрацюванні видобувної ділянки передбачається застосування на очисній виїмці таких же комбайнових комплексів, що і при існуючих технологічних схемах, тобто комбайнів типу «Урал», бункер-перевантажувачів і самохідних вагонів. Залежно від цільових установок застосування ярусного відпрацювання, призначення виробок і гірничо-геологічних умов можливі різні варіанти очисної виїмки, які визначаються різною кількістю комбайнових ходів в ярусній камері: одним ходом комбайна, двома перекриваються по ширині ходами, чотирма перекривають по висоті і ширині камери ходами комбайна (2 шари по висоті і 2 - по ширині). При відсутності вимог до розмірів ярусних камер, їх параметри повинні вибиратися за критерієм мінімальних втрат солі в надрах, технологічності схеми виїмки і забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов переваги слід віддавати схемам із збільшеною кількістю комбайнових ходів, так як зі збільшенням перетину камери легше забезпечити ефективність провітрювання вибоїв за рахунок прямої вентиляції.

При виїмці камер одиночними ходами провітрювання очисного вибою здійснюється примусово за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання через відпрацьовану камеру по вентиляційній свердловині. Вона буриться в суміжну по висоті або ширині відпрацьовану ярусну камеру. Відстань між свердловинами 100-120 м. Умови роботи забійного обладнання при ярусному відпрацюванні практично не відрізняються від роботи такого обладнання при існуючих технологічних схемах слойового відпрацювання камер на повну висоту. На сучасному етапі розвитку машинної технології видобутку солі, що застосовується на рудниках камерна система розробки та

технологічні схеми з відпрацюванням камерних запасів шарами зверху вниз на повну виймається потужність пласта, не вичерпала своїх потенційних можливостей і може вдосконалюватися в напрямку підвищення навантаження на очисні вибої, наприклад, шляхом освоєння схем потокової технології. Недоліками застосовуваної системи розробки та технології видобутку солі є перебування людей у відкритому виробленому просторі, що небезпечно при великій висоті камер (до 35 м), підвищені вимоги до вибору основних параметрів панелі, камери і порядку ведення гірських робіт по геомеханічних факторів, неможливість використання камер для різних народногосподарських цілей, наприклад, зберігання продукції. При відпрацюванні окремих ділянок шахтного поля, небезпечних, наприклад, по прориву води, існуючі параметри системи розробки ускладнюють створення надійної ізоляції від інших ділянок.

Експериментальна перевірка параметрів камерної системи розробки з ярусним відпрацюванням Підбрянцевського пласта була проведена для умов рудника №3 ДВО “Артемсіль”. В роботі [10] приведені результати експериментальної перевірки основних аналітичних досліджень ярусного відпрацювання потужного пласта кам'яної солі. Дослідно-промислова ділянка (ДПД) була організована біля північної межі гірничого відведення рудника №3 ДВО “Артемсіль”. Ширина ДПД складає 200-250 м, довжина – 545-635 м. Площа ДПД в плані рівна 131360 м<sup>2</sup>. Середня потужність Підбрянцевського пласта по підрахунковому блоку 4А складає 31,36 м [10].

Відповідно до питань, які вирішуються в роботі [10], на ДПД передбачено випробувати різновид камерної системи розробки з ярусним відпрацюванням потужного пласта кам'яної солі. Її основні положення для умов рудника №3, який розробляє Підбрянцевський пласт, наступні: відпрацювання пласта по потужності передбачено трьома ярусами; розташування очисних камер прийнято по падінню пласта і співвісно по трьом ярусам; між очисними камерами кожного ярусу передбачаються міжкамерні цілики, також співвісно по всім трьом ярусам; між ярусами

передбачаються міжярусні цілики, які як дві суцільні монолітні плити розділяють по потужності пласта очисні камери I, II і III ярусів [10].

З урахуванням вимог потокової технології ведення очисних робіт, передбачено першу ярусну камеру розташувати в місці виходу східного конвеєрного ходка на горизонт III ярусу [10].

Параметри конструктивних елементів камерної системи розробки з ярусним відпрацюванням пласта на ДПД визначені відповідно до вимог розділу 3 даної роботи і складають по всім трьом ярусам (I, II, III): ширина камер – 10,0 м; висота камер – 6,5 м; ширина міжкамерних ціликів – 8,0 м; ширина міжярусних ціликів – 4,6 м; потужність запобіжної пачки солі в стелини очисних камер I-го ярусу прийнята не менше 1,0 м; потужність запобіжної пачки солі в підосві III-го ярусу -  $1,0 \div 1,3$  м [10].

ДПД введена в експлуатацію в 2000 році з дозволу Комітету Держнаглядохоронпраці України (лист №04-03-/3053 від 06.09.1999). Розрахунковий коефіцієнт видобутку ( $K_{\text{вид}}$ ) кам'яної солі на ділянці з ярусним відпрацюванням пласта рівний 0,343, на ділянці з традиційною технологією видобутку – 0,216, що вказує на високу ефективність запропонованого варіанту відпрацювання потужного соляного пласта з поділом його на видобуткові яруси і більш раціональний видобуток запасів корисної копалини з надр [10].

У зв'язку з упровадженням ярусного відпрацювання потужного пласта виникла необхідність у вирішенні наступних питань технологічних процесів, а саме: відпрацювати процес нарізки гирл камер з виїмкових штреків в умовах зменшеної ширини камер; дослідити режими провітрювання очисних вибоїв ярусних камер; оцінити техніко-економічні показники роботи комбайнових комплексів порівняно з традиційною технологією. Відпрацьовування технологічного процесу нарізки гирл камер виконаний в період підготовки до очисної виїмки камери №21. Нарізка гирл проводилася з виїмкових штреків, які проходилися на кожному ярусі чотирма ходами комбайна “Урал 10 КСА” в два шари. При цьому нарізка гирл камер

виконувалася після проходки верхнього шару виїмкового штреку. Після нарізки всіх гирл виїмковий штрек проходив на всю висоту, і потім виконувалися заїзди в камери з другого шару виїмкового штреку. Всі операції нарізки гирл камер відпрацьовані в достатній мірі [10].

Згідно розрахункам в комбайновий забій необхідно подавати не менше  $500 \text{ м}^3/\text{хв}$  повітря. Повітряна зйомка на ділянці показала, що в робочий забій подається  $630 \text{ м}^3/\text{хв}$  повітря, тобто забезпеченість складає  $\approx 140\%$ . В ізолюванні (на вентиляційному штреку) відроблені по 1-му ярусу камери поступає за рахунок витоків від 39 до  $50 \text{ м}^3/\text{хв}$  повітря. Експериментально встановлено, що заповненість в камерах малого перетину в 1,5 – 2,0 рази менша, ніж в камерах великого перетину [10].

Техніко-економічні показники на ділянці з ярусним відробленням пласта наступні [10]:

Середній річний видобуток солі на ділянці склав 160 тис. т, середньомісячний – 13 тис. т. За показниками роботи комбайнових комплексів на ДПД і в очисних вибоях з традиційною технологією (шарова виїмка на повну потужність пласта) їх експлуатаційна продуктивність не відрізняється більш ніж на 5%. Цей показник підтверджує те, що конструктивні і технологічні параметри ділянки не погіршують умови експлуатації комбайнових комплексів. Це підтверджується також показниками змінної продуктивності комбайнових комплексів при вдосконаленій і застосовуваній системах розробки. Так, середньо змінний видобуток солі на ДПД і по руднику в цілому коливався в межах 300-330 т, максимальний на ділянці був більше в 1,4 рази, що говорить про невикористані можливості комплексів. Основним стримуючим чинником є програма відвантаження готової продукції по руднику відповідно до замовлень споживачів [10].

Натурні спостереження за проявами гірничого тиску на ДПД включали визначення величин і швидкостей деформації масиву ціликів (міжкамерних і

міжярусних), запобіжної пачки солі в стелині камер і визначення величин зсуву земної поверхні над ділянкою.

Інструментальні спостереження за деформацією масиву опорних ціликів проводилися за допомогою глибинних реперних пристроїв, сукупність яких у вибраному місці досліджень утворює спостережний пункт [10].

До початку ведення очисних робіт (1999 р.) на ДПД була закладена поверхнева спостережна станція у вигляді профільної лінії III навхрест камер з 10 реперами для визначення осідання земної поверхні, а також закладені стінні і ґрунтові реperi в будівлях, що підробляються. Через цю ділянку проходить давно існуюча профільна лінія для контролю осідання земної поверхні над відробленим Брянцевським пластом [10].

Контроль за деформацією будівель проводиться у вигляді візуальних оглядів і інструментальних спостережень по стінних і ґрунтових реперах, закладених в 1999 р. по периметру будівель [10].

За більш ніж п'ятирічний період спостережень за станом конструктивних елементів системи розробки на ДПД з ярусним відробленням Підбрянцевського пласта накопичився великий об'єм інформації про їх напружено-деформований стан. В період оформлення опорних ціликів (ведення очисних робіт) швидкості деформації соляного масиву коливалися в межах  $14 \div 16$  мкм/добу. По мірі відпрацювання камер швидкості деформації знижувалися і знаходилися в межах  $6 \div 8$  мкм/добу. Зростання швидкостей деформації спостерігалось в період підроблення спостережних пунктів нижче залягаючими ярусами [10].

Однак невирішеним питанням залишилось забезпечення стійкості потолочин камер, особливо при підвищених водо притоках.

Областями застосування ярусного відпрацювання потужних пластів кам'яної молі можуть бути наступні:

1. Ділянки з недостатньою стійкістю оголень виробок, коли потрібен доступ робочих для огляду стелини і боків камери і приведення їх у безпечний стан.

2. Аварійні (небезпечні) ділянки шахтного поля рудників, що вимагають підвищеної гідроізоляції.

3. Створення виробок цільового призначення, які після вилучення солі будуть використовуватися для зберігання продукції або для інших цілей.

4. Робота рудників в умовах різко змінюються обсягів видобутку (інтенсивності відпрацювання), так як при ярусної відпрацювання виключається фактор часу планування гірничих робіт.

5. Селективна виїмка солі по сортам при зміні якості її по потужності пласта, наприклад, в умовах відпрацювання Надбрянцевського пласта Артемівського родовища.

Оскільки при камерній системі розробки не можна допускати небезпечних деформацій в водозахисній товщі, які можуть привести до порушення її суцільності, необхідно забезпечити підтримання товщі порід до денної поверхні, яке пов'язане з необхідністю зберегти поверхню над гірничими виробками, забудовану будівлями і спорудами, а також ландшафт поверхні, важливим стає питання раціональної форми очисних камер. Навіть при ярусному відпрацюванні форма камер дозволяє керувати стійкістю виробок, тому тема магістерської роботи є актуальною.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ КАМЕРИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВМІЩУЮЧОГО МАСИВУ І СТІЙКІСТЬ КОНТУРУ ВИРОБКИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

#### 3.1 Постановка завдання. Методика моделювання.

Закономірності деформування масиву навколо камери можуть бути встановлені чисельним аналізом НДС системами об'єктно-орієнтованого програмування. Така технологія дослідження складних об'єктів і процесів включає обчислювальний експеримент, заснований на побудові і аналізі за допомогою ЕОМ математичних моделей. Незважаючи на те, що розвиток інформаційних технологій призвело до суттєвого підвищення якості ряду програмних продуктів, рішення ряду завдань мають складну геомеханічну природу все ще викликає певні труднощі. У структурі обчислювального експерименту найбільш складним є технологія реалізації чисельного методу, яка включає створення обчислювального алгоритму і безпосередньо програмування.

В даний час однозначно можна констатувати, що найбільш апробованим і популярним методом вирішення складних багатofакторних задач, досить добре адаптованим для вирішення завдань геомеханіки є метод скінченних елементів (МСЕ), який заснований на спрощення гладких функцій дискретно-лінійними поліномами, поданні досліджуваної області у вигляді плоских або просторових елементів.

Теоретична база методу скінченних елементів досить добре вивчена і заснована на наступному з закону збереження енергії властивості сил реакцій ідеальних зв'язків: для рівноваги будь-якої механічної системи необхідно і достатньо, щоб сума робіт активних зовнішніх сил діючих на систему при будь-якому переміщенні дорівнювала роботі внутрішніх напружень. Це властивість носить назву принципу можливих переміщень. Тобто будь-які задані граничні

умови - зовнішні сили, переміщення вузлів, обмеження переміщень, виводять систему з рівноваги, а процедура МСЕ дозволяє розрахувати напруження всередині системи таким чином, щоб забезпечити її рівновагу. При цьому передача силових взаємодій між елементами проводиться в вузлах розрахункової схеми кінцево-елементної моделі.

При вирішенні задачі використовуються відомі і широко апробовані методи вирішення базової лінійної задачі теорії пружності МСЕ [11]. В МСЕ система мислення розбивається на окремі частини - кінцеві елементи, що з'єднуються між собою у вузлах.

Вузли можуть бути жорсткими і шарнірними. Сукупність з'єднаних між собою і прикріплених до основи кінцевих елементів утворює розрахункову схему методу, звану кінцево-елементною схемою або кінцево-елементною моделлю або просто системою елементів. Елементи і вузли звичайно-елементної схеми нумеруються. Зовнішня навантаження вважається прикладеною тільки в вузлах звичайно-елементної схеми. У загальному випадку перехід від заданого навантаження до вузлової здійснюється наступним чином.

На підставі принципу суперпозиції розглядається стан системи може бути представлено як сума двох станів. У першому стані вводяться зв'язки, що перешкоджають всіх можливих зсувів вузлів системи, аналогічно тому, як утворюється основна система в методі переміщень. При цьому, однак, поздовжніми деформаціями стержнів не нехтують. Від дії заданих навантажень у введених зв'язках виникають реакції. У другому стані вузли звичайно-елементної схеми не закріплені від зсувів, але до них додаються зусилля рівні по модулю реакцій в зв'язках, визначеними у першому стані, але протилежні їм за напрямком. Розрахунок системи в першому стані не становить труднощів. Зокрема, якщо звичайно-елементна схема створюється таким чином, щоб елементи представляли собою окремі стрижні, то для кожного з таких елементів є табличне рішення, що

дозволяє визначити реакції в зв'язках і побудувати епюри внутрішніх зусиль по їх довжині. Для розрахунку ж системи в другому стані, і застосовується метод кінцевих елементів. Остаточне рішення задачі буде являти собою суму рішень цих двох завдань.

Зусилля, що діють на будь-який елемент, прикладені виключно в вузлах. У цьому випадку переміщення вузлів будь-якого елемента, взятого окремо, однозначно визначають зусилля і переміщення в будь-якій точці цього елемента. Кожен, взятий окремо від системи, кінцевий елемент повинен бути досить простим, щоб була можливість легко визначити переміщення і зусилля в будь-якому перетині стрижнів елемента по заданих переміщеннях його вузлів. Зв'язок між переміщеннями вузлів елемента і зусиллями в них задається за допомогою матриці жорсткості елемента. Кількість переміщень вузлів елемента, які однозначно визначають стан даного елемента називають числом ступенів свободи елемента. Воно визначається за формулою [11]:

$$n_{\text{ст.св.}} = 2 \cdot n_{\text{ш}} + 3 \cdot n_{\text{ж}}, \quad (3.1)$$

де  $n_{\text{ш}}$  - число шарнірних вузлів в елементі;

$n_{\text{ж}}$  - число жорстких вузлів в елементі.

Для всієї кінцево-елементної схеми вводяться матриця жорсткості системи або глобальна матриця жорсткості, що встановлює зв'язок між переміщеннями вузлів системи і зусиллями в них, а також число ступенів свободи системи або глобальне число ступенів свободи - кількість переміщень вузлів системи, які досить знати, щоб однозначно визначити стан всієї системи. Воно також визначається за формулою (1), в якій  $n_{\text{ш}}$  - число шарнірних вузлів, а  $n_{\text{ж}}$  - число жорстких вузлів у всій кінцево-елементної схемою.

Для всіх елементів, з яких складається звичайно-елементна схема, повинні

бути побудовані матриці жорсткості елементів. У програмних комплексах, що реалізують алгоритм методу скінченних елементів, зберігаються готові матриці жорсткості для елементів різних типів. Для двовузлового елемента, що має в кінцево-елементної схемою номер 7, що характеризується трьома ступенями свободи, вектор вузлових переміщень матиме такий вигляд [11]:

$$U^{(7)} = \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ u_{12} \\ u_{22} \\ u_{32} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Тут введено такі позначення:

$u_{jk}$  - переміщення вузла k в напрямку j,

$U^{(e)}$  - вектор вузлових переміщень вузла e.

Зрозуміло, що якщо вузол k шарнірний, то j може бути 1 або 2. Якщо вузол k жорсткий, то j може бути 1, 2 або 3 [11].

Аналогічно вводиться вектор вузлових зусиль, що діють на елемент. Його компонентами є зусилля, прикладені до елемента в вузлах і діючі у напрямку всіх його ступенів свободи. Цей вектор матиме вигляд [11]:

$$R^{(7)} = \begin{pmatrix} r_{11}^{(7)} \\ r_{21}^{(7)} \\ r_{12}^{(7)} \\ r_{22}^{(7)} \\ r_{32}^{(7)} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Тут вводяться позначення:

$r_{jk}^{(e)}$  - зусилля, діюче на вузол  $k$  елемента  $e$  у напрямку  $j$ ;

$R^{(e)}$  - вектор вузлових сил, що діють на елемент  $e$ .

Вектори  $R^{(e)}$  і  $U^{(e)}$  є блоковими, тобто в них можна виділити блоки  $R_i^{(e)}$  і  $U_i$  відповідно, містять зусилля і переміщення, пов'язані з  $i$ -ому вузлу елемента. Якщо

вузол  $i$  - жорсткий, то  $U_i = \begin{pmatrix} u_{1i} \\ u_{2i} \\ u_{3i} \end{pmatrix}$ , якщо шарнірний, то  $U_i = \begin{pmatrix} u_{1i} \\ u_{2i} \end{pmatrix}$ . Аналогічно

виглядають і блоки вектора  $R^{(e)}$ .

При деформації елемента в результаті зсуву одного з його вузлів у напрямку однієї з ступенів свободи на вузли елемента повинні діяти зовнішні сили, що перешкоджають поверненню елемента в недеформований стан. Основною характеристикою кінцевого елемента є матриця жорсткості елемента  $K^{(e)}$ . Вона пов'язує вектор вузлових переміщень  $U^{(e)}$  і вектор прикладених до елемента вузлових зусиль  $R^{(e)}$  співвідношенням [11]:

$$R^{(e)} = K^{(e)} \cdot U^{(e)}, \quad (2)$$

Матриця жорсткості елемента має такий вигляд:

$$K^{(7)} = \begin{pmatrix} k_{1111}^{(7)} & k_{1211}^{(7)} & k_{1112}^{(7)} & k_{1212}^{(7)} & k_{1312}^{(7)} \\ k_{2111}^{(7)} & k_{2211}^{(7)} & k_{2112}^{(7)} & k_{2212}^{(7)} & k_{2312}^{(7)} \\ k_{1121}^{(7)} & k_{1221}^{(7)} & k_{1122}^{(7)} & k_{1222}^{(7)} & k_{1322}^{(7)} \\ k_{2121}^{(7)} & k_{2221}^{(7)} & k_{2122}^{(7)} & k_{2222}^{(7)} & k_{2322}^{(7)} \\ k_{3121}^{(7)} & k_{3221}^{(7)} & k_{3122}^{(7)} & k_{3222}^{(7)} & k_{3322}^{(7)} \end{pmatrix}.$$

Вектор вузлових переміщень набуває вигляду [11]:

$$U^{(7)} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ - - - \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

і рівність (2) стає таким:

$$\begin{pmatrix} r_{11}^{(7)} \\ r_{21}^{(7)} \\ r_{12}^{(7)} \\ r_{22}^{(7)} \\ r_{32}^{(7)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{1111}^{(7)} & k_{1211}^{(7)} & k_{1112}^{(7)} & k_{1212}^{(7)} & k_{1312}^{(7)} \\ k_{2111}^{(7)} & k_{2211}^{(7)} & k_{2112}^{(7)} & k_{2212}^{(7)} & k_{2312}^{(7)} \\ k_{1121}^{(7)} & k_{1221}^{(7)} & k_{1122}^{(7)} & k_{1222}^{(7)} & k_{1322}^{(7)} \\ k_{2121}^{(7)} & k_{2221}^{(7)} & k_{2122}^{(7)} & k_{2222}^{(7)} & k_{2322}^{(7)} \\ k_{3121}^{(7)} & k_{3221}^{(7)} & k_{3122}^{(7)} & k_{3222}^{(7)} & k_{3322}^{(7)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Звідки:

$$\begin{pmatrix} r_{11}^{(7)} \\ r_{21}^{(7)} \\ r_{12}^{(7)} \\ r_{22}^{(7)} \\ r_{32}^{(7)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{1111}^{(7)} \\ k_{2111}^{(7)} \\ k_{1121}^{(7)} \\ k_{2121}^{(7)} \\ k_{3121}^{(7)} \end{pmatrix},$$

Для розглянутого елемента матрична рівність (2) в розгорнутому вигляді [11]:

$$\begin{pmatrix} r_{11}^{(7)} \\ r_{21}^{(7)} \\ r_{12}^{(7)} \\ r_{22}^{(7)} \\ r_{32}^{(7)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{1111}^{(7)} & k_{1211}^{(7)} & k_{1112}^{(7)} & k_{1212}^{(7)} & k_{1312}^{(7)} \\ k_{2111}^{(7)} & k_{2211}^{(7)} & k_{2112}^{(7)} & k_{2212}^{(7)} & k_{2312}^{(7)} \\ k_{1121}^{(7)} & k_{1221}^{(7)} & k_{1122}^{(7)} & k_{1222}^{(7)} & k_{1322}^{(7)} \\ k_{2121}^{(7)} & k_{2221}^{(7)} & k_{2122}^{(7)} & k_{2222}^{(7)} & k_{2322}^{(7)} \\ k_{3121}^{(7)} & k_{3221}^{(7)} & k_{3122}^{(7)} & k_{3222}^{(7)} & k_{3322}^{(7)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ u_{12} \\ u_{22} \\ u_{31} \end{pmatrix}$$

або:

$$\begin{cases} r_{11}^{(7)} = u_{11} \cdot k_{1111}^{(7)} + u_{21} \cdot k_{1211}^{(7)} + u_{12} \cdot k_{1112}^{(7)} + u_{22} \cdot k_{1212}^{(7)} + u_{32} \cdot k_{1312}^{(7)} \\ r_{21}^{(7)} = u_{11} \cdot k_{2111}^{(7)} + u_{21} \cdot k_{2211}^{(7)} + u_{12} \cdot k_{2112}^{(7)} + u_{22} \cdot k_{2212}^{(7)} + u_{32} \cdot k_{2312}^{(7)} \\ r_{12}^{(7)} = u_{11} \cdot k_{1121}^{(7)} + u_{21} \cdot k_{1221}^{(7)} + u_{12} \cdot k_{1122}^{(7)} + u_{22} \cdot k_{1222}^{(7)} + u_{32} \cdot k_{1322}^{(7)} \\ r_{22}^{(7)} = u_{11} \cdot k_{2121}^{(7)} + u_{21} \cdot k_{2221}^{(7)} + u_{12} \cdot k_{2122}^{(7)} + u_{22} \cdot k_{2222}^{(7)} + u_{32} \cdot k_{2322}^{(7)} \\ r_{32}^{(7)} = u_{11} \cdot k_{3121}^{(7)} + u_{21} \cdot k_{3221}^{(7)} + u_{12} \cdot k_{3122}^{(7)} + u_{22} \cdot k_{3222}^{(7)} + u_{32} \cdot k_{3322}^{(7)} \end{cases} .$$

Фізичний сенс будь-якого з рівнянь даної системи очевидний. Якщо вузол  $k$  елемента  $e$  отримує у напрямку  $j$  одиничне переміщення, то зусилля, що діє при цьому на вузол  $m$  у напрямку  $i$  одно  $k_{ijmk}^{(e)}$ . Якщо ж це переміщення буде одно не одиниці, а  $u_{jk}$ , то відповідно до лінійного законом зв'язку між зусиллями і переміщеннями, що розглядається зусилля збільшиться також у  $u_{jk}$  раз і складе  $u_{jk} \cdot k_{ijmk}^{(e)}$  [11].

Алгоритм методу універсальний, тобто не залежить від того, чи є дана система статично або кинематично визначеною або невизначеною, а також від ступеня її статичної або кинематичної невизначеності. Більш того, МСЕ дозволяє розраховувати системи, що складаються не тільки із стрижневих елементів, але і пластинчастих, оболонкових, тривимірних, різноманітних елементів на

вінклеровській підставі і інших елементів, матриці жорсткості яких враховуються в глобальній матриці жорсткості системи також, як і матриці жорсткості стрижневих елементів. Сучасні програмні комплекси, як правило, містять потужні графічні засоби, що дозволяють швидко і легко задати всі вихідні дані для розрахунку (препроцесор), а також переглянути і проаналізувати отримані результати, виконати підбір перетинів стрижнів або арматури відповідно до нормативної документації (постпроцесор). Тобто робота з такими програмними продуктами практично здійснюється за принципом "натисни на кнопку - отримаєш результат". Проте, при всій розвиненості і різноманітності препроцесорну і постпроцесорні засоби в подібних програмних комплексах, в основі їх ядра (процесора) лежить програмна реалізація одного і того ж алгоритму - алгоритму методу скінченних елементів [11].

Для дослідження впливу форми камери на зміну градієнта напружень в породах в її околиці і на контурі було проведено математичне моделювання методом кінцевих елементів, реалізованому в програмному комплексі ANSYS. Завдання вирішувалася в об'ємній постановці в масштабі 1: 1, товщина моделі 10м. На рис. 3.1 показана об'ємна розрахункова кінцево-елементна модель з розбивкою на вузли. Рішення поставленої задачі здійснюється за таких умов: моделювалася відпрацювання пласта кам'яної солі Брянцевський потужністю 32,5м. Покрівля - чергуються шари ангідриту, мергелю глинистого сланцю потужністю 40м, усереднено задавалися властивостями ангідриту. Грунт - чергуються шари доломіту ангідриту і мергелю потужністю 30м задавалися властивостями ангідриту. Спрощення властивостей покрівлі і ґрунту обґрунтовано тим, що найбільший інтерес викликають процеси деформування, і руйнування пласта солі вміщує очисні камери. Глибина залягання пласта 300м. Розміри моделі по простяганню 118,5м.

Аналіз проводили за картинами розподілу напружень по першій теорії

міцності. Критичними брали напруження на одноосьовий розтяг або стиск, при аналізі розглядали центральну камеру.

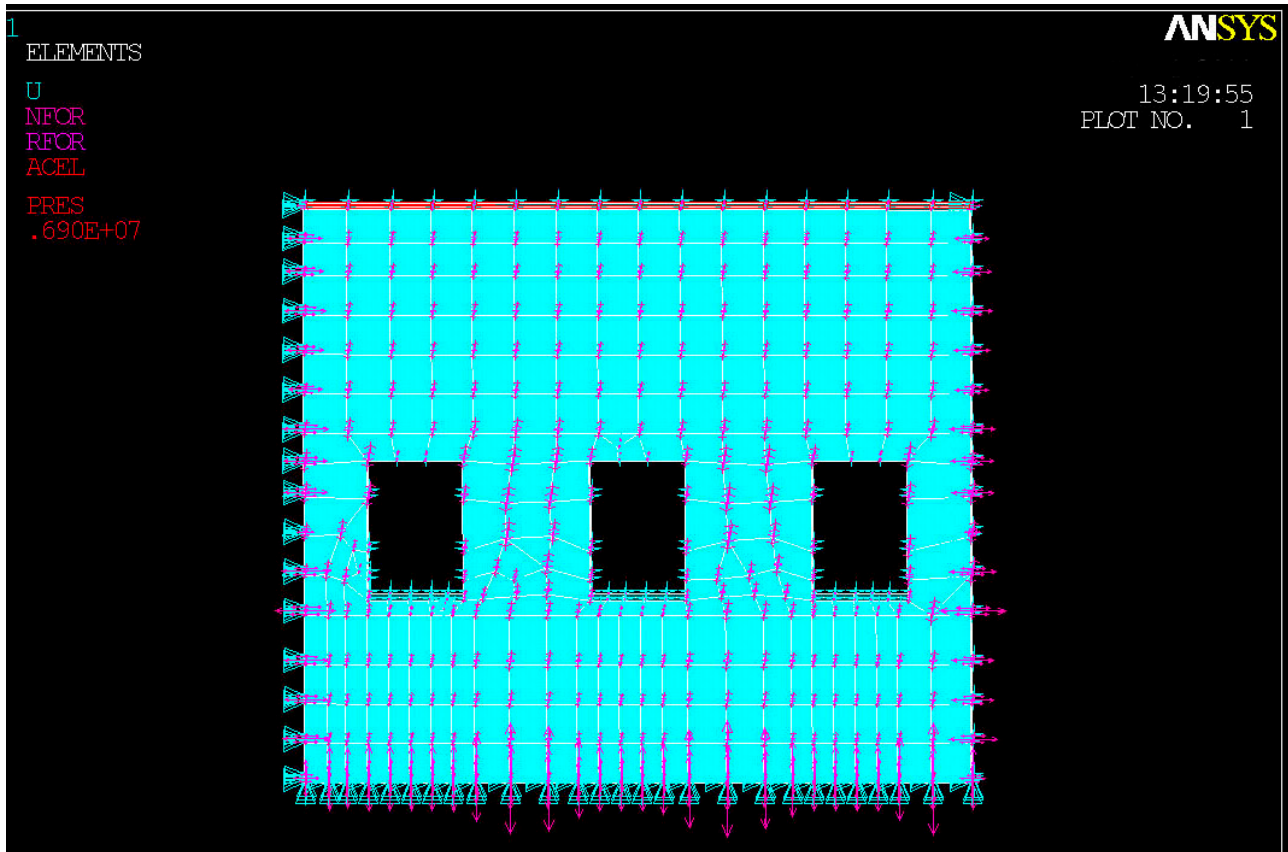


Рисунок 3.1 – Розрахункова модель, розбита на кінцеві елементи

Вихідні дані, прийняті для моделювання, взяті за даними геологічної служби ДП "Артемсіль", представлені в таблиці 3.1.

Основним завданням цього етапу досліджень було визначення оптимальної форми камери з позицій її стійкості. Найбільш небезпечна ситуація в цьому сенсі виникає в покрівлі камери, де виникають максимальні головні напруження  $\sigma_1$ . Таким чином, аналізували в першу чергу  $\sigma_1$ . Другим небезпечним моментом є

стійкість ціликів, які витримують стискаючі напруження. Але цей параметр буде досліджений в наступному розділі.

На картинах розподілу напружень і графіках наведених нижче: максимальні головні напруження  $S_1 = \sigma_1$ , Па,  $S_{EQV}$  - еквівалентні напруження, розраховані по енергетичній теорії міцності фон Мізеса, Па.

Таблиця 3.1 Вихідні дані для проведення чисельного моделювання

| №<br>п/п | Найменування<br>шару   | Об'ємна маса $\gamma$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | Модуль<br>пружності Е, МПа | Коефіцієнт<br>Пуасона |
|----------|------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1        | Сіль                   | 2100                                         | 24000                      | 0,44                  |
|          | Ангідрит<br>(покрівля) | 2200                                         | 25000                      | 0,3                   |
|          | Ангідрит<br>(підшва)   | 2200                                         | 24000                      | 0,25                  |

### 3.2 Математичне моделювання. Аналіз результатів.

Завдання передбачало кілька варіантів форм камер.

Варіант 1. Прямокутні камери 25 на 17м, міжкамерний цілик 22,5м. Таким чином моделюваалась традиційна камерна система розробки з однією камерою в перетині. Коефіцієнт вилучення 0,33.



Рисунок 3.2 – Розподіл максимальних головних напружень навколо очисних камер

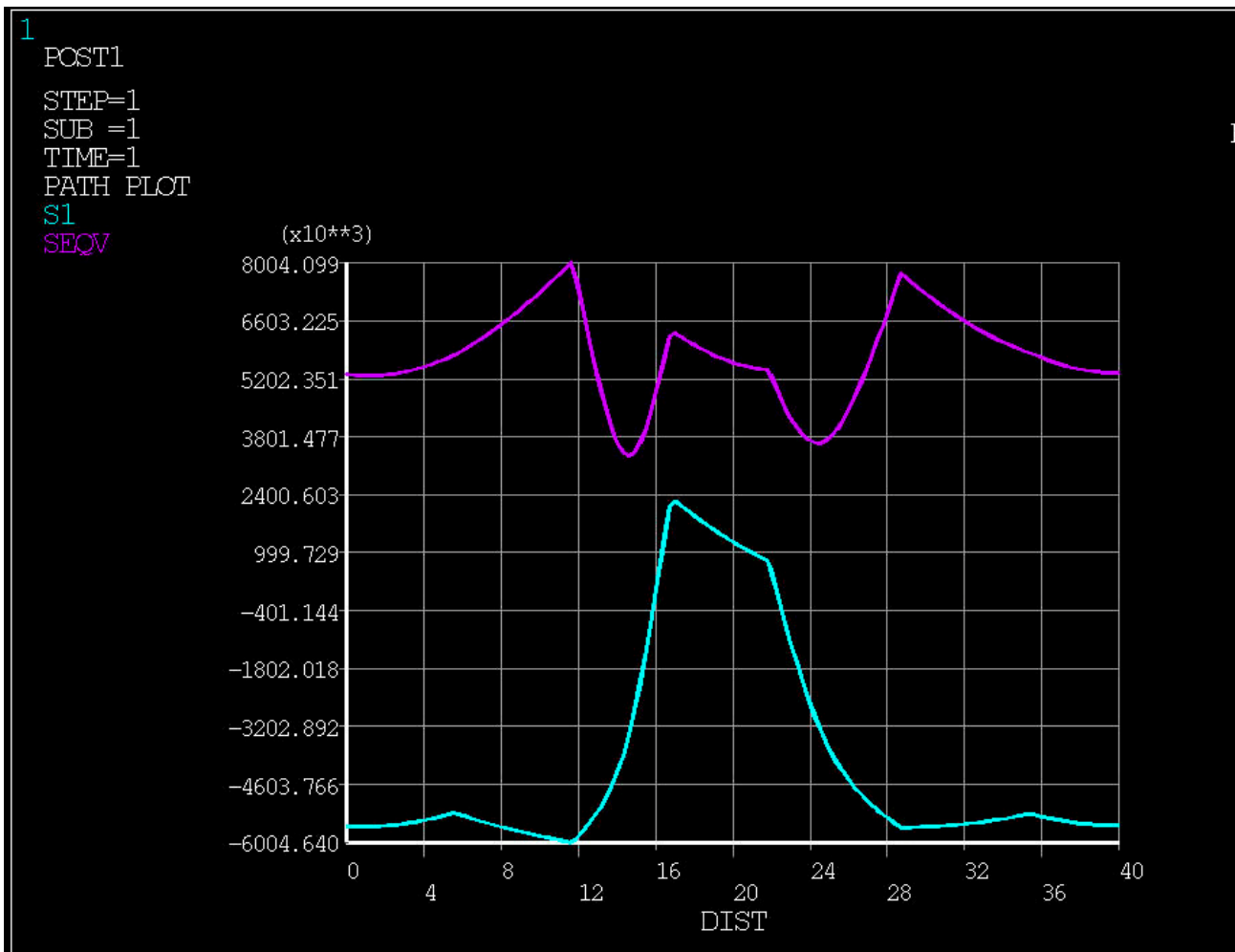


Рисунок 3.3 – Графік напружень в покрівлі камери

Максимальні напруження розтягу, що виникають в моделі в центрі камери на її контурі - 2,4МПа, максимальні стискаючі 6МПа в ціліні.

Варіант 2. Камери склепінчастої форми 28 на 17м, міжкамерний цілик 17,5 м. Коефіцієнт вилучення 0,35.

Максимальні напруження розтягу, що виникають в моделі в ґрунті, а в покрівлі камери на її контурі виникають тільки стискаючі напруження максимальні головні напруження - 0,16МПа, максимальні стискаючі напруження 4,4МПа в цілику.

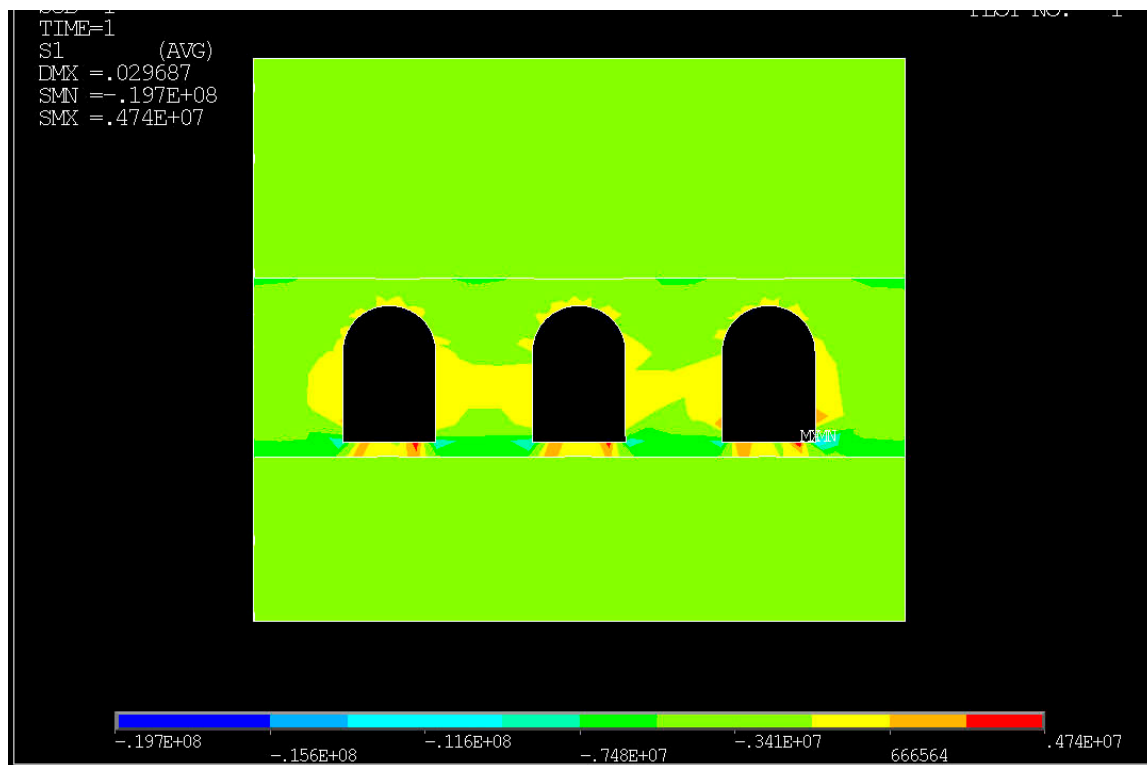


Рисунок 3.4 – Розподіл максимальних головних напружень навколо камер

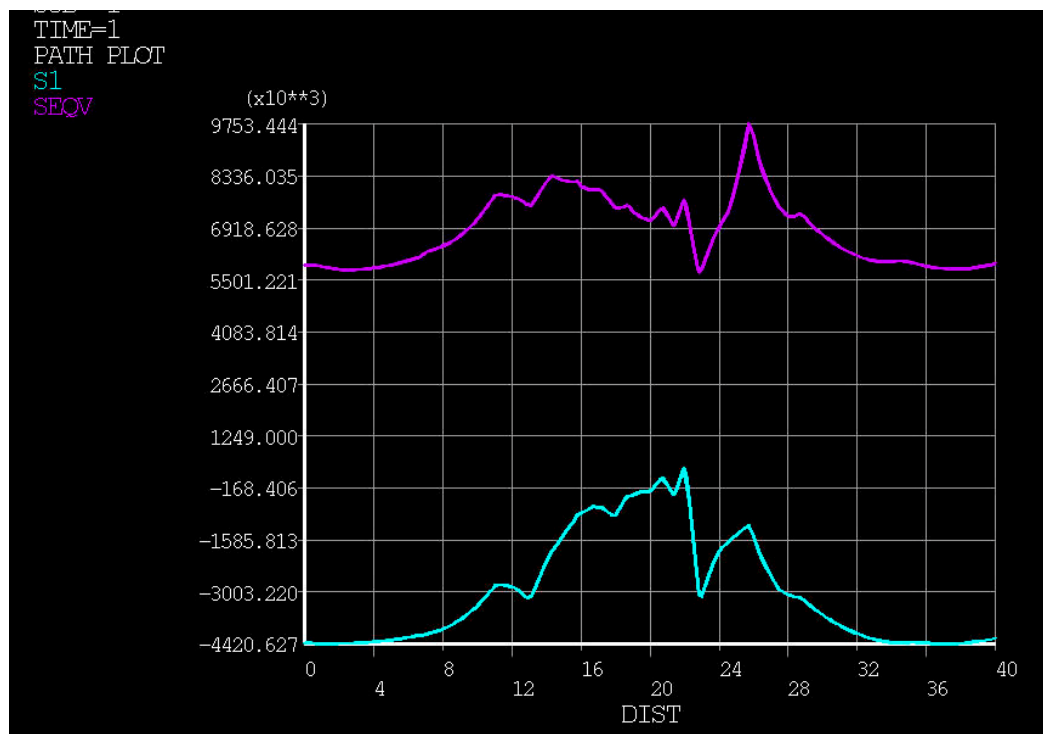


Рисунок 3.5 – Графік напружень в покрівлі камери

Варіант 3. Камери прямокутної форми 10 на 6,5м, міжкамерний цілик 10м, ярусна схема. Коефіцієнт вилучення 0,30.

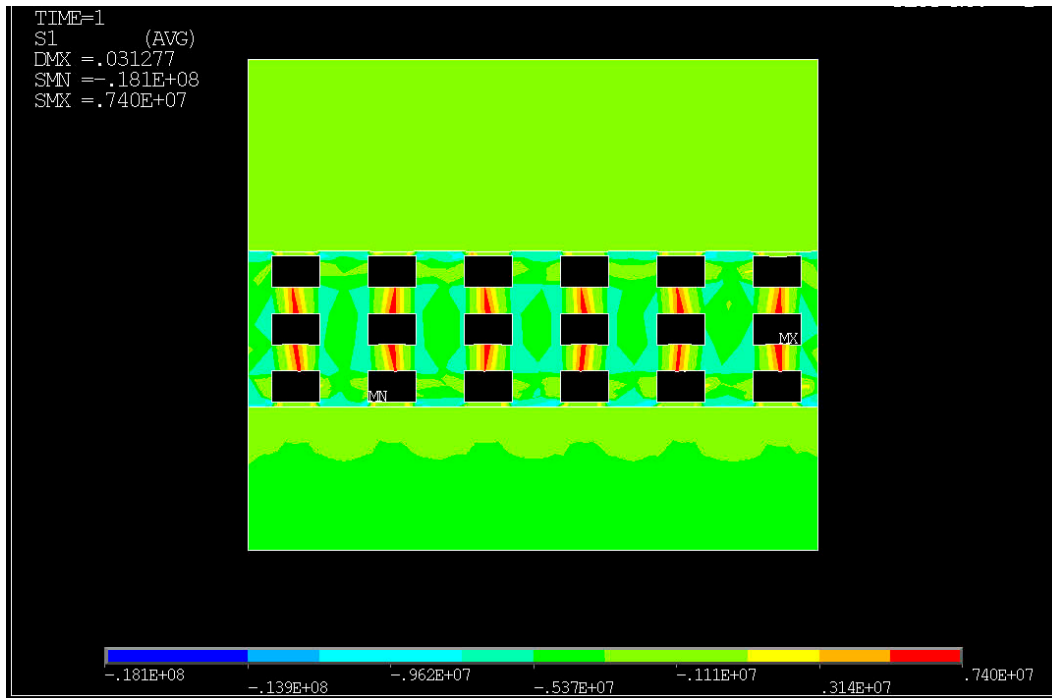


Рисунок 3.6 – Розподіл максимальних головних напружень навколо камер

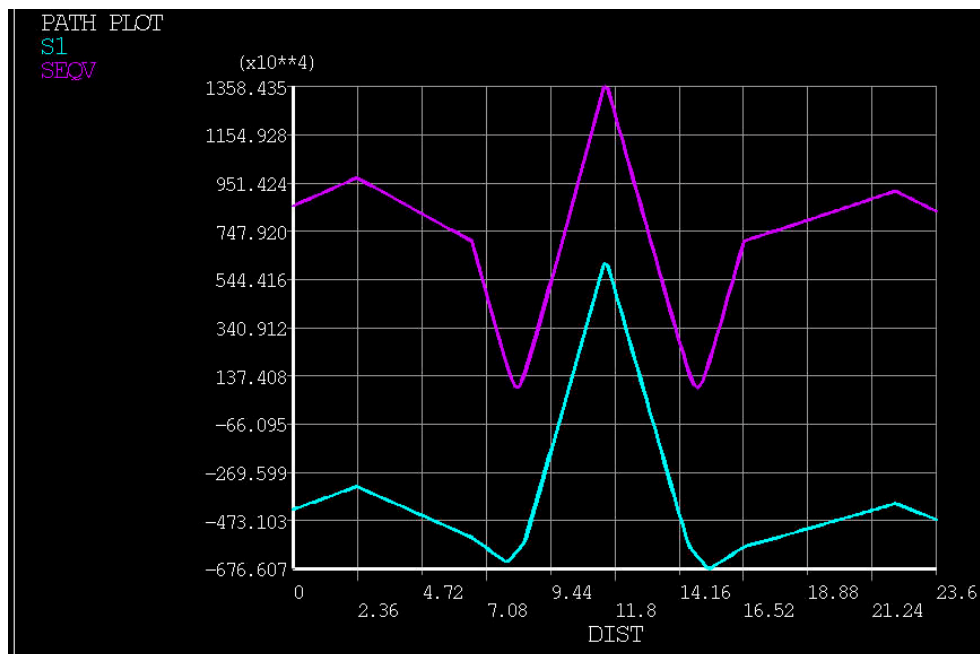


Рисунок 3.7 – Графік напружень в покрівлі камери

Максимальні напруження розтягу, що виникають в моделі в покрівлі камери на її контурі становлять 5,54МПа, максимальні стискаючі напруження 4,7МПа в ціліні. Максимальні напруження розтягу в ґрунті камери 7,4МПа, при цьому небезпечні напруження в центральній частині між верхньою і нижньою камерою.

Варіант 4. Камери ромбовидної форми 19 на 19м, міжкамерний цілик 8,7м. Коефіцієнт вилучення 0,28.

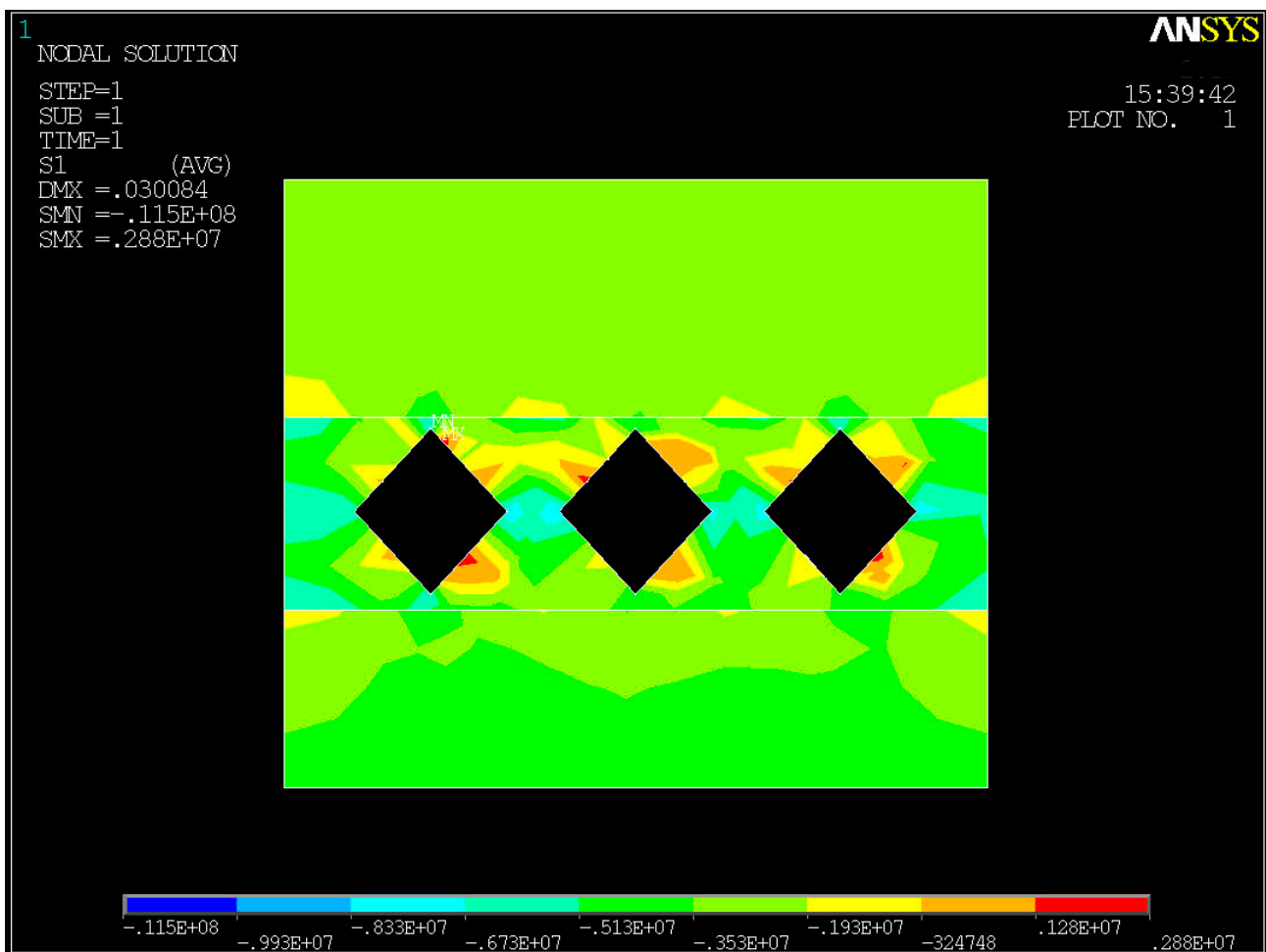


Рисунок 3.8 – Розподіл максимальних головних напружень навколо камер

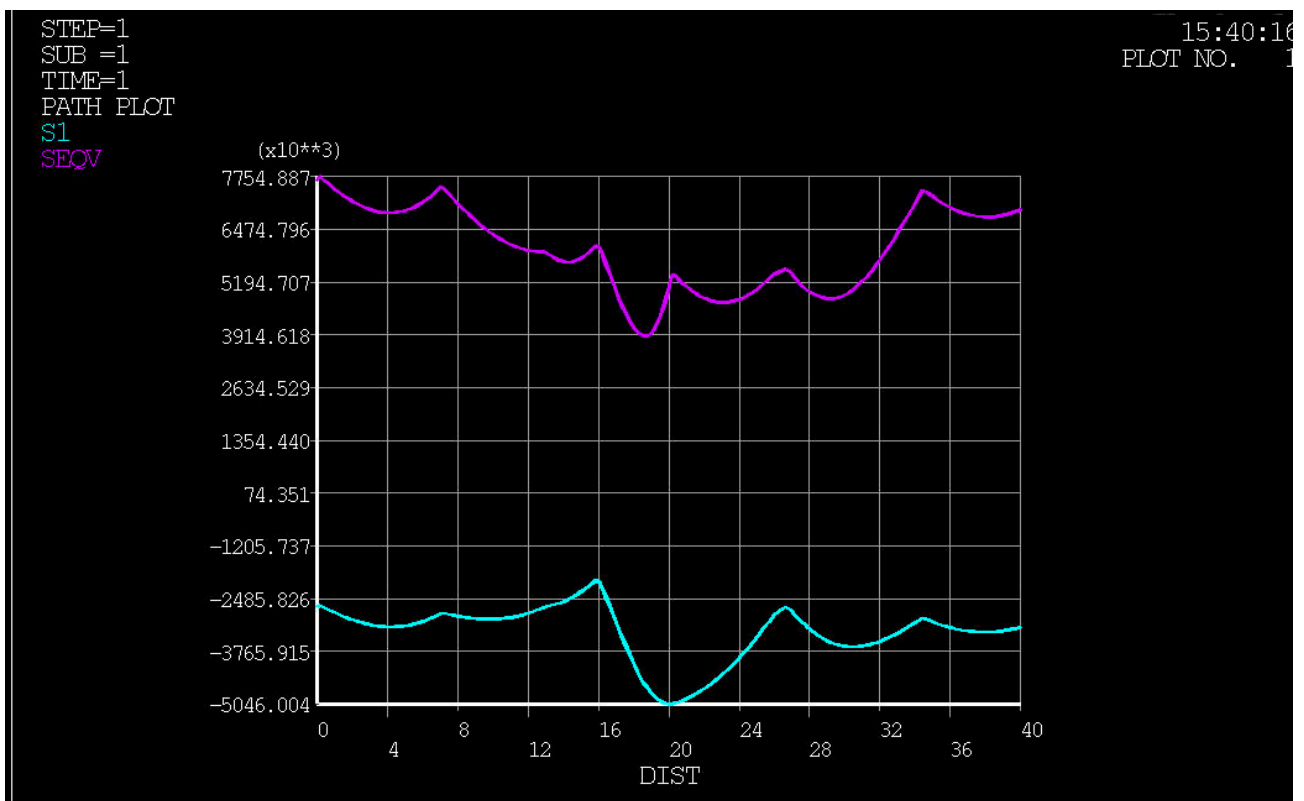


Рисунок 3.9 – Графік напружень в покрівлі камери

Максимальні напруження розтягу, що виникають в моделі на бічній грані камери на її контурі становлять 2,8МПа, максимальні стискаючі напруження 9,9МПа в цілині. У стелині камери - стискаючі напруження 2,4МПа.

Варіант 5. Камери ячеїстої шестикутної форми 28 на 16,5м, міжкамерний цілик 14,8м. Коефіцієнт вилучення 0,24.

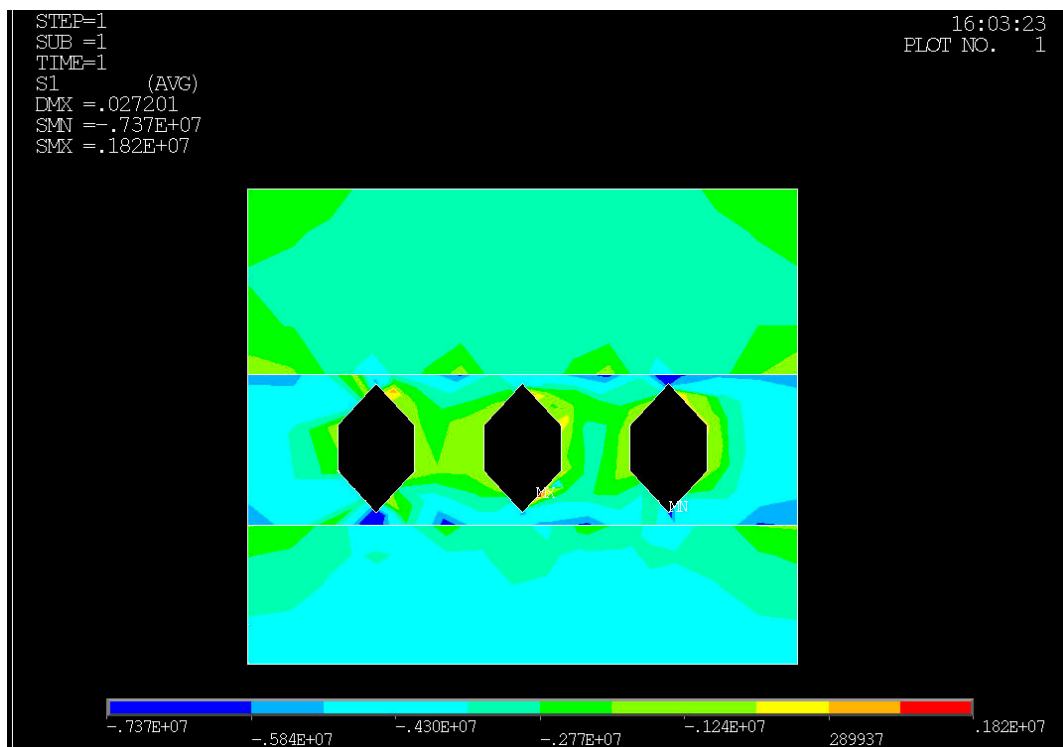


Рисунок 3.10 – Розподіл максимальних головних напружень навколо камер

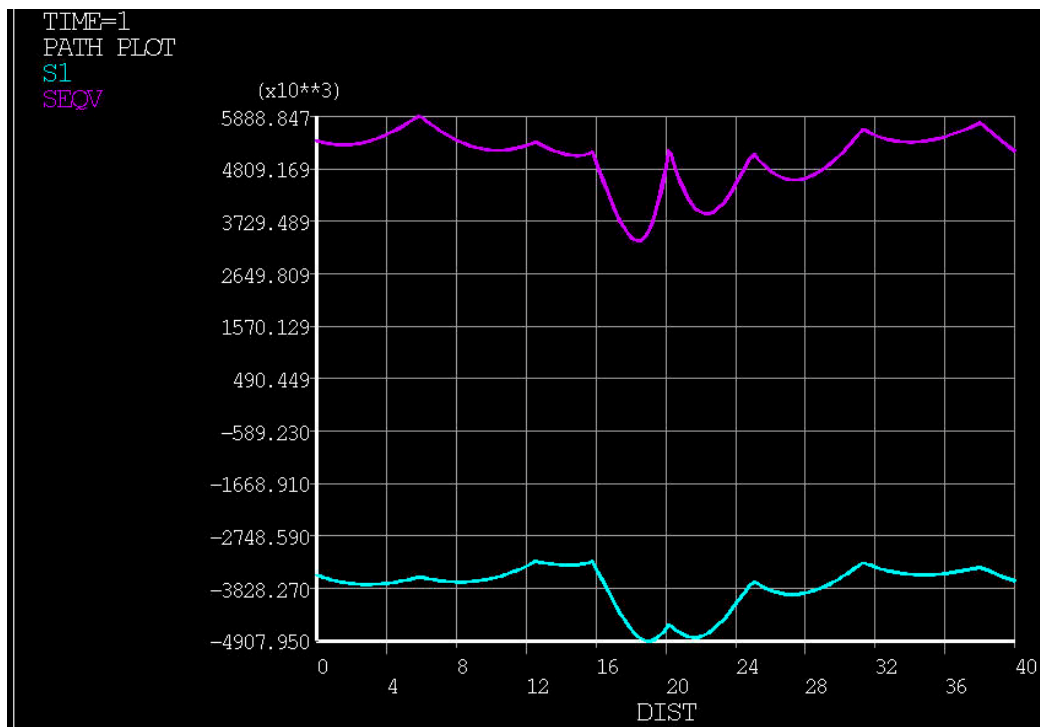


Рисунок 3.11 – Графік напружень в покрівлі камери

Максимальні напруження розтягу, що виникають в моделі на бічній грані камери на її контурі становлять 1,8МПа, максимальні стискаючі напруження 7,3МПа ґрунті камери. У стелині камери - стискають напруження 2,4МПа. Варіант 6. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м, межкамерний цілик 17м. Коефіцієнт вилучення 0,29. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень в масиві.

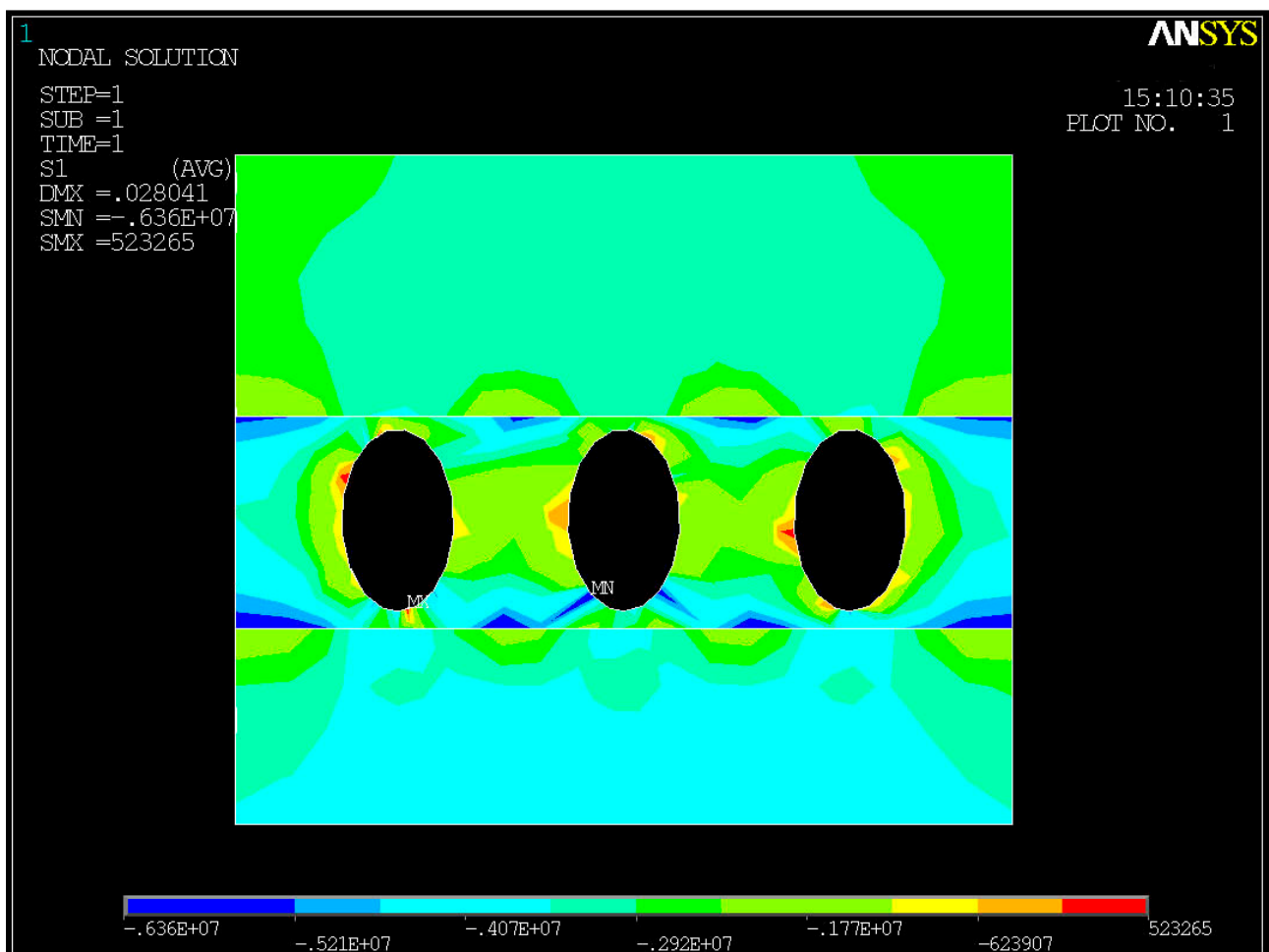


Рисунок 3.12 – Розподіл максимальних головних напружень навколо камер

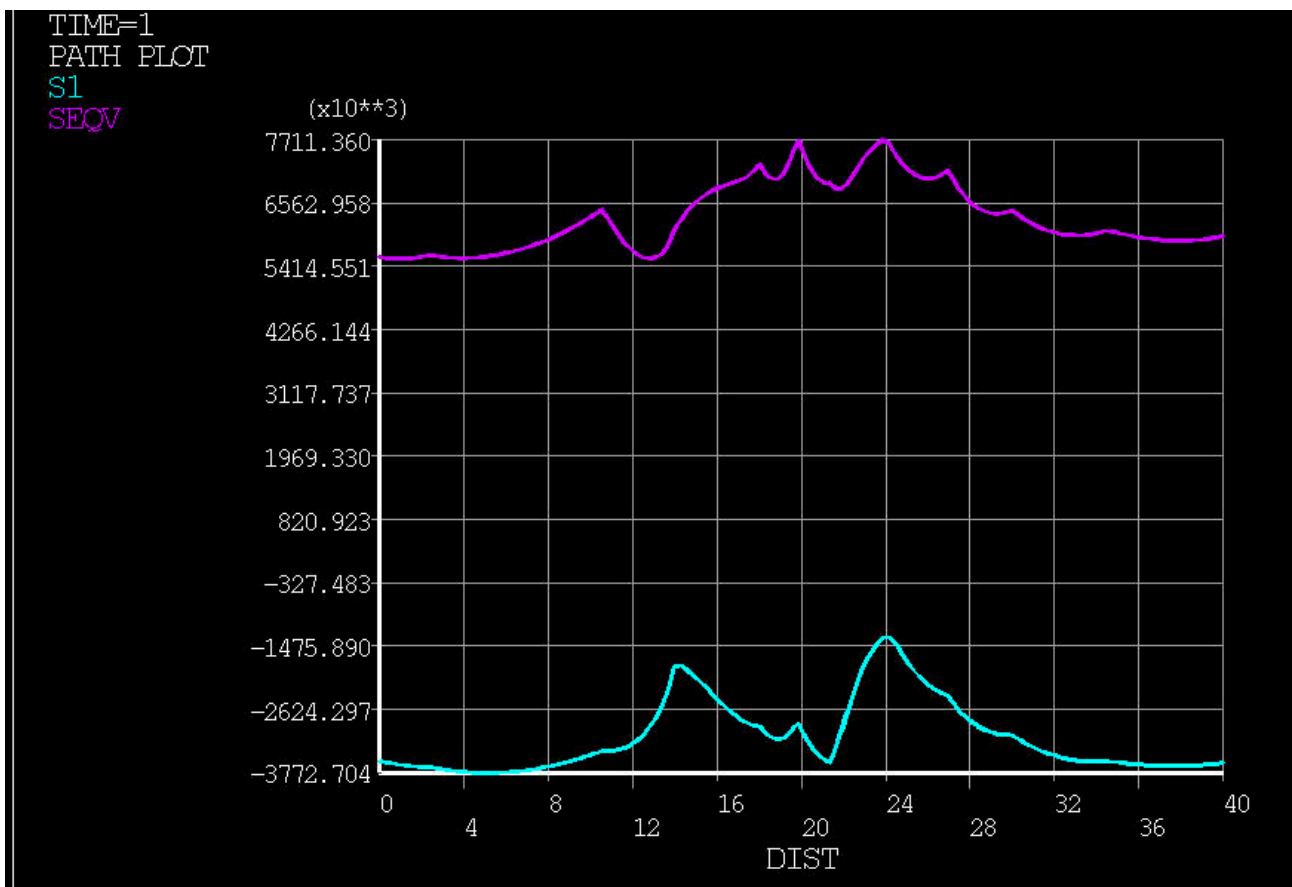


Рисунок 3.13 – Графік напружень в покрівлі камери

Максимальні напруження розтягу, що виникають в моделі на бічній грані камери на її контурі становлять 0,5 МПа, максимальні стискаючі напруження 6,3МПа в покрівлі камери. У стелині камери виникають стискаючі напруження 1,4МПа. Така форма камери є найбільш стійкою, так як напруження, що виникають на контурі мінімальні.

### 3.3 Висновки

Проведені дослідження показали, що зміна форми камери істотно впливає на розподіл напружень на контурі виробки й у вміщає масиві. З точки зору

стійкості контуру виробки найбільш раціональної є еліпсоїдна форма виробки із співвідношенням висоти і ширини камери рівним співвідношенню вертикальної і горизонтальної компонент напружень в масиві. При такій формі виробки максимальні головні напруження, що виникають на її контурі, є стискають. Таким чином, контур є стійким.

#### 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРУ МІЖКАМЕРНОГО ЦІЛИКА ПРИ ЕЛІПСОЇДНІЙ ФОРМІ КАМЕРИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ВМІЩУЮЧОГО МАСИВУ

##### 4.1 Постановка задачі. Методика моделювання

Завданням досліджень було визначення мінімально необхідного розміру цілика при найбільш раціональній еліпсоїдній формі виробки. Завдання зводилося до покрокового вирішення низки задач з розмірами цілика від 20 до 6 метрів. Критерієм оцінки напруженого стану в цілику прийняті головні мінімальні (стискаючі) напруження  $\sigma_3$ . В якості робочої була прийнята перша теорія міцності, задовільно описує граничні стани тендітних тел. Згідно з даними геологічної служби ДП "Артемсіль", межа міцності солі на одновісний 24МПа. З огляду на термін служби камери та реологічні процеси, вважаємо за доцільне ввести коефіцієнт запасу 20%. Таким чином, граничними вважаємо стискають напруги  $\sigma_3$  19,23МПа. Також оцінку будемо проводити за коефіцієнтом вилучення солі.

Завдання вирішувалася методом математичного моделювання за допомогою методу кінцевих елементів, реалізованому в програмному комплексі ANSYS. Завдання вирішувалася в об'ємній постановці в масштабі 1: 1, товщина моделі 10м. Опис методу моделювання та методики наведено в розділі 3.

На рис. 4.1 показана об'ємна розрахункова кінцево-елементна модель з розбивкою на вузли. Рішення поставленої задачі здійснюється за таких умов: моделювалася відпрацювання пласта кам'яної солі Брянцевський, потужністю 32,5м. Покрівля - шари ангідриту, мергелю глинистого сланцю потужністю 40м, усереднено задавалися властивостями ангідриту. Грунт - шари доломіту ангідриту і мергелю потужністю 30м задавалися властивостями ангідриту. Спрощення

властивостей покрівлі і ґрунту обґрунтовано тим, що найбільший інтерес викликають процеси деформування, і руйнування пласта солі вміщує очисні камери. Глибина залягання пласта 300м. Розміри моделі по простяганню 118,5м.

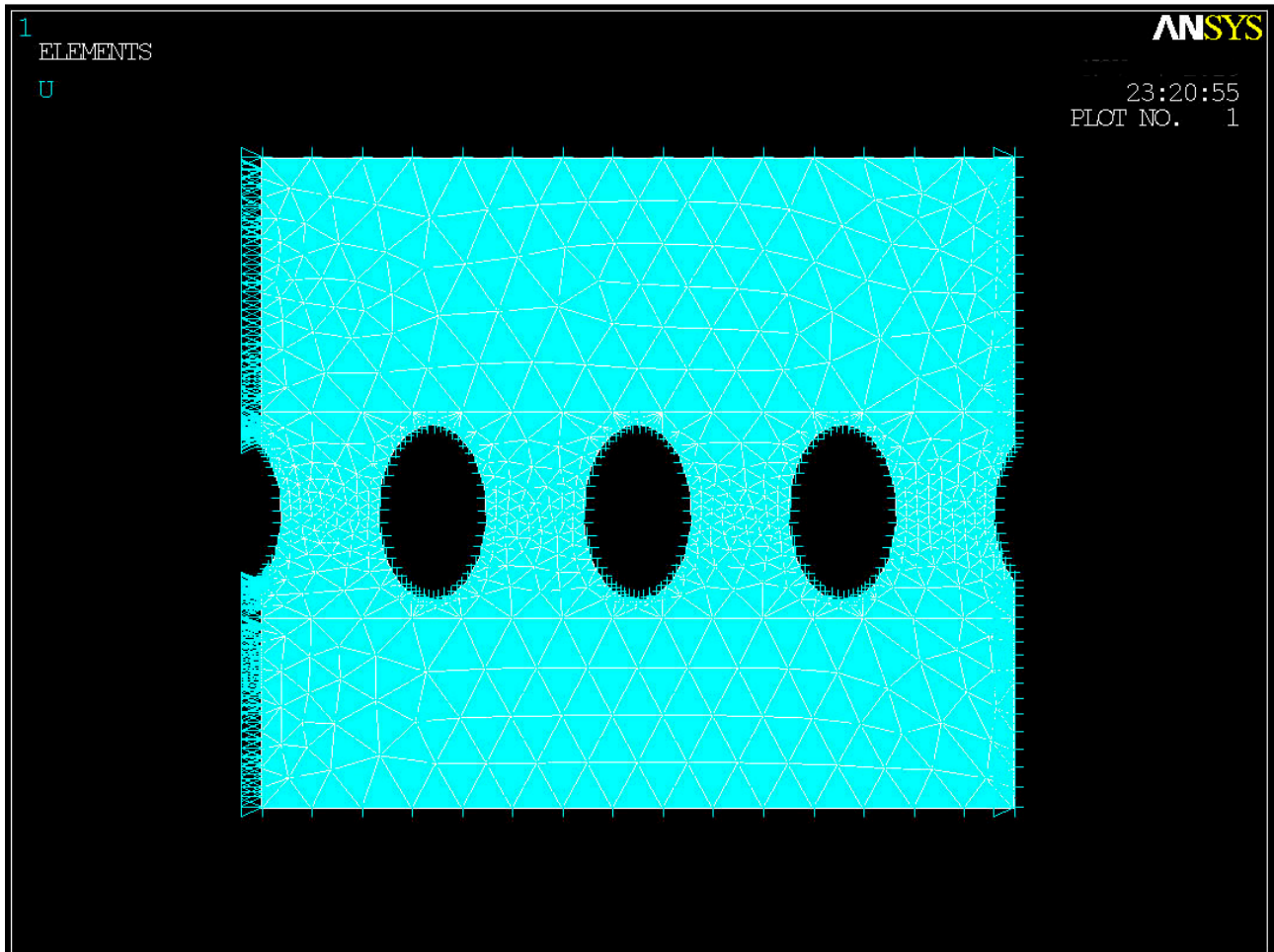


Рисунок 4.1 – Розрахункова модель, розбита на кінцеві елементи

Найбільш небезпечна ситуація в цілині - на контурі камери, де виникають мінімальні головні напруження  $\sigma_3$ . На картинах розподілу напружень і графіках наведених нижче  $S_3 = \sigma_3$  - мінімальні (стискаючі) головні напруження, Па.

#### 4.2 Математичне моделювання. Аналіз результатів.

В якості базового варіанту розглянемо традиційну схему для рудника - прямокутні камери 25 на 17м, міжкамерний цілик 22,5м. Коефіцієнт вилучення 0,33 (рис. 4.2, 4.3).

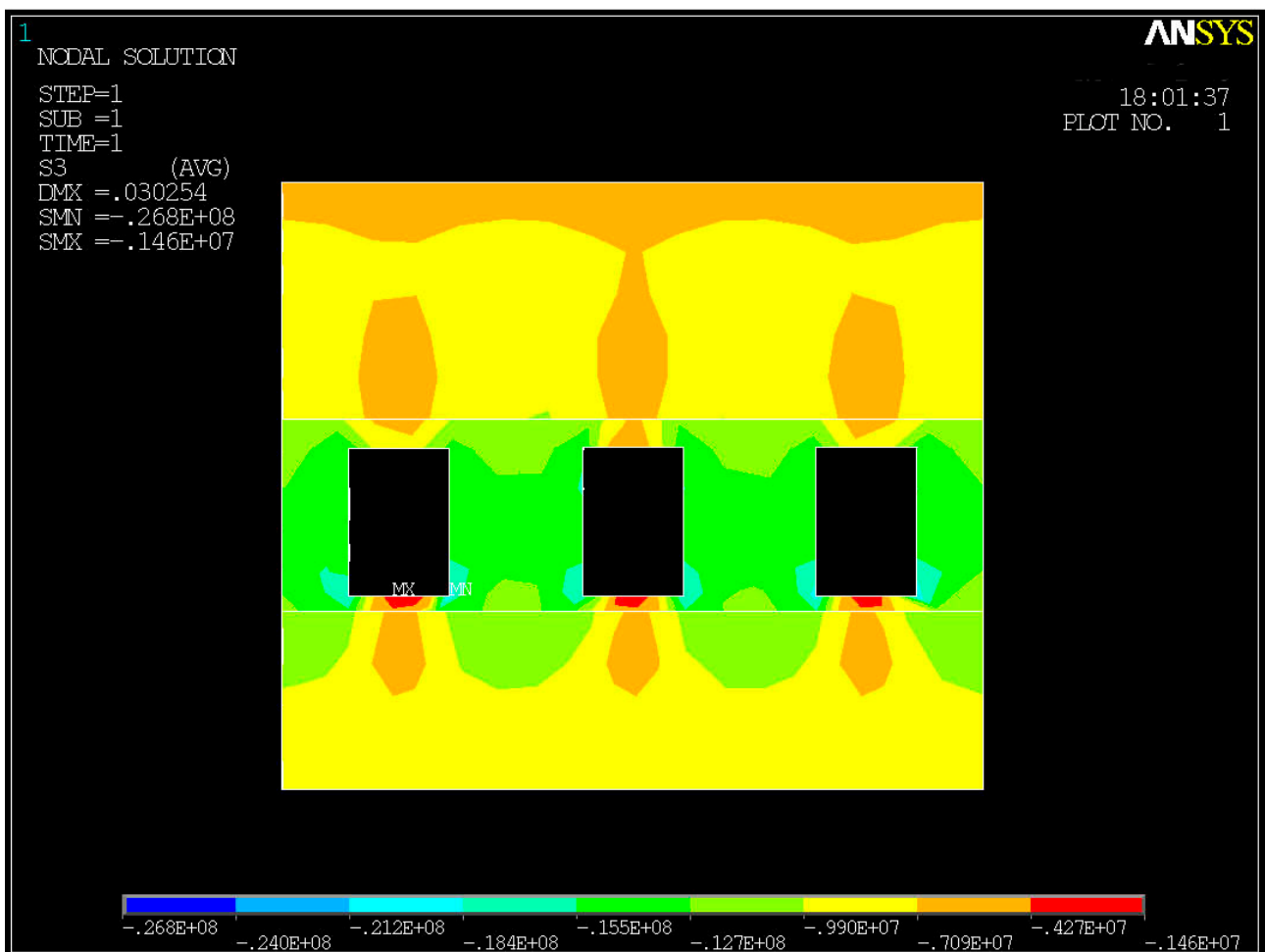


Рисунок 4.2 – Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер прямокутної форми

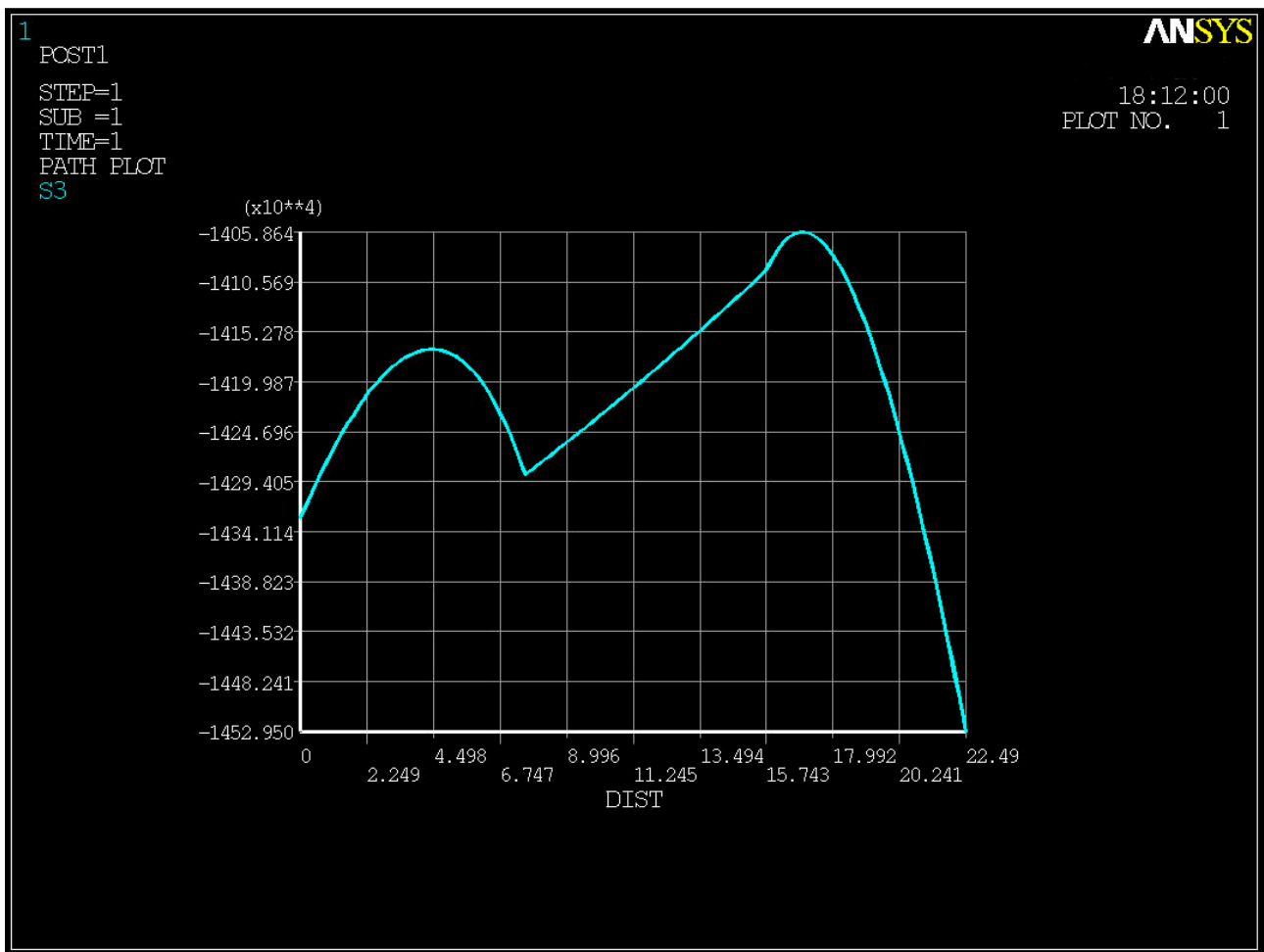


Рисунок 4.3 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають в нижніх кутах камер і досягають 26,8МПа. У цих ділянках буде відбуватися руйнування, так як межу міцності на одновісний стиск перевищено на 8%. По центральній осі цілика максимальні стискаючі напруги виникають на контурі середньої камери і складають 14,52МПа, тобто руйнування цілика не відбудеться. У шахтній схемі для запобігання руйнування в нижніх кутах камер необхідно прибрати кути - прибравши, таким чином, концентратори напружень.

Варіант 1. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м.

Коефіцієнт вилучення 0,27. Співвідношення висоти і ширини камери

відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень в масиві. Міжкамерний цілик 20м.

Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер і графік напружень в цілику наведено на рис. 4.4, 4.5.

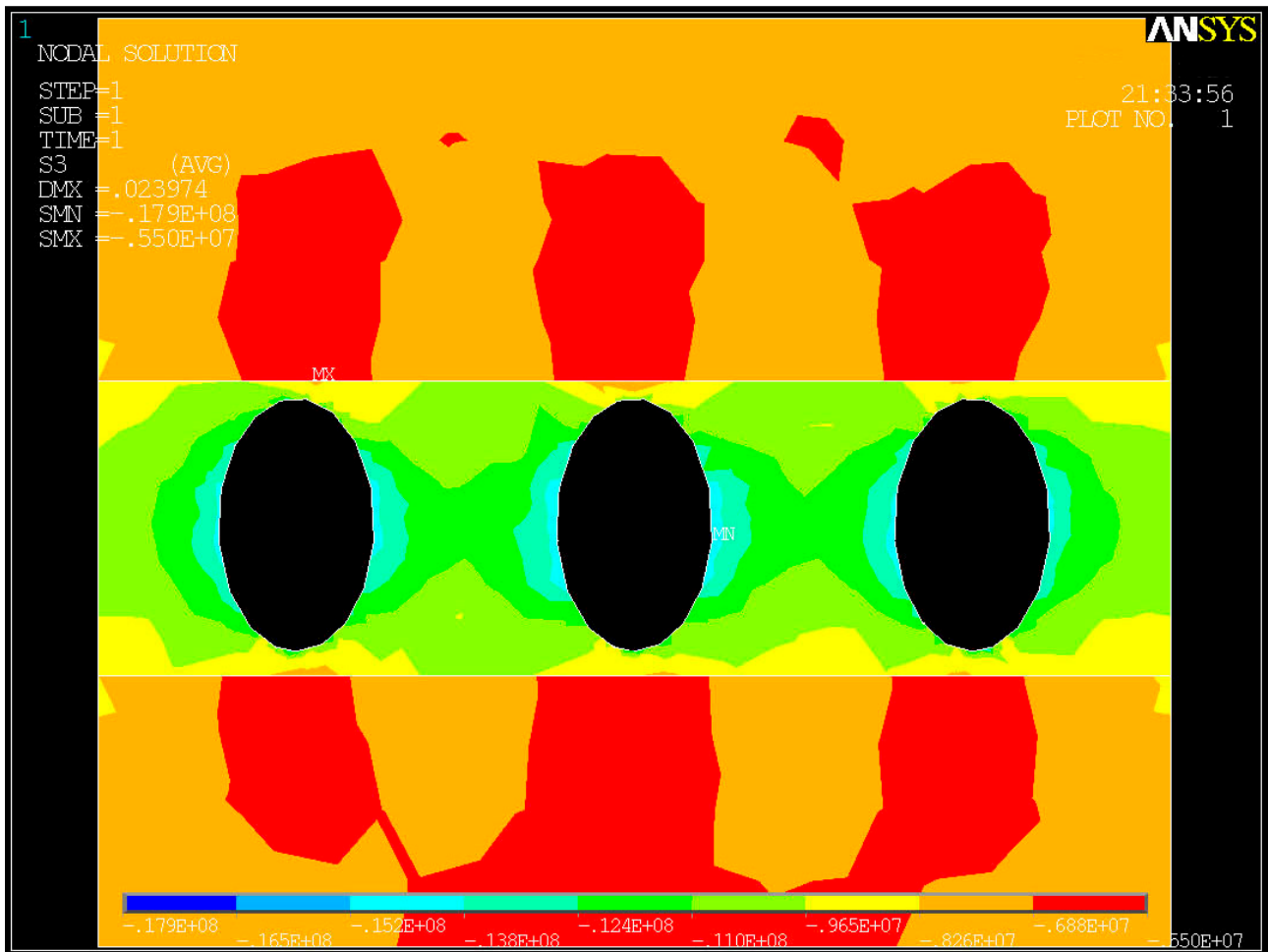


Рисунок 4.4 – Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 20м)

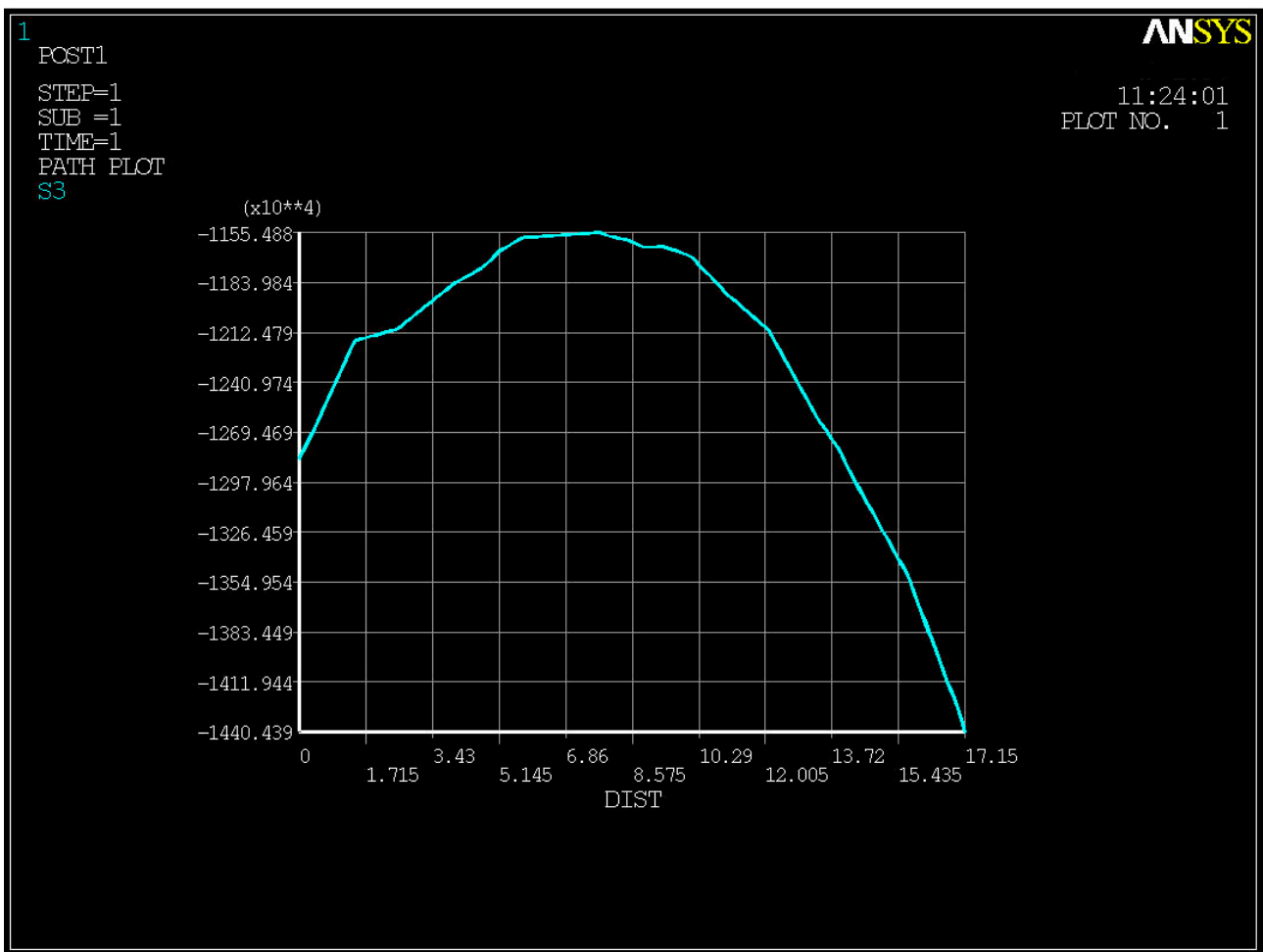


Рисунок 4.5 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають на контурі камери по її поздовжньої осі, тобто в центрі цілика і досягають 14,4МПа. У цих ділянках не буде відбуватися руйнування, так як межа міцності на одновісний стиск не перевищено. По центру цілика мінімальні напруження складають 11,5МПа (рис. 4.5).

Варіант 2. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м.

Коефіцієнт вилучення 0,296. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень

в масиві. Міжкамерний цілик 17м.

Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер і графік напружень в цілику наведено на рис. 4.6, 4.7.

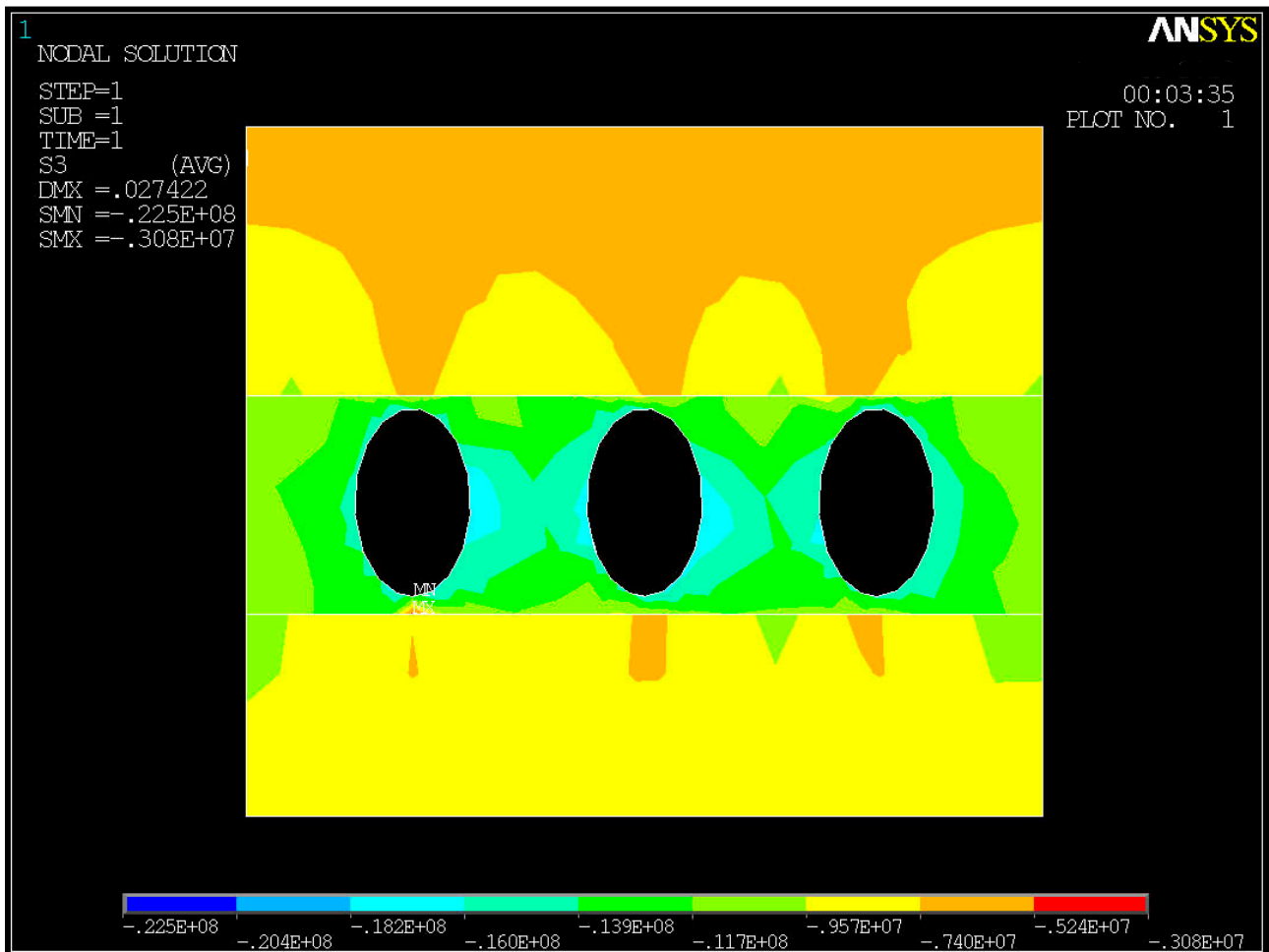


Рисунок 4.6 – Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 17м)

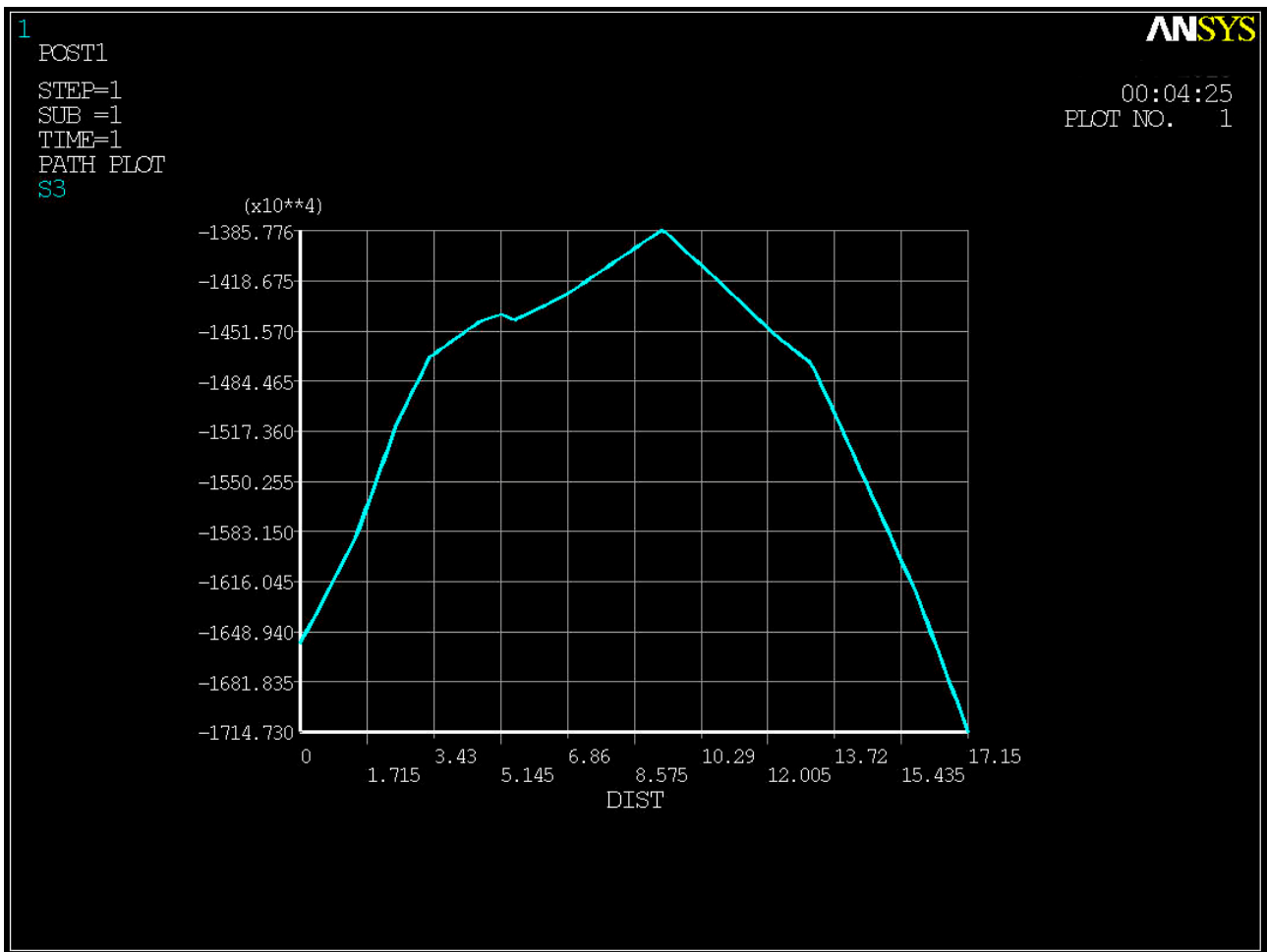


Рисунок 4.7 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають на контурі камери по її поздовжній осі, тобто в центрі цілика і досягають 17,14МПа. У цих ділянках не буде відбуватися руйнування, так як межа міцності на одновісний стиск не перевищено. По центру цілика мінімальні напруження складають 13,85МПа (рис. 4.7).

Варіант 3. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м.

Коефіцієнт вилучення 0,35. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень

в масиві. Міжкамерний цілик 15м.

Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер і графік напружень в цілику наведено на рис. 4.8, 4.9.

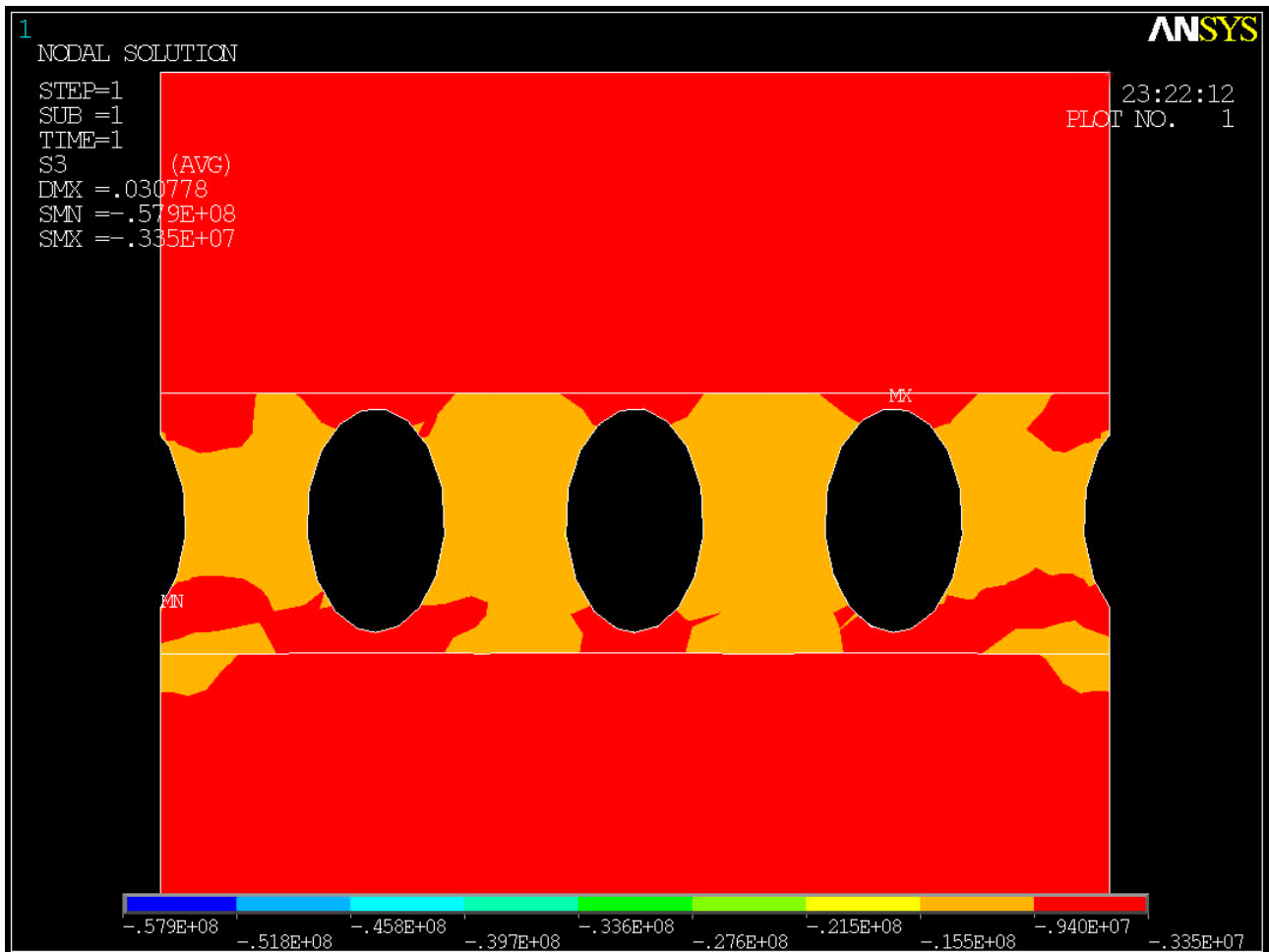


Рисунок 4.8 – Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 15м)

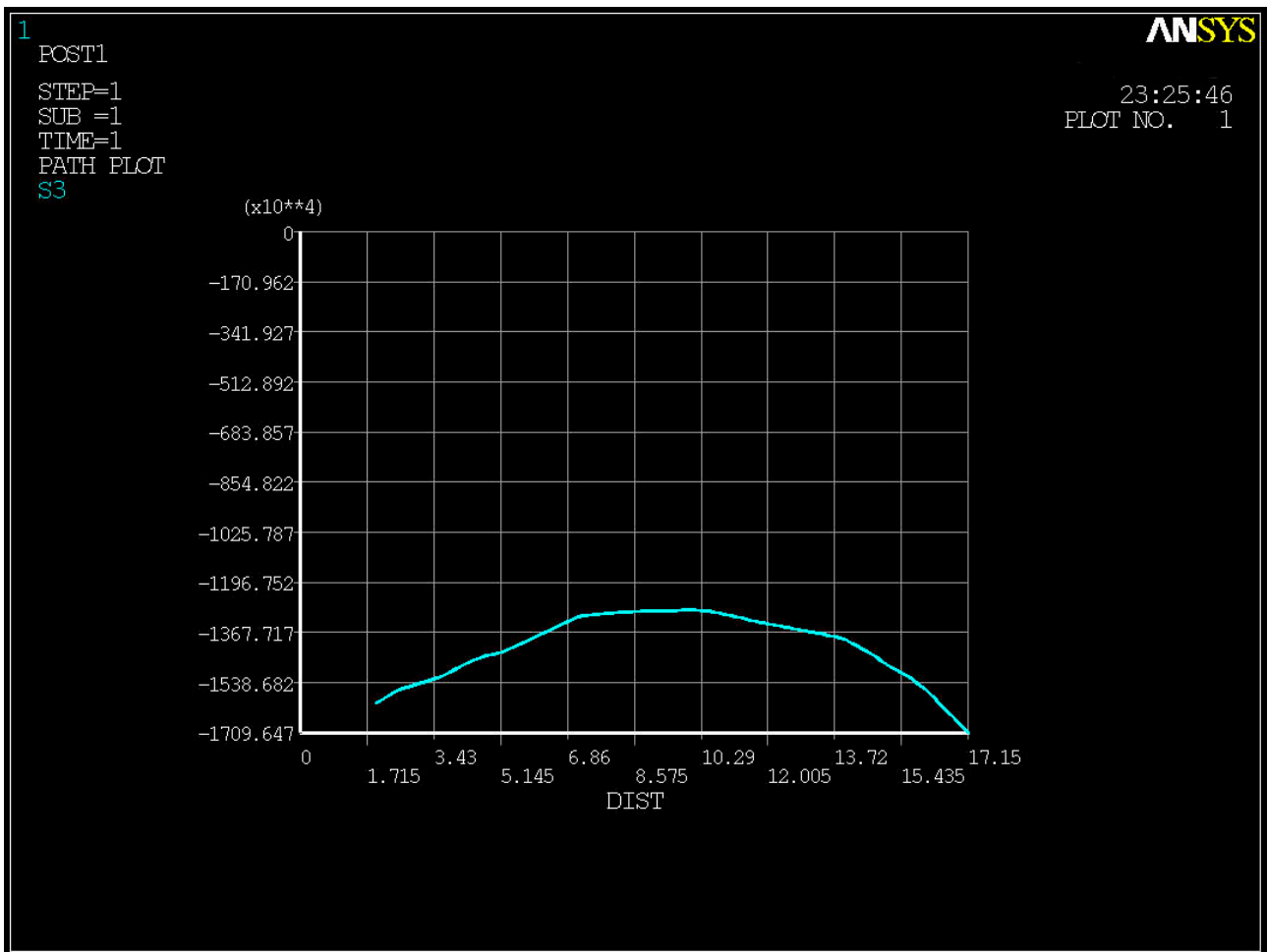


Рисунок 4.9 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають на контурі камери по її поздовжній осі, тобто в центрі цілика і досягають 17,19МПа. У цих областях не буде відбуватися руйнування, так як межу міцності на одновісний стиск не перевищено (рис. 4.9).

Варіант 4. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м. Коефіцієнт вилучення 0,4. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень в масиві. Міжкамерний цілик 12м.

Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер і графік напружень в цілику наведено на рис. 4.10, 4.11.



Рисунок 4.10. Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 12м)

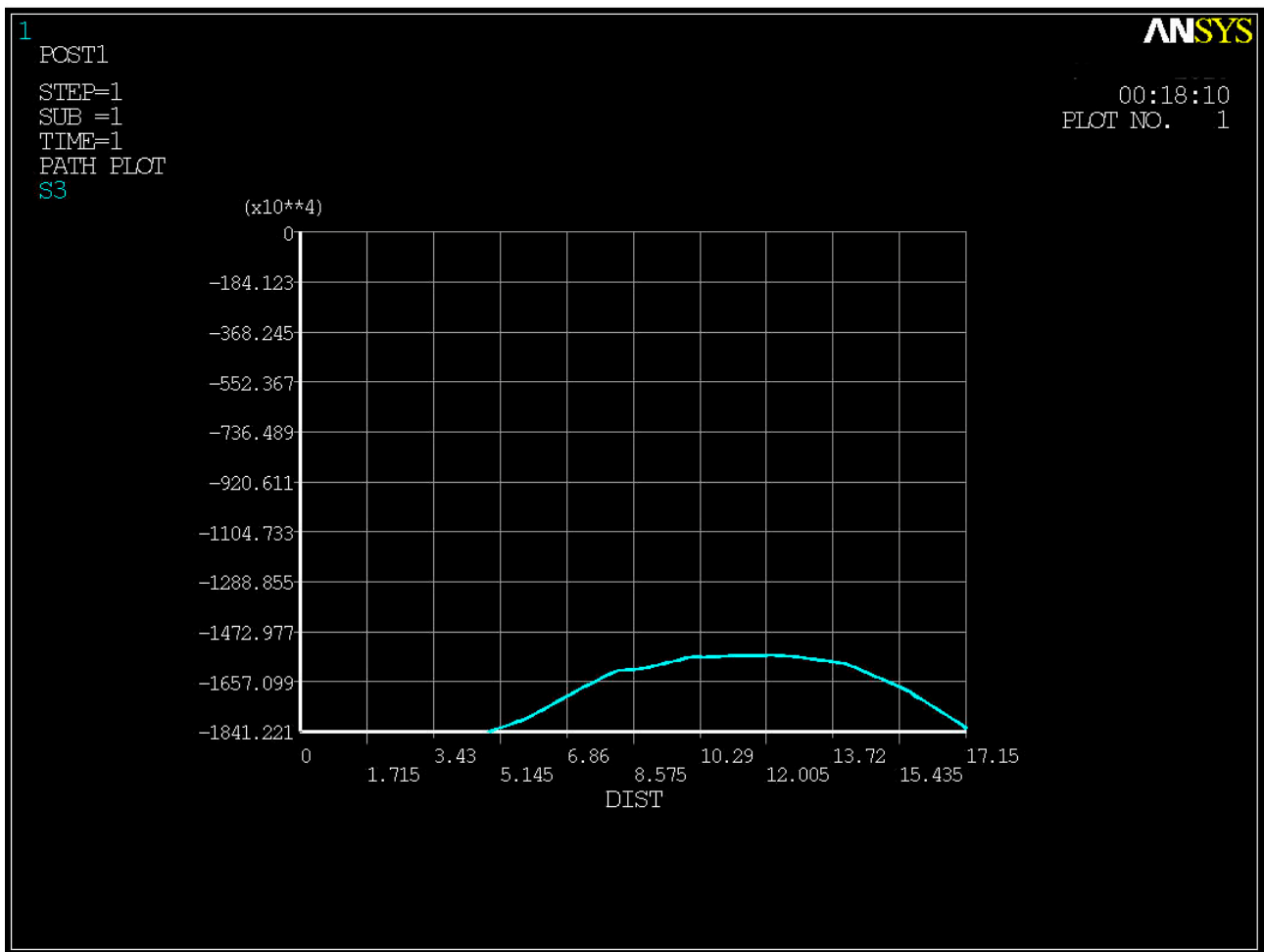


Рисунок 4.11 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають на контурі камери по її поздовжній осі, тобто в центрі цілика і досягають 18,4МПа. У цих ділянках не буде відбуватися руйнування, так як межу міцності на одновісний не перевищено (рис. 3.11).

Варіант 5. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м.

Коефіцієнт вилучення 0,45. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень в масиві. Міжкамерний цілик 10м.

Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер і графік напружень в цілику наведено на рис. 4.12, 4.13.

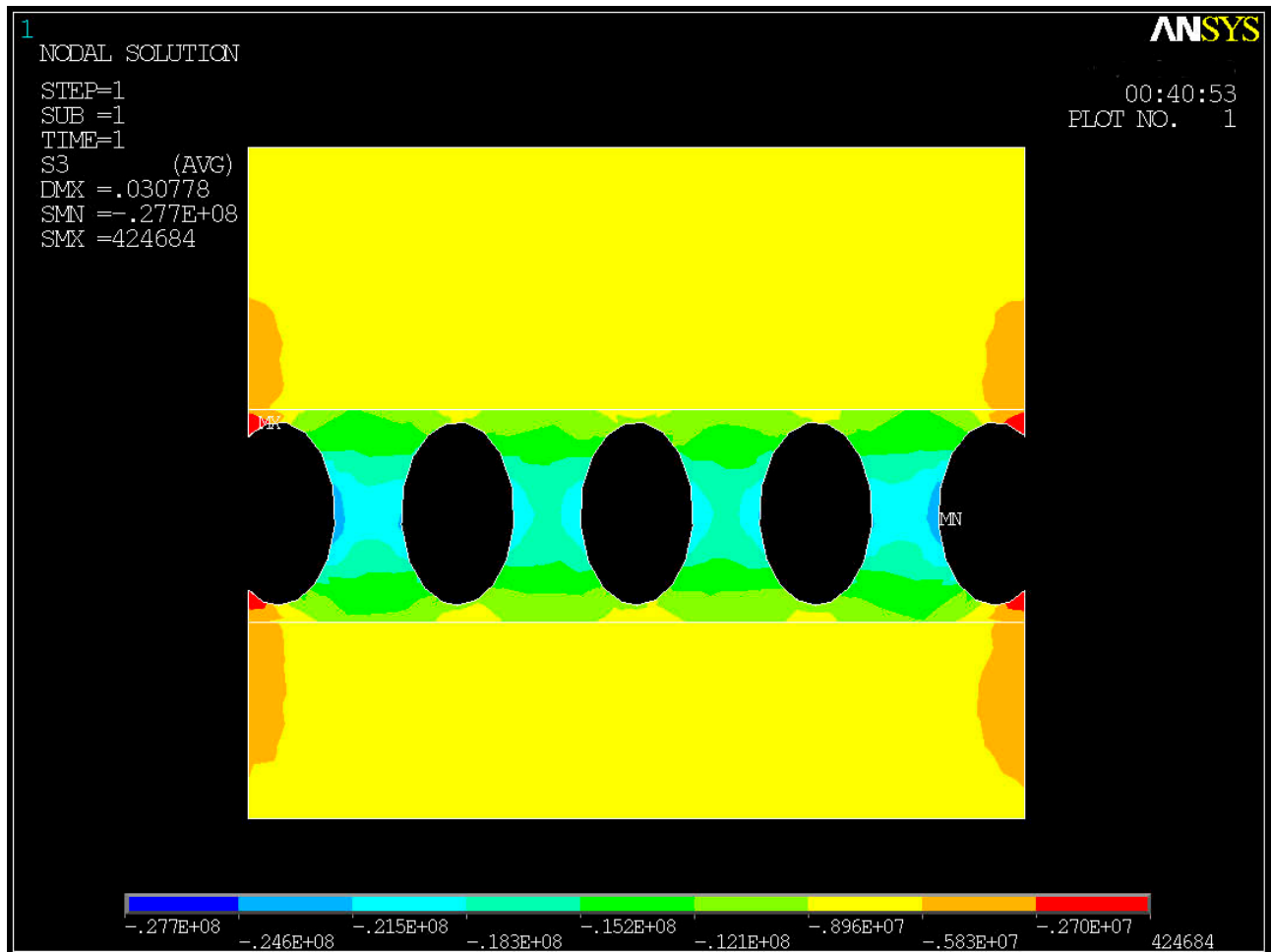


Рисунок 4.12 – Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 10м)

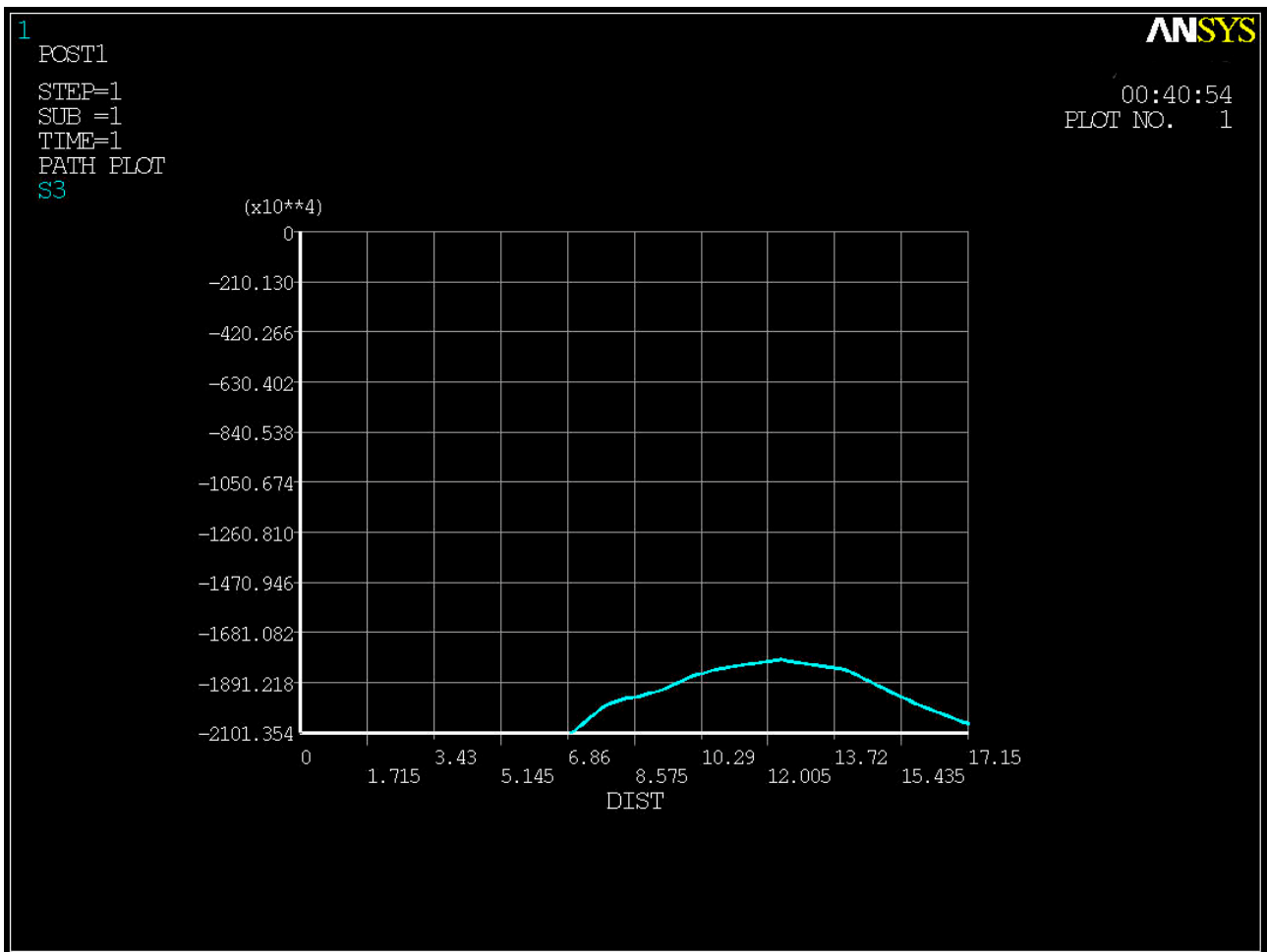


Рисунок 4.13 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають на контурі камери по її поздовжньої осі, тобто в центрі цілика і досягають 21,03МПа. Відбудеться руйнування цілика з часом, так як перевищено тривалу межу міцності (рис. 4.13). Зберегти стійкість камер можна шляхом кріплення боків.

Варіант 6. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м.

Коефіцієнт вилучення 0,49. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень в масиві. Межкамерний цілик 8м.

Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер і графік напружень в цілику наведено на рис. 4.14, 4.15.

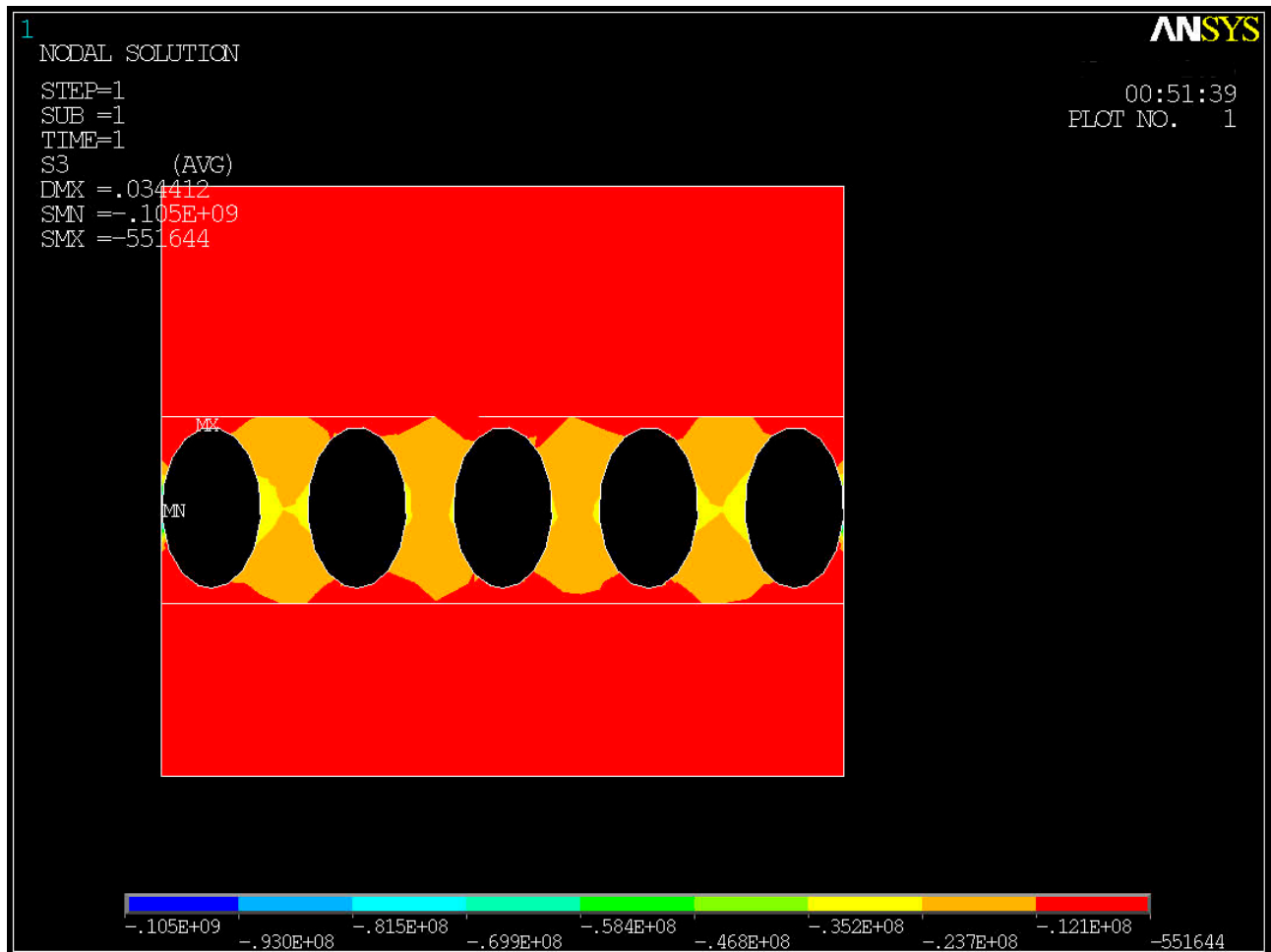


Рисунок 4.14 – Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 8м)

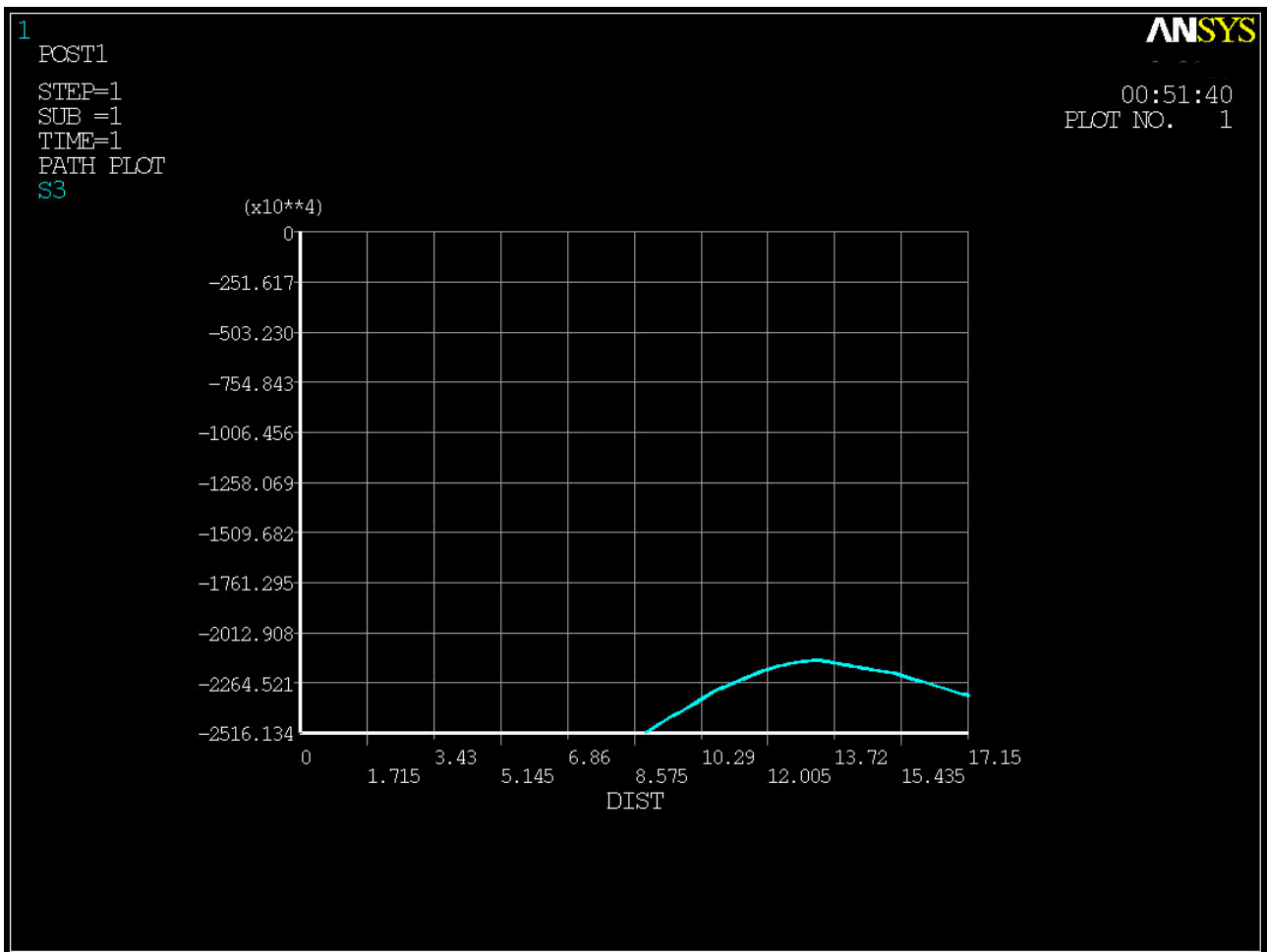


Рисунок 4.15 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають на контурі камери по її поздовжній осі, тобто в центрі цілика і досягають 23,16МПа. Відбудеться руйнування цілика через невеликий час, так як перевищено тривалу межу міцності, але миттєва міцність не досягнута (рис. 4.15). Зберегти стійкість камер можна шляхом кріплення боків відразу після виїмки.

Варіант 7. Камери еліпсоїдної форми 28 на 17,3м.

Коефіцієнт вилучення 0,56. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної і горизонтальної складової напружень

в масиві. Міжкамерний цілик 6м.

Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер і графік напружень в цілику наведено на рис. 4.16, 4.17.

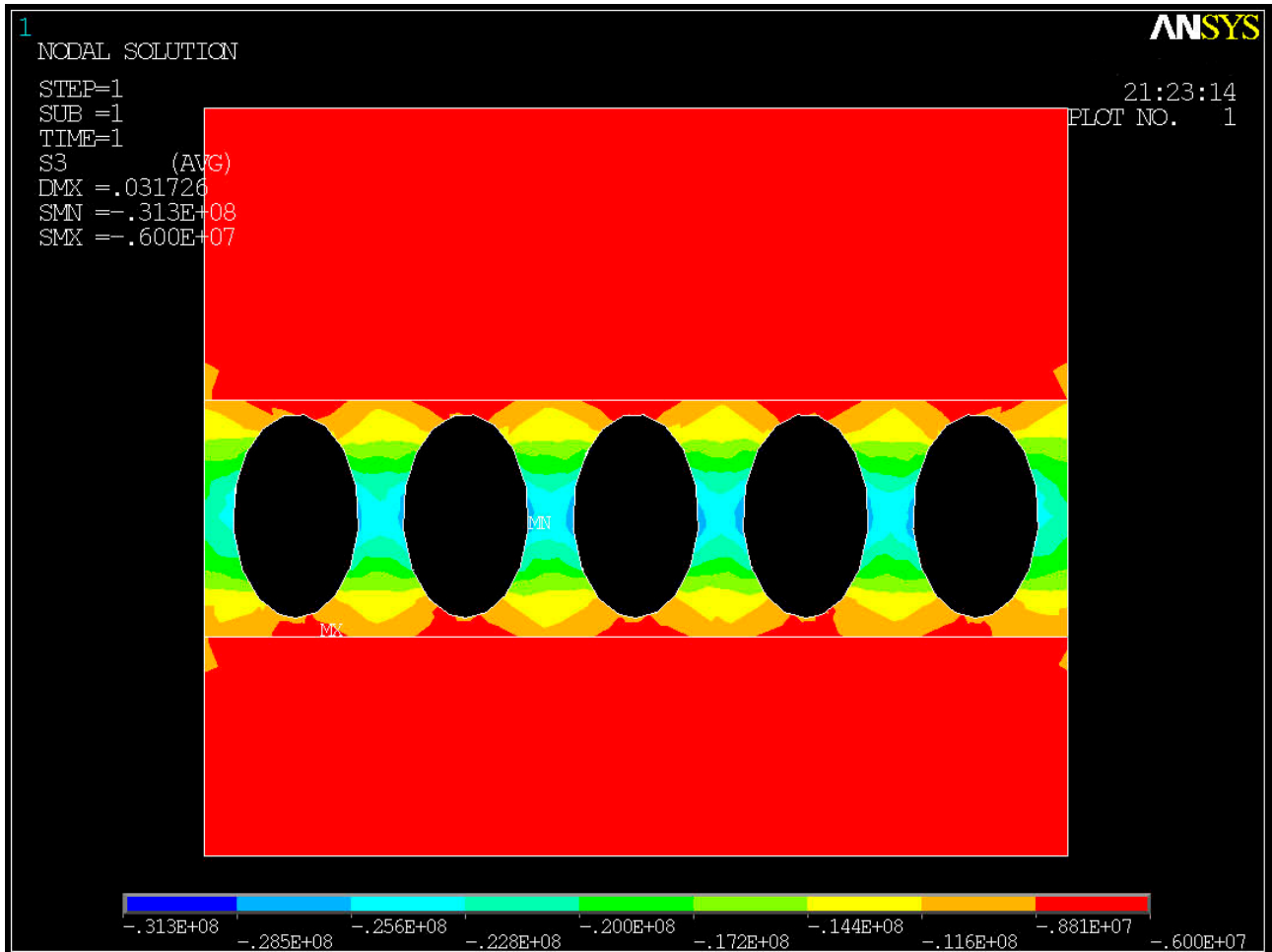


Рисунок 4.16 – Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 6м)

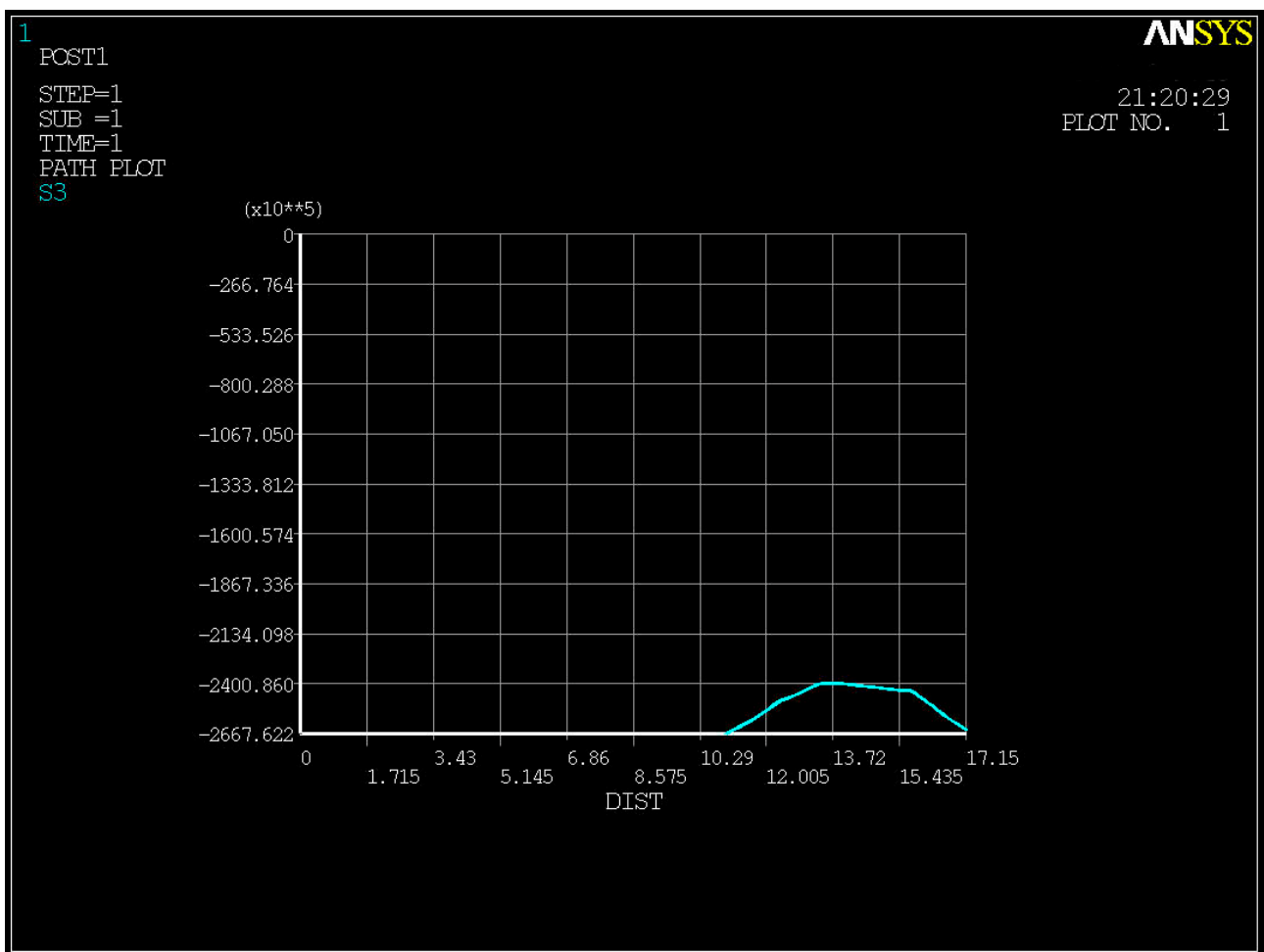
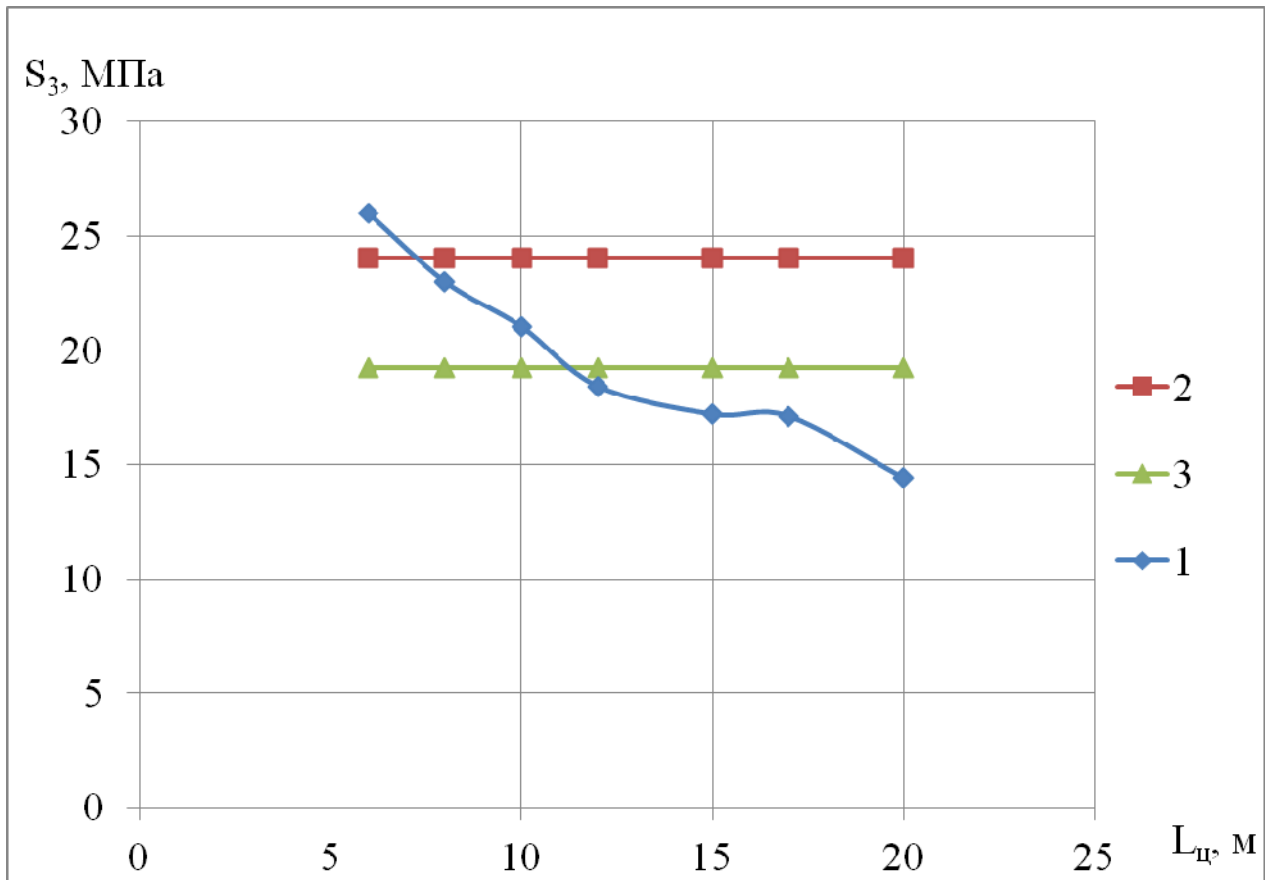


Рисунок 4.17 – Графік напружень в цілику

Максимальні стискаючі напруження, виникають на контурі камери по її поздовжньої осі, тобто в центрі цілика і досягають 26,67МПа. Відбудеться миттєве руйнування цілика, так як перевищено межу миттєвої міцності (рис. 4.17). Зберегти стійкість камери неможливо.

З графіків (рис. 4.18) можна зробити висновок, що при розмірі цілика 12 і більше метрів руйнування його відбуватися не буде, і система буде стійкою. Коефіцієнт вилучення солі при цьому становить 0,4. При розмірі цілика менше 7 м спостерігатиметься його руйнування відразу після виїмки камери.

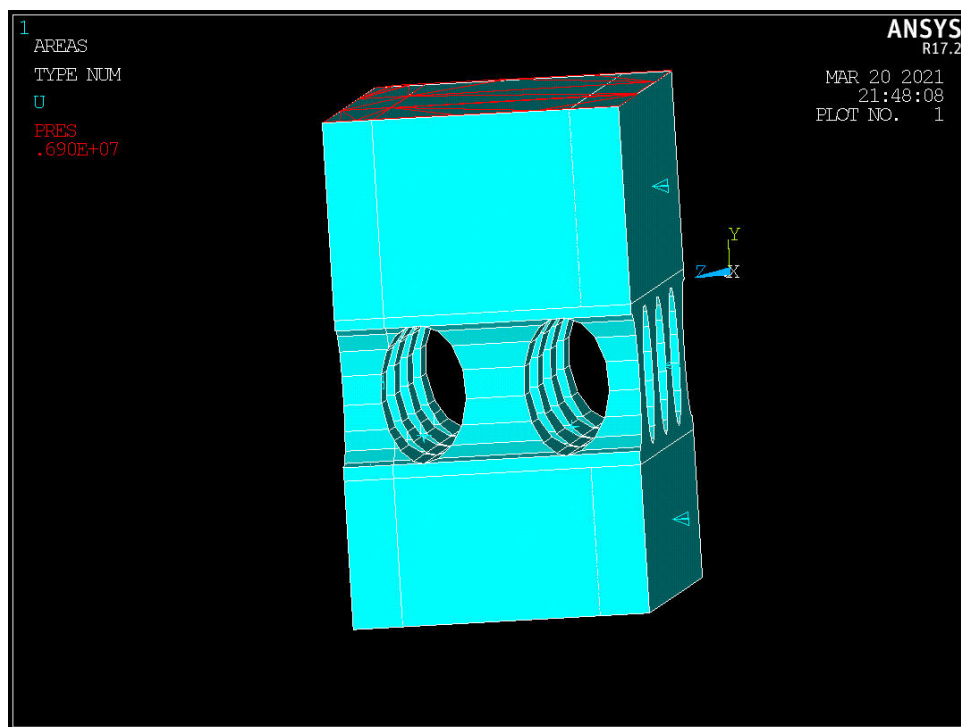


1 - результати розрахунку напружень в ході моделювання; 2 - межа миттєвої міцності; 3 - межа тривалої міцності

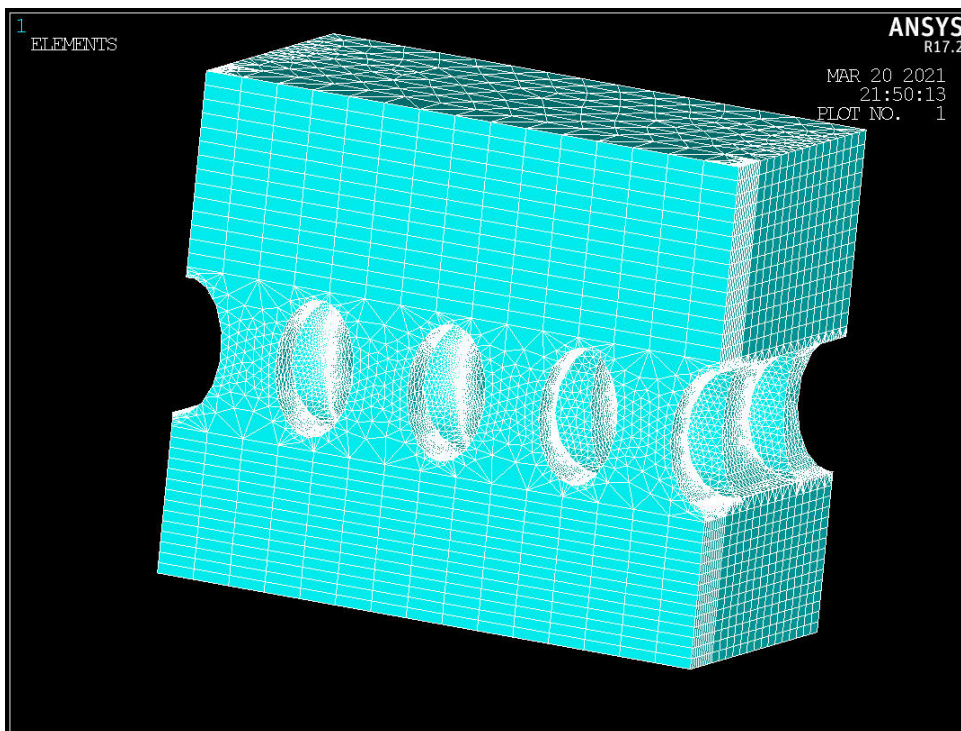
Рисунок 4.18 – Графік залежності мінімальних головних напружень  $S_3$  від розміру міжкамерного цілика  $L_{ц}$

Ще одним варіантом, який пропонується в роботі, є залишення цілика не стрічкового типу, а окремо розташованих опор (стовпів). Для розрахунку параметрів такої моделі було проведено моделювання на об'ємній моделі з товщиною 118м. У моделі були проведені камери еліптичної форми в обох горизонтальних взаємно перпендикулярних напрямках, з залишенням ціликів однакових розмірів.

Схема моделі наведена на рисунку 4.19. На наведеній схемі цілики 12м.



a



б

Рисунок 4.19 – Розрахункова модель (а), модель розбита на кінцеві елементи (б)

Розрахунок напружень для такої схеми наведений на рисунках 4.20, 4.21. Максимальні стискаючі напруження в моделі виникають на контурі середньої камери і складають 257МПа в точках по центральній поздовжній осі камер, в областях розмірами до 10см виникають напруження до 70МПа, на стінках камер зони значних розмірів (до  $\frac{1}{4}$  від висоти) - до 50МПа. Таким чином, руйнування ціликів відбудеться миттєво. Для оцінки розмірів ціликів при їх стовповій формі необхідне проведення додаткових досліджень.

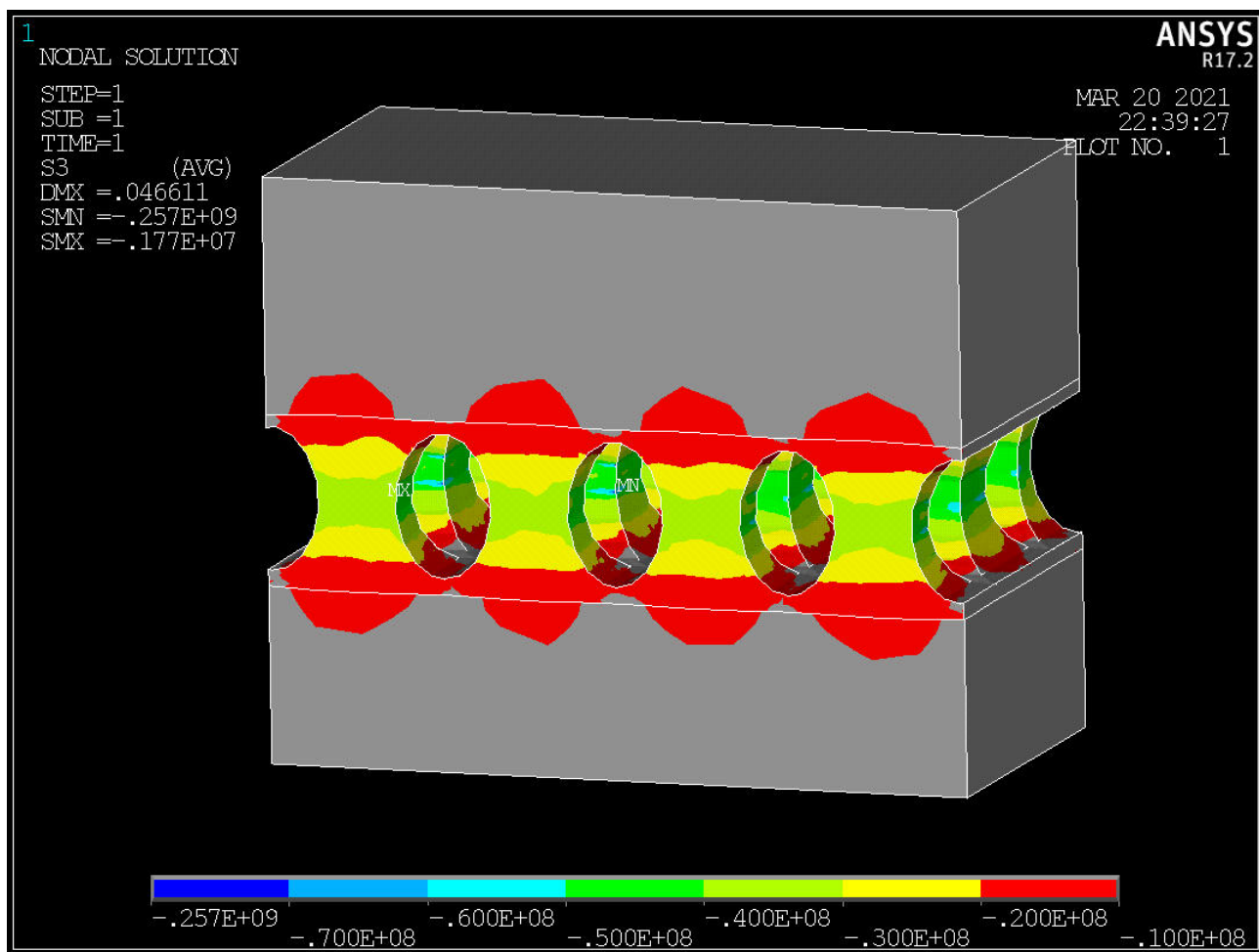


Рисунок 4.20 – Розподіл мінімальних головних напружень в моделі (міжкамерний цілик 12м)

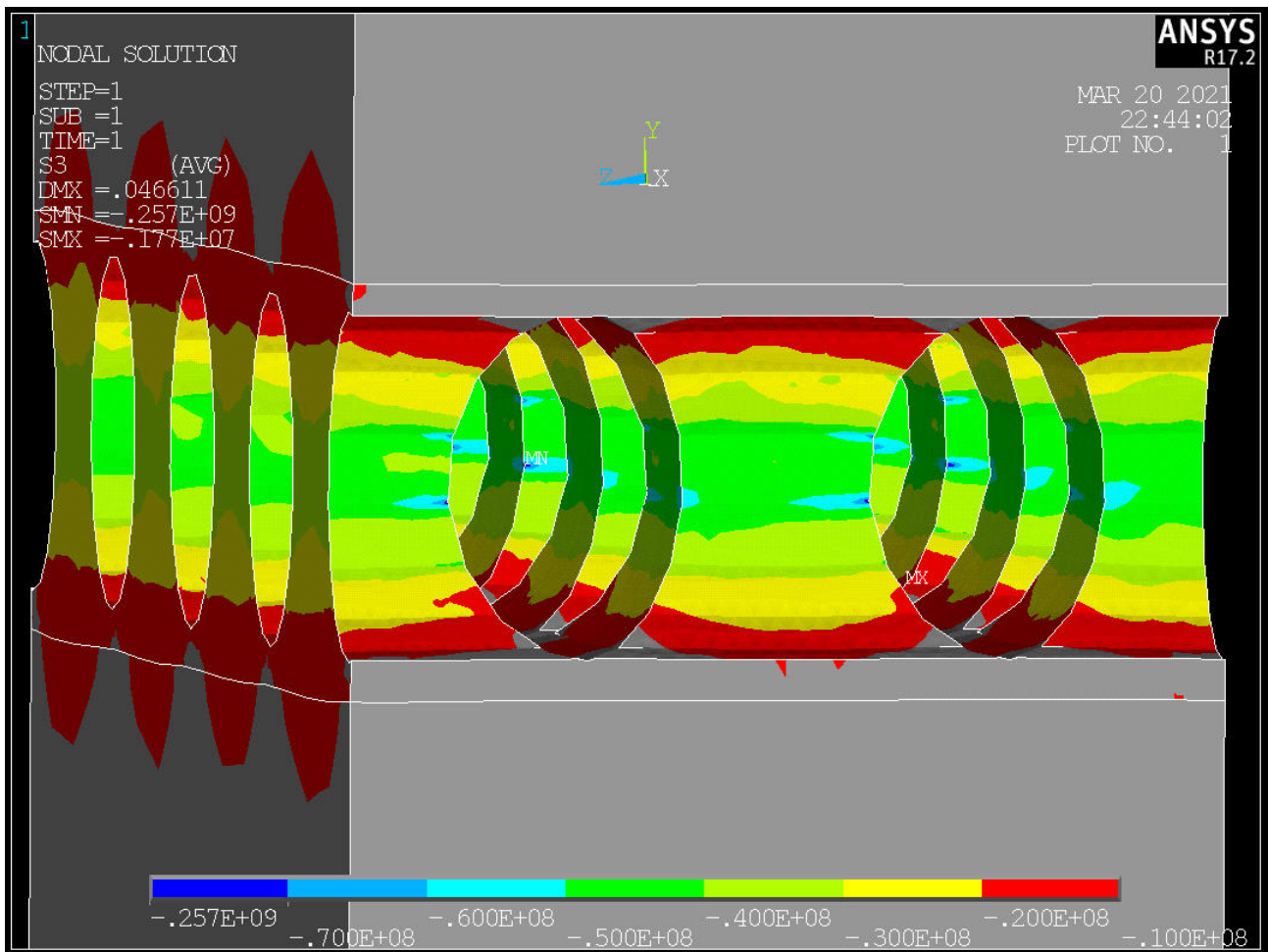


Рисунок 4.21 – Розподіл мінімальних головних напружень в моделі (міжкамерний цілик 12м)

#### 4.3 Висновки

Проведене математичне моделювання показало, що при традиційній прямокутній формі камери спостерігається руйнування в нижніх крайових частинах, а в центральній частині цілики стійкі. При еліпсоїдній формі камер і розмірі цілика 12 і більше метрів руйнування його відбуватися не буде, і система буде стійкою. Коефіцієнт вилучення солі при цьому становить 0,4, що на 7% вище базового варіанту. При розмірі цілика менше 7 м спостерігатиметься його

руйнування відразу після виїмки камери.

Альтернативним варіантом, який пропонується в роботі, є залишення ціликів не стрічкового типу, а окремо розташованих опор (стовпів). Це дозволяє скоротити втрати солі в ціликах. Пропонується проведення камер еліптичної форми в обох горизонтальних взаємно перпендикулярних напрямках, з залишенням ціликів однакових розмірів.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Комплексне знепилювання

За діючими санітарними нормами гранично допустима концентрація соляного пилу в атмосфері становить 10 мг / м<sup>3</sup>. Гігроскопічність і розчинність важливі властивості соляного пилу. Активне зволоження пилу починається при досягненні критичної вологості повітря, що дорівнює 77%. Так як вологість рудникового повітря досягає 80-90%, то ці властивості соляного пилу значно знижує запиленість рудникової атмосфери. Волога, яка конденсується з повітря виконує роль природного зволоження. Прийнята проектом схема провітрювання сприяє поліпшенню умов провітрювання гірських виробок і видаленню соляного пилу з підготовчих, очисних і нарізних вибоїв. Знепилююча дія вентиляції визначається двома спільно діючими факторами: розрідженням пилової хмари чистим повітрям під дією турбулентної дифузії і виносом літаючої пилу з провітрюваного простору. З огляду на, що значна запиленість атмосфери приурочена до зон дії джерел пилоутворення, проектом передбачені заходи щодо підвищення ефективності провітрювання цих зон. Одним з головних джерел пилоутворення є комбайн "Урал-10КСА", зайнятий на підготовчих, очисних і нарізних роботах.

При проведенні виробок тупиковим забоєм комбайном "Урал-10КСА" проектом передбачена схема знепилюючого провітрювання за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання, що працюють на нагнітання за рахунок ефективної швидкості руху струменя повітря в приви́бійній зоні по фактору "пил" відповідно до "Інструкції з розрахунку вентиляції гірничих виробок рудників Артемівського родовища кам'яної солі ", Артемівськ, 1995. Боротьба з пилом в очисних вибоях здійснюється за допомогою наскрізного провітрювання за рахунок загальношахтної депресії, веденням гірничих робіт в напрямку руху свіжого повітря і забезпечення ефективної швидкості його руху по фактору "пил". Крім того, проектом передбачено використання, коштів пиловідсмоктування, пиловловлювання та ізоляції призабойного

простору, якими обладнані комбайни "Урал-10КСА". Кожен робочий комбайнового забою повинен забезпечуватися індивідуальними засобами захисту від пилу. З огляду на порівняно невелику висоту ярусних камер (не більше 6,5 м) і малий термін відпрацювання камерних запасів, не потрібно застосування допоміжних комбайнів для оформлення стелин і стін камер. Тому ярусна відпрацювання пласта кам'яної солі призводить до зниження викидів соляної пилу в атмосферу земної поверхні в порівнянні з існуючою технологією.

Іншими джерелами пилоутворення є транспортні засоби. Для зниження запиленості рудникової атмосфери в районі перевантажувальних пунктів проектом передбачається виконання всіх вузлів перевантаження закритого типу.

## 5.2 Питне водопостачання

Робітники, зайняті на підземних роботах, забезпечуються питною водою від загальних питних точок або індивідуальними флягами з газованою водою. Індивідуальні фляги повинні бути забезпечені ременями для носіння, мати ємність не менше 0,75 л і заповнятися водою централізовано на питній станції або в адміністративно побутовому корпусі. Бачки з газованою водою колективного користування доставляються в підземні виробки персоналом станції приготування газованої води. Бачки з газованою водою і ящики з стаканчиками встановлюються в місцях інтенсивного руху робітників. Виходячи з заданої кількості працюючих, до установки додані два бачка ємністю 30 літрів кожен. Один з них встановлюється на виїмковому штреку поблизу виробництва робіт, другий - на транспортному горизонті виїмкового штреку. Бачки повинні не рідше одного разу на тиждень мити та дезінфікувати.

## 5.3 Асенізація

У гірських виробках проектованої ділянки передбачена установка пересувної збірної підземної вбиральні з двома прийомними судинами ємністю 80 літрів кожен. Вбиральня встановлюється на виїмковій штреку не далі 150-200 м від місця виробництва очисних робіт. У міру просування очисних вибоїв вбиральня пересувається. Щодня вбиральня повинна дезінфікуватися, а прийомні судини регулярно очищатися на зливний станції, розташованій на поверхні. Зливна станція повинна бути обладнана хлораторною установкою, внутрішнім водопроводом і підключена до всередині майданних мереж госпфекальної каналізації.

#### 5.4 Медична допомога

Всі підземні робітники повинні бути забезпечені індивідуальними перев'язувальними пакетами в міцній водонепроникній оболонці. Особи технічного нагляду та бригадири повинні мати при собі під час роботи не менше двох таких же індивідуальних перев'язувальних пакетів. Підземні робітники, особи технічного нагляду повинні бути навчені наданню першої долікарської допомоги. На ділянці аптечки першої допомоги повинні знаходитися біля перевантажувальних пунктів №1, №2, на виїмкових штреках біля діючих солеспусков. У приствольних дворах повинні бути носилки, пристосовані для установки їх в машині швидкої допомоги.

#### 5.5 Техніка безпеки

Проектом передбачається ведення гірничих робіт відповідно до вимог "Закону України про охорону праці", "Кодексом України про надра", "Єдиних правил безпеки при розробці рудних, нерудних і розсипних родовищ підземним способом", "Єдиних правил охорони надр при розробці родовищ твердих корисних копалин", "Інструкції з безпечного застосування самохідного (нерейкового) обладнання в підземних рудниках", а також вимог інструкцій з монтажу, експлуатації та технічного обслуговування для кожного з застосовуваних типів обладнання. Експлуатація видобувного,

прохідницького і транспортного устаткування повинна здійснюватися згідно з посадовими інструкціями з техніки безпеки, для робітників за професіями та видами робіт. Ремонт, збірка і розробка устаткування повинні проводитися відповідно до вимог техніки безпеки при веденні ремонтно-монтажних і такелажні роботи. На комбайнах та інших машинах, і механізмах повинні діяти передпускові і світлові сигнали, які повинні сповіщати про майбутній пуск устаткування за 10-15 секунд.

Операції пов'язані з технічним оглядом і усунення несправностей, а також підготовкою технологічного обладнання до роботи, повинні виконуватися тільки при знятій напрузі. У міру відпрацювання камер, вільний доступ людей в них повинен бути виключений, а горловини камер з боку виїмкових штреків перекриті ґратчастими огорожами, з боку вентиляційних штреків глухими перемичками. Все ліквідовані гірничі виробки необхідно відобразити на планах гірничих робіт відповідно до діючої інструкції з виробництва маркшейдерських робіт. Все солеспускі, вентиляційні та технологічні свердловини повинні бути огорожені і перекриті. Проектований ділянка повинна бути сучасно включений в план ліквідації аварій рудника №3.

## 5.6 Протипожежний захист

Протипожежний захист гірничих виробок і обладнання виконанується на підставі технологічної частини проекту і відповідно до "Єдиних правил безпеки при розробці рудних і розсипних родовищ підземним способом" і "Інструкції з безпечного застосування самохідного (нерейкового) обладнання в підземних рудниках".

Всі гірничі виробки проекрованої ділянки пройдені в стійких породах, які не схильні до самозаймання, без кріплення. Добувається з корисними копалинами пальне. Виділення метану та інших горючих газів в виробках рудника не спостерігалось. Тому передбачається установка засобів пожежогасіння в гірничих виробках, в яких розміщується пожежонебезпечна

обладнання та матеріали. У виробках, обладнаних стрічковими конвеєрами з не вогнестойкими конвеєрними стрічками, у приводних і натяжних головок (з боку надходження свіжого повітря) на відстані 3-5 м від головки і через кожні 100 м по довжині конвеєра встановлюються протипожежний щит з двома ручними вогнегасниками та ящик з піском ємністю 0,2 м<sup>3</sup>.

Крім того, передбачено розміщення протипожежних засобів в гірських виробках біля електричних машин, підстанцій і апаратури. Все самохідне обладнання (вагони 5BC-15M, машини 1BOM, 1ВЛГ) комплектуються засобами пожежогасіння згідно з вимогами "Інструкції з безпечного застосування самохідного (нерейкового) обладнання в підземних рудниках". Як ручних вогнегасників проектом передбачено вогнегасник типу ОПШ-10, призначений для ліквідації пожеж класу А, В, С для гасіння електроустаткування, що знаходиться під напругою до 1140 В. Для запобігання ручних вогнегасників та іншого протипожежного обладнання від агресивної дії кам'яної солі, їх закріплюють на дерев'яних щитах, які прикріплюються до стін виробок.

## ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи вирішено актуальне завдання обґрунтування доцільних параметрів камер при вийманні солі в умовах Артемівського родовища при яких би було підвищено коефіцієнт вилучення запасів і забезпечено стійкість в довготривалому періоді.

З аналізу стану підприємств ДП Артемсіль і останніх тенденцій видобутку солі в світі сформовано основні перспективні шляхи удосконалення технологічних параметрів видобутку. Запропоновано підвищувати коефіцієнт вилучення запасів кам'яної солі за рахунок зміни геометричних параметрів очисних камер. При цьому обґрунтовано доцільність врахування реологічних параметрів корисної копалини і небезпеку проривів води зі стелини і підшви пласта.

Проведено аналіз літератури, спрямований на пошук світового досвіду вирішення схожих задач, що дало можливість обрати метод дослідження. Обрано метод скінчених елементів. В якості критерію обрано силовий критерій. Прийнято в якості робочої першу теорію міцності.

Встановлено, що зміна форми камери істотно впливає на розподіл напружень на контурі виробки й у масиві. З точки зору стійкості контуру виробки найбільш раціональної є еліпсоїдна форма виробки із співвідношенням висоти і ширини камери рівним співвідношенню вертикальної і горизонтальної компонент напружень в масиві.

При еліпсоїдній формі камер і розмірі цілика 12 і більше метрів руйнування його відбуватися не буде, і система буде стійкою. Коефіцієнт вилучення солі при цьому становить 0,4, що на 7% вище базового варіанту. При розмірі цілика менше 7 м спостерігатиметься його руйнування відразу після виїмки камери. Альтернативним варіантом, який пропонується в роботі, є залишення ціликів не стрічкового типу, а окремо розташованих опор (стовпів).

Наведено вимоги охорони праці і заходи з техніки безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пояснительная записка 1075/09-01-ПЗ. Подготовка и отработка участка № 4 г. Артемовск 2015.
2. Пермяков Р.С. Технология добычи солей. М.: Недра, 1981. 371 с.
3. Зильбергимит В.Г. Технология подземной разработки калийных руд. М.: Недра, 1977. 287 с.
4. Ковтун В.Я. и др. Пути совершенствования технологии комбайновой выемки. В кн.: «Повышение эффективности разработки Верхнекамского калийного бассейна». Пермь, 1986. С. 71-84.
5. Ковалев О.В. и др. Некоторые вопросы разработки сближенных пластов на калийных месторождениях. В сб. трудов ВНИИГ. Л., 1977. С. 33-36.
6. Захваткин Л.Н., Шитиков В.П. Опыт разработки сближенных пластов пильного известняка. Кишинев, 1989. 46 с.
7. Схема рациональной отработки Солотвинского месторождения каменной соли. УкрНИИСоля–Артемовск, 1991. 94 с.
8. Кошелев К.В. и др. Соляная промышленность Польской народной республики. М.: ЦНИИТЭИПИЩЕПРОМ, 1969. 31 с.
9. Ещенко А.Н. и др. Руководство по проектированию технологии машинной выемки каменной соли. Артемовск: ВНИИСоля, 1990. 156 с.
10. Вдосконалення технології розробки потужних пластів кам'яної солі в умовах ДВО "Артемсіль": Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / С.М. Пирін ; Держ. вищ. навч. закл. "Донец. нац. техн. ун-т". — Донецьк, 2007. — 23 с. — укр.
11. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
12. Геомеханические процессы в породных массивах : монография / А.Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е.А. Сдвижкова; Под общ. ред.: А.Н.

Шашенко ; Нац. горн. ун-т, Ун-т науки и технологий. – Днепропетровск : НГУ, 2005. – 319 с.