

УДК 622.272.001.57  
№ держреєстрації 0107U000375  
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

49000, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19  
тел./факс: (0562) 47-32-09, телекс 14-34-57 AGAT SU  
E-mail: homenkoO@nmu.org.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
д-р техн. наук, професор  
\_\_\_\_\_ О.С. Бешта  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2008 р.

**ЗВІТ**  
**З НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ**

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУ СТІЙКОСТІ ВИРОБОК У**  
**ДРІБНОШАРУВАТОМУ МАСИВІ З УРАХУВАННЯМ ПРОГРЕСИВНИХ**  
**СИСТЕМ РОЗРОБКИ**

**по темі ГП-391**

**(заключний)**

Начальник НДЧ,  
канд. техн. наук, доц.

О.Є. Хоменко

Завідуючий кафедрою ПРР,  
науковий керівник,  
д-р техн. наук, проф.

В. І. Бондаренко

2008

Рукопис закінчений  
Результати роботи розглянуті Вченою радою, протокол від

2008 р.  
№

**СПИСОК АВТОРІВ**

Науковий керівник, гол. наук. співр., д-р техн. наук, проф.	В.І. Бондаренко (розділи 1-8, висновки)
Відповідальний виконавець, гол. наук. співр., д-р. техн. наук, проф.	І.А. Ковалевська (розділи 1-8, висновки)
Д-р техн. наук, проф.	Г.А. Симанович (розділи 1-8, висновки)
Старший науковий співробітник	В.В. Фомичов (розділи 1-8)
Науковий співробітник	О.К. Малова (оформлення графічної частини)
Науковий співробітник	В.І. Мальченко (вступ, розділ 1)
Науковий співробітник	О.Р. Мамайкін (розділи 1.1, 4.4, 5.2, 7, 8)
Науковий співробітник	М.М. Кононенко (вступ, розділи 1-2)
Молодший науковий співробітник	Д.В. Мальцев (розділи 1, 3, висновки)
Молодший науковий співробітник	О.А. Гайдай (оформлення графічної частини)
Інженер	О.І. Коваль (вступ, розділ 1, висновки)

Інженер II категорії	Н.М. Марченко (оформлення звіту)
Інженер I категорії	Г.В. Ярошевська (оформлення звіту)
Старший лаборант	П.М. Сирота (оформлення звіту)
Лаборант	Т.Я. Сухойван (редагування матеріалу)
Лаборант	О.С. Лопатіна (вступ, розділ 1)
Лаборант	Н.С. Лопатіна (розділ 1)
Лаборант	О.С. Лопатіна (вступ, розділ 1)
Нормоконтролер	Л.О. Савостенко

## РЕФЕРАТ

**Звіт з НДР:** 132 с., 55 рис., 2 табл., 83 джерела, 4 додатка.

*Об'єкт досліджень* – підготовчі пластові виробки при прогресивних системах відпрацювання пологих вугільних пластів.

*Метою роботи* є підвищення стійкості підготовчих виробок у дрібношаруватому масиві слабких порід на базі встановлення закономірностей взаємовпливу геомеханічних параметрів елементів системи «шаруватий масив-кріплення виробки».

При виконанні НДР використовувалися аналіз і узагальнення сучасних досліджень геомеханічних процесів навколо гірничих виробок найбільш прогресивним чисельним методом – методом кінцевих елементів. Використані також наступні комп'ютерні програми: побудова моделей – програма Solid Works 2005; розрахунок НДС елементів системи «шаруватий масив-кріплення штреку» – додаток Desaim Star; врахування анізотропії матеріалів – програма Cosmos-M.

На основі виконаних досліджень отримані наступні результати роботи:

- виконаний аналіз аналітичних і чисельних методів напружено-деформованого стану вміщуючих виробку порід і її кріплення, обґрунтований вибір методу досліджень – метод кінцевих елементів;
- розроблена й обґрунтована геомеханічна комп'ютерна модель досліджень НДС шаруватого масиву слабких порід навколо пластової виробки;
- отримані закономірності впливу структури шаруватої породної товщі на НДС елементів системи «шаруватий масив-кріплення виробки»;
- встановлені закономірності зв'язку деформаційних характеристик шарів вуглевміщуючої товщі з НДС системи;
- визначені параметри зон граничного стану породного масиву навколо пластової виробки.

Представлені у звіті матеріали послужать основою для розробки інженерного методу розрахунку параметрів системи «шаруватий масив-кріплення ви-

робки» і розвитку ресурсозберігаючих технологій підвищення стійкості пластових виробок.

Дослідження з даної тематики проводяться в НГУ з 1990 року й спрямовані на підвищення стійкості підземних виробок у слабких породах тонкошаруватого масиву.

Представлені у звіті результати досліджень отримані вперше й відрізняються більш повним урахуванням гірничотехнічних і гірничо-геологічних факторів при комп'ютерному моделюванні процесів зрушення породного масиву слабких порід у порожнину виробки, що підвищить вірогідність прогнозу проявів гірського тиску і якість проектних рішень.

Прогнозні допущення щодо розвитку об'єкта досліджень – розробка ресурсозберігаючих конструктивно-технологічних схем проведення, кріплення й підтримки пластових виробок у слабких гірських породах.

ПЛАСТОВА ВИРОБКА, ШАРУВАТИЙ МАСИВ, СЛАБКІ ПОРОДИ,  
КРІПЛЕННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТОД МКЕ, НАПРУЖЕННЯ,  
РОЗРАХУНОК

## ЗМІСТ

Вступ .....		8
1 Аналіз підходів до прогнозу зрушення породного масиву в порожнину виробки .....		10
1.1 Дослідження здимання слабких порід підосви гірничої виробки .....		10
1.2 Застосування аналітичних і чисельних методів для визначення НДС системи «гірський масив-кріплення» .....		15
2 Обґрунтування геомеханічної моделі визначення напружено-деформованого стану системи «шаруватий масив-кріплення виробки» .....		23
3 Оцінка впливу структури порід вуглевміщуючої товщі на напружено-деформований стан системи «шаруватий масив-кріплення штреку» .....		32
4 Визначення закономірностей зв'язку напружено-деформованого стану системи з деформаційними характеристиками шарів вуглевміщуючої товщі .....		57
4.1 Методика досліджень .....		57
4.2 Тенденції зміни напруженого стану порід покрівлі пластової виробки .....		58
4.3 Особливості зміни напруженого стану порід у боках пластової виробки .....		63
4.4 Особливості зміни напруженого стану порід підосви пластової виробки .....		72
4.5 Характер зміни напруженого стану рамного кріплення пластової виробки .....		73
5 Визначення закономірностей зміни напружень у покрівлі й підосві виробки при збільшенні глибини розробки .....		78
5.1 Дослідження змін напружень у породах покрівлі виробки .....		78
5.2 Дослідження змін напружень у породах підосви виробки .....		79
6 Дослідження зв'язку поля напружень у боках виробки з геомеханічними параметрами вуглевміщуючої товщі .....		97

7	Оцінка впливу глибини розробки на поле напружень у рамному кріпленні пластової виробки .....	109
8	Дослідження закономірностей формування параметрів зони граничного стану в шаруватому масиві слабких порід і напруженого стану кріплення .....	110
	Висновки .....	117
	Перелік посилань .....	119
Додаток А	Витяг із протоколу засідання кафедри підземної розробки родовищ .....	127
Додаток Б	Витяг із протоколу засідання ради з наукового напрямку «Гірнича справа» НГУ .....	129
Додаток В	Рецензія доктора технічних наук, декана гірничого факультету НГУ .....	131
Додаток Г	Рецензія доктора технічних наук, зав. відділом ІГТМ НАН України В.П. Надутого .....	132

## ВСТУП

У роботі викладені результати дослідження закономірностей розвитку поля напружень у системі «шаруватий масив-кріплення виробки» залежно від її геомеханічних параметрів. На першому етапі проаналізовані всі основні фактори, що впливають на напружено-деформований стан (НДС) системи й дана їм оцінка відповідно до гірничо-геологічним й гірничотехнічними умовам, наприклад, шахт Західного Донбасу. Для цього виконане геомеханічне обґрунтування моделі по ряду головних вихідних параметрів і діапазонів їхньої варіації:

- глибина розташування пластового штреку і його розміщення щодо вугільного пласта;
- структура вуглевміщуючої товщі прилеглих породних шарів, інтервал зміни їхніх механічних характеристик і властивостей вугільного пласта;
- гірничотехнічні параметри самого пластового штреку: форма й розміри виробки, тип і параметри кріплення, закріпного простору і їхні механічні характеристики;
- дослідження НДС тестових геомеханічних моделей на предмет обґрунтування їх розмірів за умовою стабілізації компонент напружень на границях моделі відповідно до вихідного негідростатичного стану;
- тестування геомеханічних моделей на предмет якісної відповідності їх НДС сучасним уявленням і результатам досліджень процесів зрушення породного масиву навколо гірської виробки;
- геомеханічне обґрунтування умов контакту по площинах нашарування породних шарів вуглевміщуючої товщі.

Загальновідомо, що найбільш застосовні чисельні методи рішення подібного класу складних геомеханічних задач, незважаючи на високу їхню точність, не мають спільності цього рішення. Тому необхідний методологічний підхід до рішення даної задачі, метою якого є пошук сполучення умов найбільш широкої області застосовності результатів досліджень із умовою мінімально припустимого об'єму обчислень по перебору різних варіантів сполучення геометричних, механічних і силових параметрів системи «шаруватий масив-кріплення вироб-



ки». Причому другу умову виконати досить складно, тому що для підвищення адекватності результатів рішення реальним гірничо-геологічним і гірничотехнічним умовам необхідно аналізувати велику кількість змінних параметрів у всьому діапазоні їхньої варіації. Тому на другому етапі досліджень виконане геомеханічне обґрунтування структури вуглевміщуючої товщі порід навколо пластового штреку, що найбільш адекватно відображає гірничо-геологічні умови робочих пластів шахт Західного Донбасу. Отримані НДС ряду моделей структури вуглевміщуючої товщі при змінних механічних характеристиках породних шарів і різній глибині розробки. За результатами розрахунків НДС обґрунтована найбільш адекватна модель структури вуглевміщуючої товщі.

На третьому етапі досліджені закономірності зміни НДС системи, викликані варіацією деформаційних характеристик породних шарів у встановленому для умов Західного Донбасу інтервалі для обґрунтованої на другому етапі геомеханічної моделі.

# 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПРОГНОЗУ ЗРУШЕННЯ ПОРОДНОГО МАСИВУ В ПОРОЖНИНУ ВИРОБКИ

## 1.1 Дослідження здимання слабких порід підшоши гірничої виробки

У роботі [1] відзначається надзвичайна актуальність забезпечення стійкості основних підготовчих виробок шахт Західного Донбасу, де необхідність у ремонті зазнають до 50% їхньої довжини. Особливо негативно на стійкість виробок впливає здимання підшоши, внаслідок чого у ВАТ «Павлоградвугілля» у різні роки здійснювалася підривка підшоши сумарною довжиною більш 130 км, ремонт рейкового шляху – близько 180 км із зайнятістю до 10,4% від всіх підземних робітників на зазначених операціях [1]. Особливо тяжкі умови підтримки виробок спостерігаються на глибинах розробки  $H = 400...600$  м [2, 3]. При цьому пропонується кілька напрямків рішення проблеми здимання підшоши: зміцнення приконтурних порід, їхня ізоляція від несприятливого впливу вологи, застосування раціональних конструкцій рамних кріплень [4, 5].

У роботі [6] запропонований ймовірнісний підхід до оцінки стійкості основних підготовчих виробок на шахтах Західного Донбасу. За критерій стійкості виробок автором прийняте відношення критичного радіуса зони граничного стану до поточного радіуса цієї зони, що змінюється по довжині виробки. Однак у роботі [7], показано, що величина радіуса зони граничного стану у високому ступені залежить від параметрів позамежної стадії деформування породи: в основному від модуля спаду й залишкової міцності породи на стиск. Той самий радіус зони може мати місце при різних комбінаціях міцнісних і деформаційних характеристик повної діаграми деформування породи. При цьому однакове значення даного радіуса не завжди припускає одну й ту саму величину зсуву породного контуру виробки, у тому числі і її підшоши.

Крім того, відносне об'ємне розпушення породи не є величиною постійною й залежить від співвідношення компонентів головних напружень  $i$ , у загальному випадку, від величини деформації елементарного об'єму на стадії розпушення [7]. В аналізованому дослідженні використані результати аналітично-

го рішення плоскої задачі напружено-деформованого стану (НДС) однорідного гірського масиву навколо круглого отвору. У дійсності практично будь-яка виробка не кругового обрису проходиться в шаруватому різнорідному масиві зі змінними механічними характеристиками породних шарів, дискретно встановленої (уздовж виробки рамним кріпленням), зтягуванням, забутованим закріпним простором і нерівномірними по контуру параметрами силової взаємодії. Отже, даний підхід у значній мірі ідеалізує об'єкт математичного експерименту. Однак при вдосконалюванні математичної моделі за рахунок врахування реальних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов, одержувані результати можуть мати високий рівень адекватності.

У гірничо-геологічних умовах шахт ДХК «Добропіллявугілля» величина здимання поза зоною впливу очисних робіт відносно невелика [8]. У той же час встановлено, що на інтенсивність прояву гірського тиску значно впливає природна тріщинуватість масиву і її просторова орієнтація стосовно напрямку проведення виробки.

У роботі [9] відзначається, що стійкість виробки залежить, крім іншого, від епюри розподілу навантаження по контуру кріплення. Запропоновано кілька способів керування епюрою навантаження, зокрема, за допомогою анкерів і кріплень змінної жорсткості. У цьому напрямку інститутами ДГШ, НГУ, ІГТМ НАН України й ін. виконаний значний обсяг технічних розробок:

– з 80-х років минулого сторіччя зареєстрований ряд авторських свідоцтв на винахід, сутність яких зводиться до регулювання НДС рамного кріплення за допомогою анкерів [10-13], або створення бетонних, набризкбетонних і металобетонних кріплень змінної жорсткості [14-18];

– проведені дослідження регулювання НДС рамного кріплення за допомогою анкерів у напрямку досягнення її рівномірності [19-22];

– розроблені рекомендації з керування НДС бетонних, набризкбетонних і металобетонних кріплень і оптимізації їх параметрів [19-21, 23-26];

– виконані дослідження з керування епюрою навантаження на кріплення виїмкового штреку за допомогою податливої частини литої охоронної смуги

[27, 28].

Інша сторона досліджуваного питання полягає в тім, що в міру деформування системи «масив-кріплення» епюра навантаження на кріплення змінюється відповідно до мінливих умов взаємодії контакту елементів системи. Як відомо, врахування цього процесу найбільш адекватно відображає метод розрахунку кріплення в режимі спільного деформування [29, 30], що припускає дослідження силової взаємодії кріплення з вміщуючим виробку масивом, як єдиної взаємозалежної й взаємовпливової системи.

У цьому випадку цікавий ймовірнісний підхід до визначення просторової епюри навантаження на кріплення протяжної виробки [31]. Однак використання запропонованої методики в практичних цілях на даному етапі розвитку дослідницьких технологій важке, оскільки існує ряд технологічних обмежень, пов'язаних з реалізацією натурного моніторингу стану поздовжнього й поперечного перерізу реальної гірничої виробки. Внесені, таким чином, у розрахунок початкові похибки можуть у значній мірі впливати на точність одержуваних результатів.

Процес здимання підосви основних підготовчих виробок проявляється, у тому або іншому ступені, у багатьох регіонах Донбасу. Найбільше інтенсивно цей вид проявів гірського тиску має місце в Західному Донбасі, де його негативний вплив позначається не тільки на деформуванні кріплення, зменшенні перетину виробок (вентиляція, водовідлив), але й на засобах транспорту (не дотримуються мінімально припустимі зазори, максимально припустимі кути нахилу рейкового шляху, і в ряді випадків відбувається його руйнування) [32]. Наводяться дані, що більш 40% виробок вимагають кількарізових ремонтів і перекріплень протягом періоду їхньої експлуатації [33, 34].

Цікава пропозиція [35] щодо боротьби з здиманням, сутність якого зводиться до формування в підосві виробки ущільненої й розпушеної зон. Ідея полягає в тім, що ущільнена зона за рахунок підвищених міцнісних властивостей гірських порід відіграє роль вантажонесучої конструкції, а розпушена зона поглинає частину переміщень порід підосви, що здимаються і збільшуються в

об'ємі. На жаль, в [35] для проведення математичного експерименту використана спрощена розрахункова модель, що дозволяє оцінити узагальнений показник стійкості порід підшоши виробки. Однак не враховує всі особливості конструктивно-технологічної схеми спорудження, що неминуче вносить свої виправлення в одержуваний результат. Процес здимання торкає досить глибинних шарів підшоши виробки й для компенсації їхнього збільшення в об'ємі демпферна зона повинна бути істотно розпушена (у роботі [35] прийнятий коефіцієнт розпушення 1,25). Оцінка прийнятних параметрів зони розпушення, таким чином, стає класичною задачею багатокритеріальної оптимізації, рішення якої вимагає тривіального підходу. У цьому розумінні запропонована схема розрахунків є початковим наближенням, що дозволяє в майбутньому одержувати високоточні рішення на основі чисельного моделювання, що, швидше за все і є кінцевою метою авторів. Методика проведення експериментів з моделювання на еквівалентних матеріалах, описана автором при визначенні з її допомогою кількісних показників досліджуваного середовища, має ряд недоліків, хоча, треба визнати, що забезпечує можливість одержання адекватного якісного результату експерименту.

У роботі [36] розглядається «біфуркаційний» підхід щодо дослідження стійкості порід підшоши виробки, що припускає наявність двох форм рівноваги приконтурних порід. За наведеними результатами розрахунків можна зробити лише припущення, що другою формою втрати стійкості (перша – перевищення напруженнями міцнісних характеристик породи) є загальновідомою з будівельної механіки втрата стійкості стислого стрижня, роль якого в цьому випадку грають породні шари підшоши. Такий підхід добре відомий, але не дозволяє розглядати здимання у вигляді процесу як domeжового, так і поза domeжового деформування приконтурного масиву з проявом ефекту розпушення.

Є відомості [37], що підтверджують надзвичайну актуальність проблеми боротьби з здиманням порід підшоши: частка витрат на підтримку виробок досягає 15% у собівартості видобутку вугілля, а 45% всіх виробок, що вимагають ремонтно-відбудовчих робіт обумовлені проявом здимання. Тут пропонується

критерій оцінки стійкості прилеглих порід за «критичним» радіусом зони непружних деформацій, так само розглянутому в роботі [39]. У той же час автор [6] покритикував використання даного критерію при аналізі досліджень і, базуючись на його висновках, варто прийняти, що найбільш об'єктивною оцінкою НДС системи «кріплення-масив» може служити величина зсувів породного контуру виробки, у тому числі і її підосви. Відповідно до загальноприйнятих норм при проведенні прикладних досліджень критерій оцінки стійкості виробки повинен мати ясний, не завуальований фізичний зміст у вигляді числових значень безпосередніх проявів гірського тиску (епюри навантажень на кріплення або зсувів породного контуру виробки), як це здійснюється в нормативних документах [39-41].

Заслуговує на увагу модель опису реальної структури вуглевміщуючої товщі, створення [37, 42], стосовно до умов шахти «Белозерська» ДХК «Добропільявугілля». На жаль, у цілому гарний підхід до рішення поставленої задачі, має один недолік – форма поверхні здимаючої підосви, не відшукується в результаті рішення задачі, а заздалегідь задається як гранична умова.

У деяких роботах з проблеми здимання підосви висловлюється негативне відношення до анкерного кріплення. У цьому разі досить показові позитивні результати шахтних досліджень зсувів породного контуру 951 бортового ходка шахти ім. Героїв Космосу ВАТ «Павлоградвугілля» [43]. Металева рамна подавляюча кріплення КШПУ була посилена в покрівлі трьома анкерами, що сприяло зниженню величини здимання до 2,6 разів. Таким чином, простежується взаємовплив всіх областей масиву навколо виробки на процес здимання підосви.

Робота [44] становить інтерес у частині обґрунтування припустимої (критичної) величини здимання підосви, при якій ще можлива відносно нормальна експлуатація виробки. Тут наведений огляд ряду робіт [40, 45-48], які рекомендують приймати критичну величину здимання, рівної 0,2...0,3 м. Аналітичні дослідження з визначення залежності параметрів здимання від геомеханічних і гірничотехнічних факторів, запропоновані авторами, не зовсім точно описують реальний стан системи «гірський масив-кріплення», допускаючи ряд спрощень

розрахункової схеми, кожне з яких можливо й не робить значного впливу на точність одержуваних результатів. Але сукупність подібних спрощень може призвести до перекручування як кількісного, так і якісного результату розрахунку. Наприклад, для всіх варіантів розрахунку обраний ідеально круглий перетин виробки, хоча експлуатація реальних виробок указує на значний вплив форми поперечного перерізу виробки на НДС приконтурного гірського масиву.

Інструментальні спостереження [49] при проведенні 951 бортового ходка шахти ім. Героїв Космосу показали закономірність зниження величини й швидкості здимання підосви при збільшенні поперечного перерізу виробки. Ця закономірність обумовлена, на наш погляд, збільшенням площі нижньої частини перетину виробки, що заповнюється породою. Тоді усереднена (по ширині виробки) висота підняття підосви буде меншою при постійному об'ємі порід, що видавлюються.

## **1.2 Застосування аналітичних і чисельних методів для визначення НДС системи «гірський масив-кріплення»**

Особливості рішення задач геомеханіки можна виділити в три основні групи [50, 51]:

– врахування будови гірських масивів, пов'язане з наявністю в них породних шарів, що істотно розрізняються за механічними властивостями, розділеними різними поверхнями природної тріщинуватості з різним зчепленням і тертям по цих поверхнях;

– у ході рішення задачі доводиться враховувати не тільки пружно-пластичне деформування, але й так звані стадії знеміцнення й розпушення в певних областях гірського масиву;

– геомеханічні процеси в гірському масиві залежать від реологічних характеристик породних шарів, розмірів і взаємного розташування гірничих виробок, їхньої зміни в часі й просторі при веденні гірничих робіт.

Тому для рішення задач геомеханіки необхідно одержати наступну інформацію:

- склад, геометрію й фізико-механічні характеристики досліджуваного гірського масиву;
- види й величини механічних впливів, прикладених до певних геометричних областей породного масиву;
- рід задачі, що підлягає чисельному дослідженню (розподіл напружень і деформацій, або переміщення й руйнування деякої ділянки породного масиву й т.п.).

На основі представлених даних формується розрахункова схема, від якої визначає вибір способу рішення конкретної геомеханічної задачі. Таким чином, складається система математичних рівнянь, що виражають співвідношення заданих і шуканих величин, що повинна бути вирішена до одержання кінцевого значення. На жаль, як уже було сказано раніше, у більшості випадків не можливо одержати числовий результат використовуючи тільки аналітичне рішення. У ряді завдань доводиться вдаватися до допомоги чисельних методів, що дають неточне рішення в межах певної похибки [ 52-54].

Оскільки формування розрахункових схем для задач геомеханіки пов'язане з необхідністю опису великої кількості нерегулярних параметрів і складних граничних умов, дослідники прибігають до змушеного спрощення в постановці задачі з метою зниження розмірності рівнянь, що описують систему, і функцій, що враховують особливості початкового навантаження й геометрії. Оскільки, таким чином, уже вноситься достатня погрішність у розрахункову схему – стає цілком виправданим широке застосування чисельних методів у задачах механіки гірських порід.

Якщо на ранніх стадіях розвитку чисельних методів вважалося можливим одержання з їхньою допомогою для задач геомеханіки тільки якісних результатів [51], то з розвитком самих чисельних методів та уявлень про напружено-деформований стан гірського масиву стає можливим одержання не тільки адекватних якісних, але й у достатній мірі точних кількісних результатів [50].

Все різноманіття розрахункових схем можна представити як комбінацію трьох основних класів:



– геометричні ознаки: поняття плоского або просторового рішення; наявність або відсутність симетрії; використання однозв'язкових, двох- і багатозв'язкових областей і т.п.;

– зовнішні впливи й механічні властивості породного масиву й інженерних конструкцій: статичний або динамічний додаток навантажень; врахування фільтрації рідини й газу; врахування перепаду температур; ізотропне, ортотропне або анізотропне середовище; пружна, пружно-пластична, або в'язко-пластична деформація масиву без або з урахуванням його знеміцнення й розпушення й т.д.;

– конструктивно-технологічні особливості спорудження, охорони й функціонування виробок: конструктивно-технологічна схема проведення виробок; послідовність ведення підготовчих і очисних робіт; види виробок і способи їх охорони, а також конструкція й режим роботи кріплення.

Кожний клас розрахункових схем породжує окремий підхід у формуванні математичної моделі, а комбінація факторів, що враховуються, дозволяє ускладнювати або спрощувати пропоноване рішення. Тому історично можна спостерігати картину поетапного ускладнення математичних моделей, використовуваних у завданнях геомеханіки, обумовлене ростом продуктивності засобів обчислень, з одного боку, і ускладнення умов експлуатації підземних споруджень, з іншої сторони.

Тому у свій час широке застосування знайшли аналітичні методи, за допомогою яких одержували певне математичне рішення, що дає можливість попередньої оцінки поведінки гірського масиву при простих схемах навантаження, без урахування конструктивно-технологічних особливостей функціонування досліджуваної системи й в умовах однорідності розрахункової області. Незважаючи на широкий розвиток подібних методів, всі вони страждають загальним недоліком, що змушує ще на етапі створення розрахункової схеми прибїгати до спрощень, які негативно відображаються на точності кінцевого результату.

Класифікація розрахункових схем по фактору конструктивних і режимних особливостей використовуваних типів кріплення наведена в роботі [15].

Усього виділено шість основних розрахункових схем, для кожної з яких пропонується власна методика рішення. Варто відразу обмовитися, що умови взаємодії кріплення виробки з гірським масивом представлені у вигляді зовнішніх навантажень, доданих до ідеалізованих елементів кріплення. Безумовно, такий підхід забезпечує числове рішення задачі. Зокрема, до методики розрахунку анкерного кріплення є ряд зауважень. Основною характеристикою анкерів приймається їх власна несуча здатність. При цьому розрахунки виконуються окремо для анкерів замкового й беззамкового типу. Запропоновані формули враховують тільки контактні характеристики елементів анкерного кріплення. Подібна розрахункова схема вкрай ідеалізована, оскільки не враховує особливості механізму взаємодії анкерів з навколишнім масивом, що дозволяє розглядати одержувані значення як показники граничної стійкості кріплення при рішенні задач у пружній постановці.

У роботі [56] представлена методика розрахунків різних типів кріплення, що базується на методі коефіцієнтів передачі навантажень. Контактна задача взаємодії кріплення й гірського масиву розглядається в плоскій пружній постановці при наявності хоча б однієї осі симетрії. При цьому кріплення й масив, що примикає до неї, розглядаються як сукупність кілець, правильної або неправильної форми, концентрично зв'язані один з одним. У загальній постановці рішення задачі виконується для однорідного ізотропного масиву, однак для певного класу задач приводиться методика врахування неоднорідності масиву й кута падіння породних шарів.

Гірський масив представляється у вигляді зовнішнього кільця нескінченного радіуса. Кожне внутрішнє кільце є під впливом напружень, що діють на зовнішньому й внутрішньому контурах. У результаті виникають тангенціальні й нормальні напруження, на основі значень яких виконується перевірка кожного шару на міцність. При розрахунку кріплення за допомогою коефіцієнтів передачі навантажень використовують дві модифікації розрахункових схем: схема розрахунку по еквівалентних напруженнях (початкові напруження додаються до зовнішнього контуру зовнішнього кільця); схема розрахунку по напруженням, що

знімаються (додаються до внутрішнього контуру внутрішнього кільця). Запропоноване аналітичне рішення дозволяє одержувати числовий результат за допомогою програмного продукту, створеного на основі запропонованої методики.

Для визначення напружено-деформованого стану масиву гірських порід у роботі [57] автори запропонували кілька розрахункових схем. Відмінною рисою яких є розгляд виробок і їхнього кріплення як єдиного фактора, що обурює поле напружень в однорідному масиві. При цьому особлива увага приділялася динамічним характеристикам зміни НДС в об'ємній системі з певними механічними порушеннями (тріщинуватість, поверхні ослаблення й т.п.). Запропоновані методи рішення дозволяють одержувати розподіл напружень гірського масиву з урахуванням зон domeжового й позаomeжового деформування навколо виробок.

Приведемо алгоритм визначення НДС породного масиву в привибійній зоні підготовчої виробки [57]. Припустимо, що напружений стан системи визначається суперпозицією початкових (до проведення виробки) і додаткових (вплив виробки) напружень. Розбиваємо рішення на дві частини визначення напружено-деформованого стану: навколо вже пройденної виробки; поперед вибою виробки. На першому етапі, за рахунок ряду обмежень задача приводиться до плоскої з полярною системою координат. Потім, на основі експериментальних даних, про координати пластичної границі, визначаємо компоненти напружень у пластичній і пружній зонах. На другому етапі, на основі припущення про форму й безперервність пластичної границі обчислюємо параметри зони граничної рівноваги перед вибоєм виробки й на основі отриманих даних обчислюємо напруження. Зайве казати, що подібна схема містить у собі ряд допущень, які при наявності істотних варіацій параметрів гірського масиву й кріплення виробки приводять її до неадекватності одержуваних результатів.

Цікавим підходом у рішенні задач геомеханіки є використання теорії граничної рівноваги. Суть цієї теорії полягає у визначенні критичної величини деякого реального збурювання, при якому система ще зберігає стійкість, а за її межею втрачає стійкість. При наявності в масиві протяжних поверхонь, ослаблений розрахунок проводять із урахуванням визначення можливості його руй-

нування по цих поверхнях. Такий підхід називають рішенням задачі так званої спеціальної граничної рівноваги [58]. У цьому випадку гірський масив розглядається як система породних блоків, взаємодіючих по поверхнях послаблень. На жаль, дана схема практично не враховує вплив конструктивних і режимних параметрів елементів кріплення й, ґрунтуючись на ній, можливо тільки емпіричне визначення параметрів взаємодії «гірський масив-кріплення».

Автором [59] виконаний широкий аналіз математичних методів рішення пружно-пластичних задач для знеміцнених гірських масивів. Пропоновані рішення аналізувалися з погляду адекватності врахування розпушення гірських порід навколо виробок. Більшість рішень виконана в плоскій постановці. Їх основні розходження полягають в способах визначення поведження гірського масиву за межами пружних деформацій. Як відзначає автор, практично у всіх випадках мають місце значні відхилення поведження гірських порід від їхніх описів, використовуваних у розрахункових схемах. Крім того, автор робить висновки про те, що для урахування в рішеннях складних граничних умов, неоднорідності середовища й невизначеності положення пружно-пластичної границі в рішенні задач геомеханіки необхідно використовувати чисельні методи.

Аналіз впливу анкерного кріплення на НДС гірського масиву на підставі рішення плоскої пружної задачі методом кінцевих елементів виконаний у роботі [60]. При проведенні розрахунків анкерне кріплення представлялося як повний конструктивний набір реальних елементів кріплення. Були розглянуті кілька варіантів анкерного кріплення у виробках різної геометрії. Для визначення зон руйнування гірських порід у цьому випадку використовувалися два параметри, що характеризують: можливість виникнення руйнування; можливий режим руйнування. І, хоча в розрахунку відсутня вказівка на структурний склад гірського масиву, авторами показана гарна відповідність між одержуваними якісними результатами й практичними спостереженнями.

Робота [61] повністю присвячена реалізації розрахункових схем задач геомеханіки, заснованих на застосуванні методу кінцевих елементів. Розглянуто варіанти рішень як у пружній (у тому числі при більших переміщеннях), так і в не-

пружній постановці. Запропоновано базові рівняння для рішення задач на основі теорії малих пружно-пластичних деформацій, асоційованої теорії плинину й теорії спадкоємної повзучості. Дана робота може розглядатися як одна з фундаментальних по застосуванню МКЕ для рішення тривимірних задач складної конфігурації з використанням лінійних і нелінійних законів деформування гірських порід. Представлені в роботі результати досить наочні, а їхнє порівняння з аналітичними показало поліпшення точності розрахунку з ростом числа вузлових точок кінцевих елементів.

На прикладі задач, що базуються на пружній постановці, показані розрахункові схеми, використовувані для визначення різних параметрів елементів кріплення виробок. Запропоновано різноманітні варіанти кінцевих елементів, спеціалізовані для конкретних розрахункових схем, показані їхні достоїнства й недоліки.

Дослідження, проведені за допомогою МКЕ в роботі [62], спрямовані на вивчення поведінки гірських порід, ослаблених тріщинами. Зокрема, рішення задачі в тривимірній постановці було виконано для випадку дисковидної тріщини. Розрахункова схема формувалася на основі циліндричної системи координат з урахуванням осьової симетрії щодо площини тріщини. Результати, отримані чисельним методом, порівнювались з результатами аналітичних досліджень. Для різних варіантів рішень відхилення склали не більше 15%. Крім того, показана залежність між неоднорідністю породного шару й тріщинуватістю порід. Ця розрахункова схема цікава тим, що тріщини в ній розглядаються як геомеханічний фактор, включення якого в розрахунок значно впливає на зміну НДС гірського масиву.

При рішенні задач геомеханіки часто використовують і так звані комбіновані чисельні методи. Одним з таких методів є МКЕ – МПП (метод кінцевих елементів – метод початкових параметрів) [50]. МПП дозволяє легко врахувати технологічні й конструктивні особливості кріплення, представляючи її у вигляді стрижневої системи певної конфігурації. Такі елементи зчленовуються із сіткою МКЕ гірського масиву у вузлах, розташованих на поверхні виробки. Цей

підхід дозволяє в певній мірі спростити рішення контактної задачі на границі гірського масиву й кріплення виробки. Однак пропоновані авторами [51, 52] приклади рішення задач були виконані в осесиметричній плоскій постановці, при цьому кріплення приймалося як жорстко пов'язана з контуром породного масиву стрижнева система, що природного не завжди відповідає реальним умовам роботи кріплення.

На закінчення можна сказати, що різноманіття аналітичних рішень і чисельних методів, застосовуваних при рішенні задач геомеханіки, продовжує рости й розвиватися по шляху ускладнення конструктивно-технологічних схем, росту кількості фізико-механічних характеристик гірських порід, що враховуються, і режимних параметрів роботи кріплень і охоронних елементів гірських виробок. При цьому найбільш затребуваним і динамічно розвиваючим залишається метод кінцевих елементів.

## 2 ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОМЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СИСТЕМИ «ШАРУВАТИЙ МАСИВ-КРІПЛЕННЯ ВИРОБКИ»

На першому етапі максимально адекватно реальним умовам змодельоване зрушення шаруватого породного масиву навколо виробки, що визначає процес здимання її підшви. У Західному Донбасі практично повсюдно розповсюджений погоризонтний спосіб підготовки шахтного поля, при якому основними підготовчими виробками є пластові штреки. З погляду максимально широкого охоплення гірничо-геологічних умов більш загальною і складною є геомеханічна модель пластового штреку, проведеного по вугільному пласту і присічкою бічних порід. Аналіз будови й механічних характеристик вуглевміщуючої шаруватої товщі слабких порід навколо пластового штреку дає наступні результати.

По-перше, виконана оцінка розмірів моделі по вертикальній і горизонтальній координатах  $Y$  і  $X$ , які є мінімально достатніми для опису збурювань поля напружень навколо штреку, виходячи з вимоги, щоб компоненти напружень на границях моделі наближалися до вихідного негідростатичного стану ( $\sigma_y = \gamma H$ ,  $\sigma_x = \lambda \gamma H$ ) з точністю до 10%, що цілком припустимо для гірничотехнічних розрахунків. В якості ілюстрації обґрунтування даного пункту на рис. 2.1 і 2.2 наведені компоненти поля напружень у шаруватому породному масиві навколо штреку, представленому: пластом вугілля потужністю  $m^y = 0,7$  м з модулем деформації  $E^y = 0,35 \cdot 10^4$  МПа, коефіцієнтом Пуассона  $\mu^y = 0,35$ , кутом внутрішнього тертя  $\varphi^y = 30^\circ$ ; породними шарами в покрівлі виробки (нумерація шарів проводиться від вугільного пласта)

$$m_1^k = 3 \text{ м}, \quad E_1^k = 0,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_1^k = 0,25, \quad \varphi_1^k = 12^\circ;$$

$$m_2^k = 2 \text{ м}, \quad E_2^k = 0,5 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_2^k = 0,25, \quad \varphi_2^k = 30^\circ;$$

$$m_3^k > 12 \text{ м}, \quad E_3^k = 0,28 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_3^k = 0,25, \quad \varphi_3^k = 20^\circ;$$

породними шарами  $m_i^{\text{П}}$  в підошві виробки

$$m_1^{\text{П}} = 3 \text{ м}, \quad E_1^{\text{П}} = 0,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_1^{\text{П}} = 0,25, \quad \varphi_1^{\text{П}} = 12^\circ;$$

$$m_2^{\text{П}} \succ 14 \text{ м}, \quad E_2^{\text{П}} = 0,28 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_2^{\text{П}} = 0,25, \quad \varphi_2^{\text{П}} = 20^\circ.$$

При цьому кут падіння вугільного пласта прийнятий  $\alpha = 4^\circ$ ; розміри виробки у світлі: радіус склепіння  $r_e = 2,62 \text{ м}$ , висота прямолінійної частини стояка  $h = 0,9 \text{ м}$ ; товщина забутованого закріпного простору  $\delta_3 = 0,2 \text{ м}$  з модулем деформації  $E_3^3 = 2 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ ,  $\mu^3 = 0,49$ ; рамне кріплення із СВП-27. Вертикальне навантаження на верхній межі моделі прийняте  $\sigma_y = \gamma H = 5 \text{ МПа}$ , що приблизно, відповідає глибині закладення виробки  $H \approx 200 \text{ м}$ . На нижній межі моделі вертикальна реакція  $\sigma_y$  враховує  $\gamma H$  плюс вагу моделі. На бічних межах моделі горизонтальне навантаження згідно [55, 59, 63, 64], дорівнює

$$\sigma_x = \lambda \gamma H = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H, \quad (2.1)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона гірської породи;

$\gamma$  – середньозважена об'ємна вага породи.

Величина приведених напружень  $\sigma$  характеризує інтенсивність напруженого стану породного масиву, що за законом Кулона-Мору, загальноприйнятому для гірських порід [19, 23-25], дорівнює

$$\sigma = \sigma_1 - A \sigma_3 = \sigma_1 - \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3, \quad (2.2)$$

де  $\sigma_1$  й  $\sigma_2$  – максимальні й мінімальні головні напруження по елементарному об'ємі;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя гірської породи.



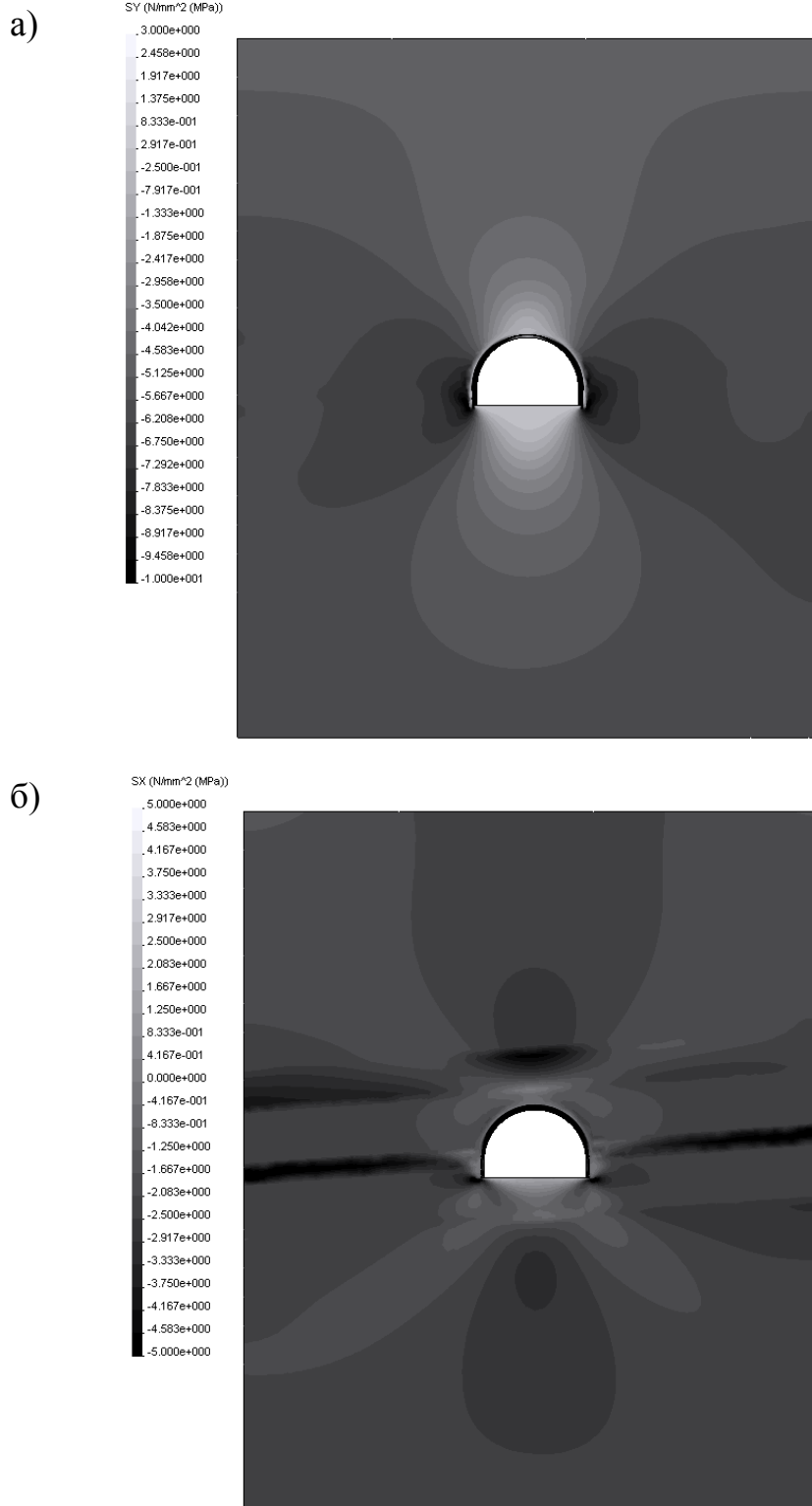


Рисунок 2.1 – Розподіл а) вертикальних  $\sigma_y$  і б) горизонтальних  $\sigma_x$  напружень навколо штреку без порушення контакту між породними шарами

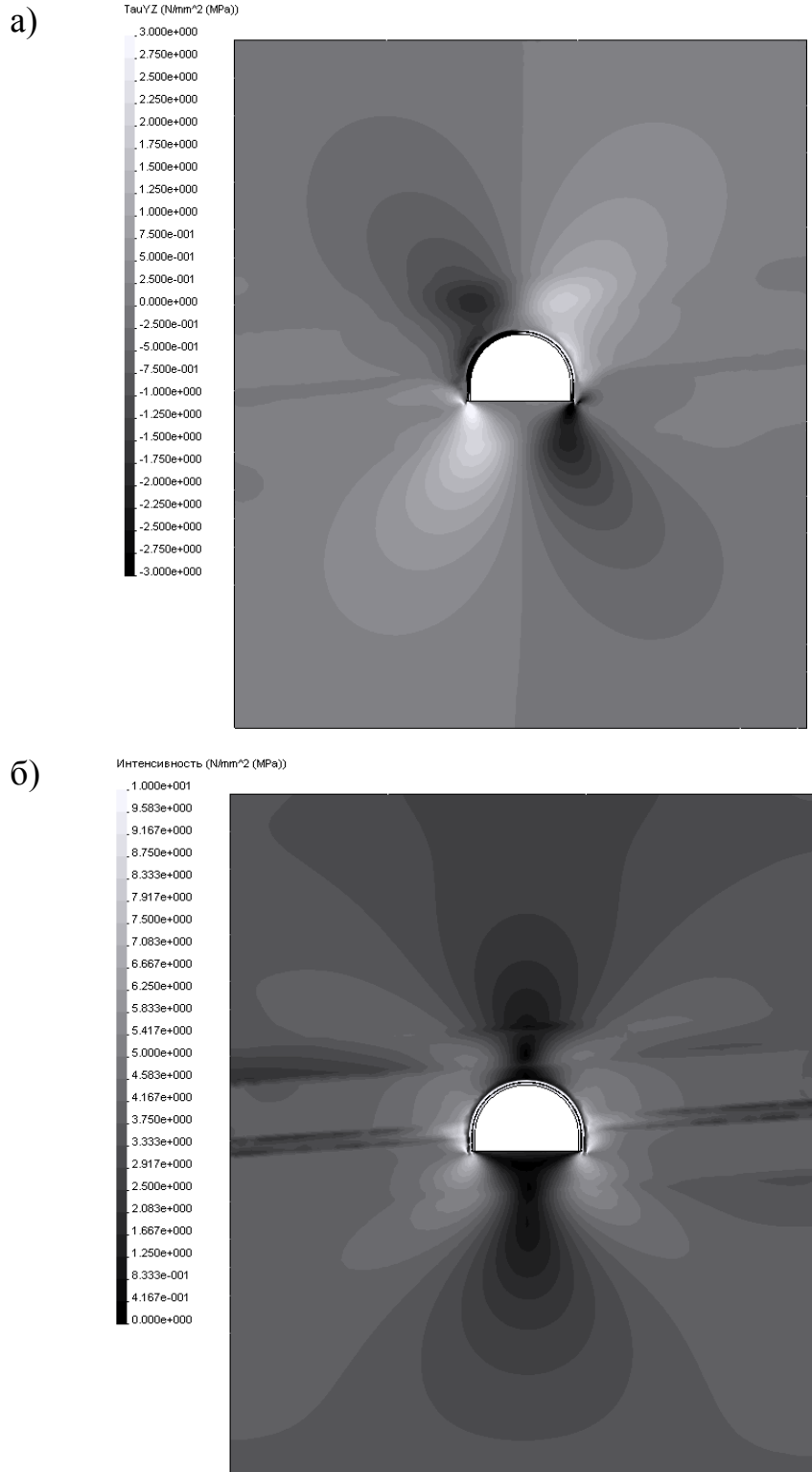


Рисунок 2.2 – Розподіл а) дотичних  $\tau_{xy}$  і б) приведених  $\sigma$  напружень навколо штреку без порушення контакту між породними шарами

В аналізованій моделі центр координатних осей  $Y$  і  $X$  розташований по осі симетрії виробки на висоті  $h$  від її підосви. Вертикальні межі моделі мають координати: верхня  $y = +18$  м, нижня  $y = -18$  м; бічні межі моделі: права  $x = 15$  м, ліва  $x = -15$  м.

Як видно з рис. 2.1,а, уздовж (по координаті  $X$ ) верхньої й нижньої межі моделі встановлюється рівномірний розподіл компоненти  $\sigma_y$ , що відповідає величині  $\gamma H$  недоторканого масиву (5 МПа на верхній межі й 5,9 МПа – на нижній), що вказує на достатність прийнятих вертикальних розмірів моделі. У бочках виробки збурювання  $\sigma_y$  загасають на відстані, набагато меншому бічних меж моделі.

Горизонтальні напруження  $\sigma_x$  повністю стабілізуються тільки на нижній межі моделі (другий породний шар підосви) і дорівнюють  $\lambda\gamma H$  недоторканого масиву (див. рис.2.1, б). На верхній і бічній межах моделі є коливання  $\sigma_x$ , що пояснюється виникненням додаткових згинаючих напружень  $\sigma_x$  від прогину породних шарів у порожнину виробки й не суперечить класичним положенням механіки твердого деформованого тіла. Так, на верхній межі моделі посередині верхнього породного шару виникають підвищені стискаючі напруження всього до 25% від  $\lambda\gamma H$ , що обумовлено його значною потужністю й максимальним видаленням від виробки. На бічних межах моделі кривизна нейтральної осі вигину ближніх до виробки породних шарів (в основному покрівлі) міняє знак і через їхню невелику потужність, коливання  $\sigma_x$  зростають до 100...120% від  $\lambda\gamma H$ . Це явище обумовлене врахуванням шаруватості масиву й (як буде показано надалі) підсилюється при проковзуванні породних шарів друг щодо друга. Також звертає увагу об'єктивно існуючий факт підвищених стискаючих напружень  $\sigma_x$  у вугільному пласті, який володіє більшою жорсткістю й збільшеним коефіцієнтом Пуассона в порівнянні з породними шарами, що характерно для гірничо-геологічних умов Західного Донбасу.

По-друге, по епюрах дотичних  $\tau_{xy}$  і приведених  $\sigma$  напружень проаналізована вірогідність моделі на предмет відповідності класичним уявленням гео-

механіки деформування породного масиву навколо виробки. Дотичні напруження  $\tau_{xy}$  в породному масиві мають збурювання навколо виробки на глибину до  $(3,8...4,0r_g)$ , а на межах моделі практично зникають, що обумовлено малим кутом падіння вугільного пласта ( $\alpha = 4^\circ$ ) і неістотною різницею між векторами головних напружень  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$ , а також векторами напружень  $\sigma_y$  і  $\sigma_x$ . При цьому спостерігається симетрична зміна знака дотичних напружень практично по вертикальній осі виробки. Ці результати тестування моделі вказують на відповідність результатів класичним положенням механіки твердого деформованого тіла [55, 65-68].

Аналіз епюри розподілу приведених напружень  $\sigma$ , визначених по формулі (2.2), показує їхню повну стабілізацію на нижній межі моделі, найцікавішої в дослідженнях анкерного зміцнення підосви виробки. На верхній межі моделі коливання  $\sigma$  відносно невеликі – до 20...25% й обумовлені прогином породних шарів у порожнину виробки. Поблизу штреку спостерігається яскраво виражена область розвантажених порід у покрівлі й підосві, а в боках виробки є концентрація напружень, що інтенсифікує процес здимання підосви в слабких породах. Ці результати погоджуються зі сформованими уявленнями [55, 67, 69-71] про геомеханічні процеси навколо виробки.

По-третє, проаналізована будова вуглевміщуючої товщі порід у межах установленної вертикальної висоти моделі –  $18 \text{ м} \leq y \leq 18$ . Для робочих вугільних пластів шахт Донбасу їх потужність на 93% змінюється в межах  $m^y = 0,7\text{м}...1,7\text{м}$  з практично постійними деформаційними характеристиками  $E^y = 0,35 \cdot 10^4$  МПа й  $\mu^y = 0,35$  [72]; міцнісні характеристики змінюються в досить вузькому інтервалі  $\sigma_{сжс}^y = 30...40$  МПа,  $\varphi^y = 30^\circ...35^\circ$  [72-74]. Прилеглу покрівлю вугільного пласта ( $y \leq 18$  м) представляють (в 87...92% випадків) два-три породних шари, складених слабкими аргілітами, алевролітами й піщаниками. Прилегла підосва ( $y \geq -18$  м) у більш, ніж 90% випадків складається з одного-двох шарів тих же слабких гірських порід. Ці висновки побудовані на аналізі стратиграфічних колонок геологічних розрізів робочих пластів Західного Дон-

басу. Крайні породні шари покрівлі й підошви моделі мають підвищену потужність, тому що не враховують малопотужні прошарки (до  $0,1...0,3i$ ), що роблять незначний вплив на досить однорідні механічні характеристики крайніх шарів моделі. Механічні характеристики породних шарів ретельно досліджені в роботах [72-74], аналіз яких дозволив вибрати (на 85...90%) наступні інтервали їхньої зміни:

аргіліти –

$$E_i^{k,\Pi} = (0,1...0,4) \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_i^{k,\Pi} = 0,20...0,30,$$

$$\sigma_{сж1}^{k,\Pi} = 10...30 \text{ МПа}, \quad \varphi_i^{k,\Pi} = 15^{\circ}...25^{\circ};$$

алевроліти –

$$E_i^{k,\Pi} = (0,3...0,5) \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_i^{k,\Pi} = 0,20...0,30,$$

$$\sigma_{сж1}^{k,\Pi} = 15...40 \text{ МПа}, \quad \varphi_i^{k,\Pi} = 20^{\circ}...30^{\circ};$$

піщаники –

$$E_i^{k,\Pi} = (0,5...1,0) \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad \mu_i^{k,\Pi} = 0,20...0,30,$$

$$\sigma_{сж1}^{k,\Pi} = 20...40 \text{ МПа}, \quad \varphi_i^{k,\Pi} = 20^{\circ}...35^{\circ}.$$

Наступним етапом обґрунтування геомеханічної моделі є оцінка параметрів пластового штреку і його кріплення. Пластові штреки робочих горизонтів звичайно проводяться перетином у світлі до осідання  $S_{св} = 12,8\text{ м}^2, 14,5 \text{ м}^2$  і  $17,2 \text{ м}^2$  [75-77] винятково аркові форми зі склепінням, близьким до циркульного, для кріплення яких найбільш інформативними геометричними параметрами [19] є радіус склепіння  $r_{св}$  і висота  $h$  прямолінійної частини стояка рами. Практично повсюдно такі виробки підтримуються рамним триланцюговим податливим кріпленням аркової форми зі спецпрофілю СВП-22, СВП-27 і СВП-33. Розміри виробки у світлі звичайно становлять  $r_{св} = 2,32...2,74 \text{ м}$ ,  $h = 0,9...1,2 \text{ м}$ ; після осідання вони зменшуються на величину піддатливості й можна досить обґрунтовано усереднити висоту  $h = 1 \text{ м}$  при інтервалі зміни  $r_{св} = 2,0\text{ м}...2,5\text{ м}$ .

На шахтах Західного Донбасу рамне кріплення встановлюється уздовж

пластового штреку, як правило, із кроком 0,5 м, а в якості міжрамного огороження використовується залізобетонне затягування. Для підвищення вірогідності розрахунків моделюється реальна конструкція кріплення з детальним відтворенням її елементів. У зв'язку з цим самим головним рішенням є побудова просторової моделі з дискретною установкою рам уздовж штреку (вісь  $Z$ ) з кроком 0,5 м. Це рішення продиктоване також наступним дослідженням анкерного зміцнення підшви штреку, де анкери також розташовуються по просторовій сітці армування. Рами моделюються реальною геометрією поперечного перерізу СВП із товщиною спецпрофілю (123 мм для СВП-27 і 137 мм для СВП-33), і шириною (149,5 мм для СВП-27 і 166 мм для СВП-33). Спецпрофіль виготовляється зі сталі Ст5 [40] з механічними характеристиками: розрахункова межа текучості  $\sigma_T = 270$  МПа, модуль пружності  $E_p = 21 \cdot 10^4$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\mu_p = 0,3$ . Для металів приведені напруження  $\sigma$  визначається по формулі (2.2) за умови  $\varphi = 0$  [78]. Залізобетонне затягування моделюється з реальними параметрами [79]: довжина – 500 мм, ширина – 200 мм, товщина 50 мм; модуль деформації матеріалу затягування  $E^3 = 2 \cdot 10^4$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\mu^3 = 0,2$ . Для запобігання інтенсивного вдавнення в слабкі породи підшви стояків рами їх, як правило, установлюють на підп'ятники, які моделюються плитою товщиною 20 мм квадратної форми розміром 200 x 200 мм. Відповідно до паспорта проведення будь-якої виробки закріпний простір повинен бути ретельно забутований гірською породою або, як це поширено в Західному Донбасі, заповнено тампонажним розчином. Середньостатистична ширина закріпного простору по проектних рішеннях для Західного Донбасу прийнята  $\delta_{з.п} = 200$  мм. Деформаційні характеристики породної забутовки в першому наближенні можна оцінити по роботах [80, 81]  $E^{з.п} = 50$  МПа,  $\mu^{з.п} = 0,25$ . Механічні характеристики тампонажного каменю [19, 26, 82] змінюються в інтервалі  $\sigma_{сж}^{з.п} = 5 \dots 20$  МПа,  $\varphi^{з.п} = 30^\circ \dots 35^\circ$ ,  $E^{з.п} = (1 \dots 2) \cdot 10^4$  МПа,  $\mu^{з.п} = 0,25 \dots 0,3$ .

Розташування магістрального штреку щодо вугільного пласта може ви-

конуватися з нижньої підривкою до 1,0...1,3 м, або без такої. Тому в моделі проаналізований вплив величини нижньої підривки від 0 до 1,3 м.

Зробивши висновки з даного етапу обґрунтування моделі варто протестувати епюри розподілу компонент напружень у рамному кріпленні (див. рис. 2.1 і 2.2) на предмет їхньої якісної відповідності існуючим уявленням і результатам досліджень. У рамному кріпленні навколо замка склепіння горизонтальні напруження  $\sigma_x$  мають близькі до максимуму значення й міняють знак від розтягання у внутрішніх волокнах до стиску в зовнішніх, що вказує на наявність максимуму згинального моменту, що деформує раму усередину виробки. Максимуми вертикальних напружень  $\sigma_y$  розташовуються ближче до опори стояка рами й також міняють знак по товщині перетину, формуючи згинальний момент, що деформує раму убік породного масиву, який узгоджується з дослідженнями [19]. Найбільші значення приведених напружень  $\sigma$  також розташовуються навколо замка склепіння й у боках рами на ділянці між п'ятою склепіння й опорою стійки. Численні шахтні спостереження підтверджують появу пластичних деформацій і руйнування рамного кріплення на відзначених ділянках.

Заключний етап обґрунтування моделі стосується таких гірничо-геологічних параметрів, як кут падіння  $\alpha$  вугільного пласта й глибина  $H$  розташування виробки. На шахтах Західного Донбасу кут падіння пластів змінюється в межах  $\alpha = 1^\circ \dots 6^\circ$  з значенням  $\alpha = 3^\circ \dots 4^\circ$ , що найбільш часто зустрічається і прийнято постійним ( $\alpha = 4^\circ$ ) у всіх подальших дослідженнях. У цей час глибина розробки в Західному Донбасі змінюється від 90 до 585 м. Враховуючи відпрацьовування верхніх пластів, розташовуваних на глибині до 200 м, досліджуваний діапазон зміни глибини  $H$  розташування виробки прийнятий в інтервалі від 200 до 600 м.

У результаті по всіх вихідних параметрах виконане геомеханічне обґрунтування моделі для визначення НДС породного масиву навколо пластового штреку.

### **3 ОЦІНКА ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ПОРІД ВУГЛЕВМІЩУЮЧОЇ ТОВЩІ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СИСТЕМИ «ШАРУВАТИЙ МАСИВ-КРІПЛЕННЯ ШТРЕКУ»**

Розглянуто напружено-деформований стан прилеглого до виробки породного масиву залежно від його структури, складеної із шарів слабких порід, що розрізняються по потужності й механічних характеристиках. Метод кінцевих елементів передбачає побудову нової моделі щораз при зміні яких-небудь її геометричних параметрів, що істотно ускладнює й збільшує об'єм обчислень. Тому бажано обмежитися по-можливості меншою кількістю варіантів структури шаруватого масиву навколо штреку при максимальному їхньому охопту реальної будови вуглевміщуючої товщі порід Західного Донбасу. Відповідно до цього за стратиграфічними колонками робочих вугільних пластів Західного Донбасу були побудовані три схеми I, II і III, які наведені на рис. 3.1. Принцип їхньої побудови обраний такий: схема I характеризує, хоча й у деякій мірі усереднену, але не переважаючу структуру порід навколо штреку, представлену шарами малої потужності; схема II характеризує протилежну (також не переважаючу) структуру з більш потужних породних шарів; схема III найбільш характерна для вуглевміщуючої товщі Західного Донбасу, однак не є всеосяжною. Тому для максимально достовірного опису НДС вуглевміщуючих порід проведені розрахунки для кожної із трьох схем і проаналізовані особливості їхнього поля напружень.

Будова вуглевміщуючої товщі характеризується, крім зазначених параметрів, також силами зчеплення між окремими шарами. Загальновідомо [19, 63, 64], що зв'язок породних шарів за площинами нашарування відрізняється низькими міцнісними характеристиками (особливо в слабких породах Західного Донбасу): опір розтяжним зусиллям практично відсутній, а опір зрушенню знижено іноді на порядок і більше в порівнянні з породою самого шару. Тому умови сполучення суміжних шарів обґрунтовані на предмет можливості порушення їхнього контакту в процесі деформування й переміщення (проковзування) відносно друг друга по площинах нашарування.



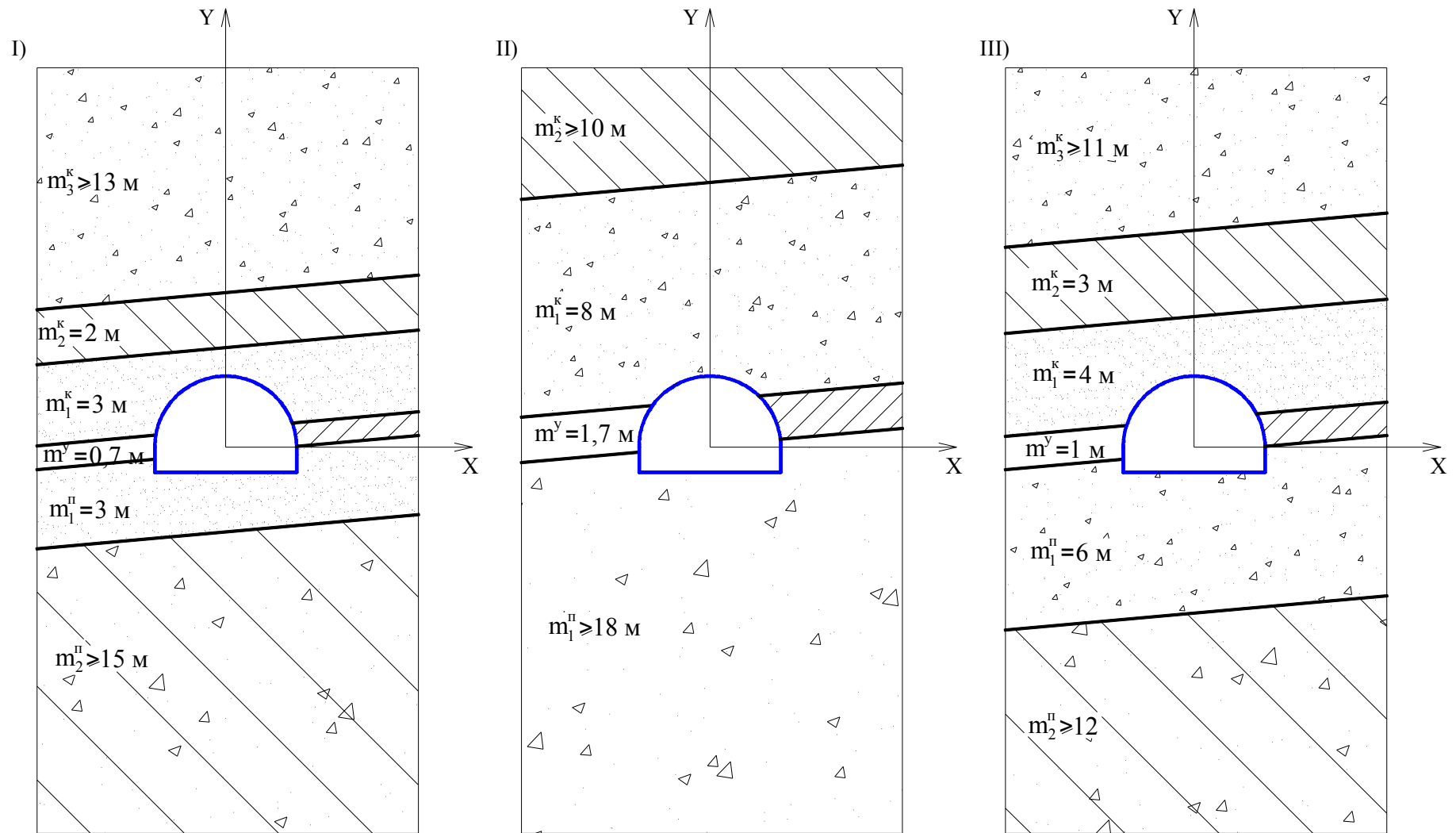


Рисунок 3.1 – Моделі структури вуглевміщуючої товщі порід Західного Донбасу

Для усіх трьох моделей (див. рис. 3.1) розрахунок НДС виконаний за двома варіантами: без порушення контакту між шарами й при їхньому взаємному проковзуванні. З самого початку (до проведення виробки) зв'язок між породними шарами не порушений, тому оцінені дотичні напруження  $\tau_{xy}$  по площинах нашарування за умови цілісності контакту. Максимуми  $\tau_{xy}$  розташовуються на лініях, нахилених до вертикальної осі виробки під кутом  $\pm 25^\circ \dots 30^\circ$  поза залежністю від структури вуглевміщуючої товщі порід і їхніх деформаційних характеристик. Також загальною закономірністю є підвищена концентрація  $\tau_{xy}$  навколо виробки на глибину до  $(2 \dots 2,5)r_0$  при  $H = 200$  м, що збільшується з ростом глибини  $H$ .

Для первісного аналізу НДС розглянуті три варіанти (А, Б і В) механічних характеристик вуглевміщуючої товщі порід, які зведені в таблицю 3.1

Варіант А розподілу  $\tau_{xy}$  наведений як приклад на рис. 2.2, а, для моделі І при  $H = 200$  м. Попередньо слід зазначити, що в силу зазначених вище причин сили зчеплення по площинах нашарування невеликі й становлять десяті частки (рідше одиниці) МПа.

Таблиця 3.1

Механічні характеристики	Варіанти		
	«А»	«Б»	«В»
1	2	3	4
Перший породний шар підшви	$E_1^{\text{П}} = 0,1 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^{\text{П}} = 0,25$ $\varphi_1^{\text{П}} = 12^\circ$	$E_1^{\text{П}} = 0,5 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^{\text{П}} = 0,25$ $\varphi_1^{\text{П}} = 30^\circ$	$E_1^{\text{П}} = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^{\text{П}} = 0,25$ $\varphi_1^{\text{П}} = 20^\circ$
Другий породний шар підшви	$E_2^{\text{П}} = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^{\text{П}} = 0,25$ $\varphi_2^{\text{П}} = 20^\circ$	$E_2^{\text{П}} = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^{\text{П}} = 0,25$ $\varphi_2^{\text{П}} = 20^\circ$	$E_2^{\text{П}} = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^{\text{П}} = 0,25$ $\varphi_2^{\text{П}} = 20^\circ$

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Вугільний пласт	$E^y = 0,35 \cdot 10^4$ МПа $\mu^y = 0,35$ $\varphi^y = 30^\circ$	$E^y = 0,35 \cdot 10^4$ МПа $\mu^y = 0,35$ $\varphi^y = 30^\circ$	$E^y = 0,35 \cdot 10^4$ МПа $\mu^y = 0,35$ $\varphi^y = 30^\circ$
Перший породний шар покрівлі	$E_1^K = 0,1 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^K = 0,25$ $\varphi_1^K = 12^\circ$	$E_1^K = 0,5 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^K = 0,25$ $\varphi_1^K = 30^\circ$	$E_1^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^K = 0,25$ $\varphi_1^K = 20^\circ$
Другий породний шар покрівлі	$E_2^K = 0,5 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^K = 0,25$ $\varphi_2^K = 30^\circ$	$E_2^K = 0,1 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^K = 0,25$ $\varphi_2^K = 12^\circ$	$E_2^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^K = 0,25$ $\varphi_2^K = 20^\circ$
Третій породний шар покрівлі	$E_3^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_3^K = 0,25$ $\varphi_3^K = 20^\circ$	$E_3^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_3^K = 0,25$ $\varphi_3^K = 20^\circ$	$E_3^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_3^K = 0,25$ $\varphi_3^K = 20^\circ$

Тому область дії підвищених  $\tau_{xy}$  оцінена по порівнянні зі зчепленням величині  $\tau_{xy} = (0,4...0,8)$  МПа. Ця область у моделі I поширюється в покрівлі до  $2r_B$ , а в підосві – до  $2,5r_B$  при підвищеній деформативності прилеглих (до вугільного пласта) породних шарів покрівлі й підосви (варіант А). При зниженій деформативності прилеглих породних шарів область концентрації  $\tau_{xy}$  знижується в покрівлі до  $1,2r_B$ , у підосві – до  $1,5r_B$ . Однак сама величина  $\tau_{xy}$  безпосередньо в приконтурних породах має зворотну тенденцію й цілком логічно збільшується (до 4...5 МПа) при підвищеній жорсткості породного шару, що примикає до виробки. У моделі II з породними шарами, що примикають, більшої потужності вплив їхньої жорсткості збільшує на 15...20% область концентрації  $\tau_{xy}$ , а сама їх величина знижується. Розподіл  $\tau_{xy}$  у моделі III має аналогічні тенденції.

Таким чином, встановлено, що при  $H = 200$  м в області до  $(2...3)r_B$  дотичні напруження  $\tau_{xy}$  можуть перевищувати сили зчеплення породних шарів по

площинах нашарування, що призводить до порушення їхнього контакту й проковзуванню друг щодо друга. Даний фактор підсилюється з ростом глибини  $H$  розташування виробки, тому що встановлено практично лінійний зв'язок параметра  $H$  з величиною  $\tau_{xy}$  й розмірами області їхньої концентрації. Звідси треба логічний висновок про те, що для підвищення вірогідності моделювання необхідно розглядати шари з порушеними контактами й ввести умову можливості їхнього проковзування друг щодо друга. Також слід зазначити високу концентрацію  $\tau_{xy}$  (від  $-83$  до  $+81$  МПа) стабільно розташовується в опорах стояка рами, що необхідно враховувати при оцінці її стійкості.

Відповідно до отриманих результатів наступним етапом досліджень був виконаний розрахунок НДС (при проковзуванні шарів) трьох моделей (див. рис. 3.1) по варіантах А, Б і В (див. таблицю 3.1) співвідношення механічних характеристик породних шарів вуглевміщуючої товщі Західного району Донбасу. Аналіз розподілу дотичних напружень  $\tau_{xy}$  при проковзуванні породних шарів найбільш наочно ілюструється «дрібношаруватою» (рис. 3.2) моделлю  $I$  й «крупношаруватою» моделлю  $II$  (рис. 3.3) при  $H = 200$  м. Загальною рисою впливу проковзування шарів є збільшення максимумів  $\tau_{xy}$  на практично постійну величину в  $1,64\dots 1,77$  рази незалежно від структури вуглевміщуючої товщі й деформаційних властивостей складових породних шарів. Причому, область поширення підвищених  $\tau_{xy}$  залишається майже незмінною (ріст не більш, ніж на  $5\dots 10\%$ ) у порівнянні з непорушеним контактом між шарами. Примітним є факт розподілу  $\tau_{xy}$  за потужністю кожного породного шару з максимумом посередині й мінімумом на їх поверхнях, що погоджується із класичними рішеннями [78], у той час як для однорідної моделі (див. рис. 3.2, в) відбувається досить плавна зміна  $\tau_{xy}$  при перетинанні сусідніх шарів. Очевидно, проковзування сусідніх шарів друг відносно друга навколо виробки підсилює прояв гірського тиску й урахування цього явища в геомеханічних моделях об'єктивно необхідний.

Порівняння трьох моделей (див. рис. 3.1) по величині дотичних напружень проведено за значеннями максимумів  $\tau_{xy}$ , різниця між якими найбільш істотна, чим в інших областях моделей. Відзначено, що максимуми  $\tau_{xy}$  істотно залежать від співвідношень деформаційних характеристик шарів, причому найвищі значення максимумів здобувають різні моделі (при зміні  $E_i^{K,II}$ ), що вимагає більш детального аналізу. Найбільш «різнополюсні» моделі *I* й *II* мають найбільші відхилення максимумів  $\tau_{xy}$ : від 7,0 до 17,6% для варіанта А, від 18,6 до 19,5% для варіанта Б і від 1,7 до 7,8% для варіанта В. Порівняння моделей *I* і *III* (рис. 3.4) дає наступні відхилення максимумів  $\tau_{xy}$ : від 4,7 до 12,6% для варіанта А, від 9,8 до 11,6% для варіанта Б і від 0 до 4,9% для варіанта В. При порівнянні максимумів  $\tau_{xy}$  моделей *II* і *III* отримані такі результати: від 2,2 до 4,3% для варіанта А, від 8,6 до 11,2% для варіанта Б і від 1,7 до 3,4% для варіанта В.

Таким чином, якщо за базову прийняти модель *III*, то більшість відхилень максимумів  $\tau_{xy}$  попадають в інтервал до 10%, що вважається цілком припустимим при гірничотехнічних розрахунках. Ще більше переваг моделі *III* дає той факт, що відхилення  $\tau_{xy}$  в не максимальних областях істотно менше.

Розглянуто також розподіл вертикальних напружень  $\sigma_y$  у трьох моделях структури вуглевміщуючої товщі порід. На рис. 3.5 наведені епюри  $\sigma_y$  трьох моделей при підвищеній деформативності породних шарів безпосередньої покрівлі й підшви. Незалежно від структури порід вуглевміщуючої товщі в покрівлі й підшві виробки є зона розвантаження, що погоджується з відомими рішеннями [19, 64, 67, 51]. Розміри цих зон при  $H = 200$  м у покрівлі виробки досить стабільні й досягають по висоті  $(2...2,2)r_g$ , по ширині  $(1,7...1,8)r_g$ . У підшві виробки зона розвантаження більш велика й становить  $(3...3,2)r_g$  по глибині й  $(2,8...3,1)r_g$  по ширині. У приконтурних породах покрівлі й підшви виникають розтягальні напруження  $\sigma_y = (1...3)$  МПа, що призводить до їх часткового або повного знеміцнення й формування області нестійких порід. У боках





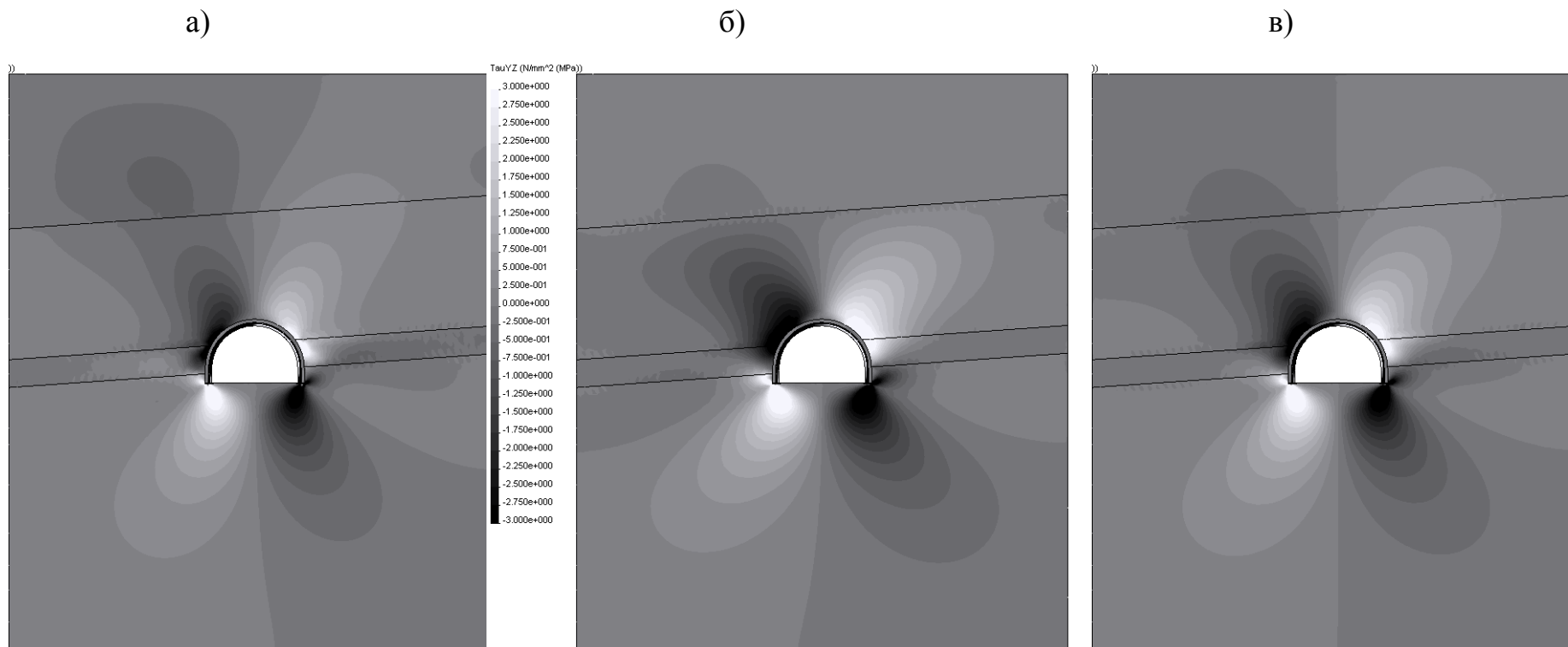


Рисунок 3.3 – Епюри дотичних напружень  $\tau_{xy}$  у моделі II при проковзуванні породних шарів на глибині  $H = 200$  м: а) – варіант А; б) – варіант Б; в) – варіант В



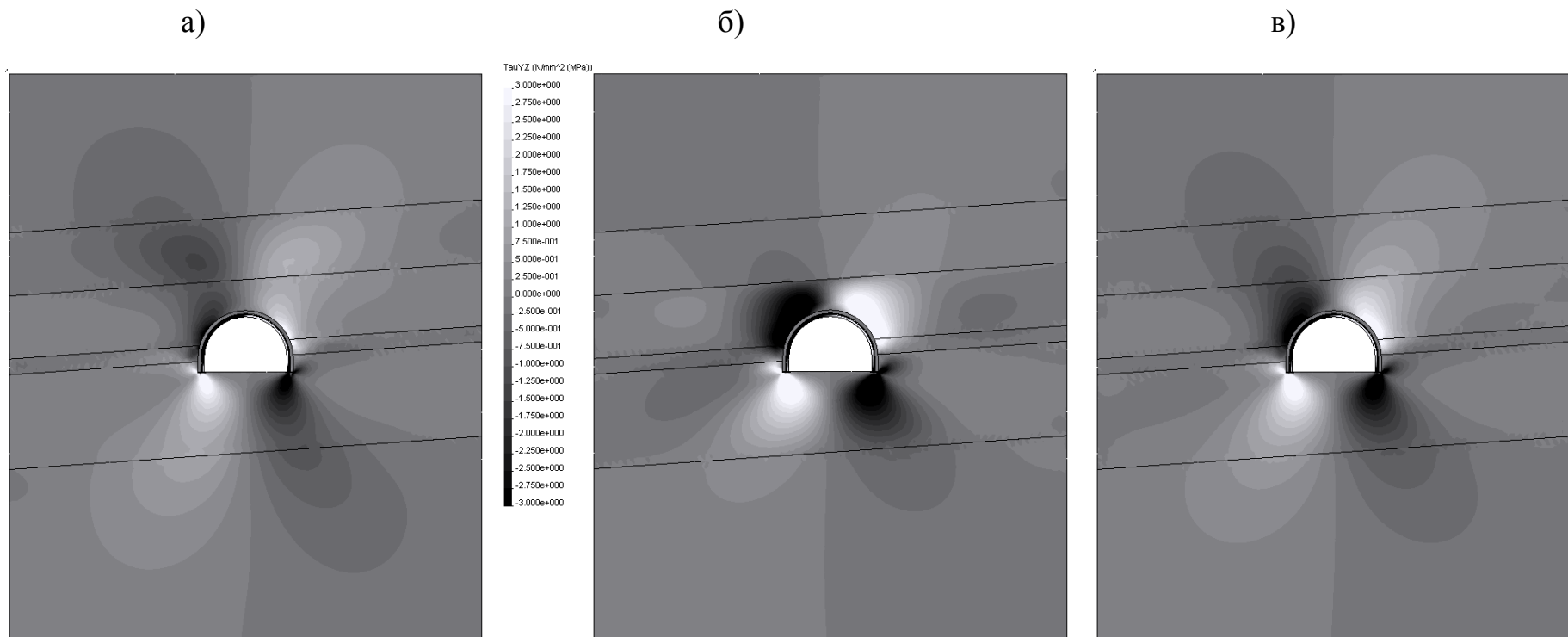


Рисунок 3.4 – Епюри дотичних напружень  $\tau_{xy}$  у моделі III при проковзуванні породних шарів на глибині  $H = 200$  м: а) – варіант А; б) – варіант Б; в) – варіант В

виробки на ширину до  $(0,5...0,7)r_B$  є концентрація стискаючих напружень  $\sigma_y$ , яка у приконтурних породах досягає  $(2...2,7)\gamma H$ , що також сприяє появі в боках виробки області нестійких порід. Очевидно, що зі збільшенням глибини розташування виробки область нестійких порід навколо неї буде розширюватися. Більш детально це питання досліджене в наступних розділах.

Порівняння епюр  $\sigma_y$  для різних структур вуглевміщуючої товщі дає такі результати (див. рис. 3.5).

По-перше, розміри області опорного тиску й розвантаження відрізняються для різних моделей не більш, ніж на 6,7%.

По-друге, розтягальні напруження в покрівлі й підшві на відповідних ділянках області розвантаження розрізняються по величині не більш, ніж на 13,1%.

По-третє, максимальні стискаючі напруження  $\sigma_y$  в боках виробки спостерігаються для моделі II, величина яких перевищує  $\sigma_y$  для моделі III на 12,2%, а для моделі I – на 27,0%. Однак розміри області дії цих максимумів  $\sigma_y$  поблизу контуру виробки невеликі, усього  $(0,06...0,08)r_B$ , і не роблять вирішального значення в загальній картині поля напружень  $\sigma_y$ .

По-четверте, максимальні напруження  $\sigma_y$  стабільно розташовуються в опорах стояка рами, що має своє логічне обґрунтування в частині акумулювання опорного тиску найбільш жорсткою частиною моделі. У цьому випадку в перетині стійки рами переважають стискаючі напруження  $\sigma_y$ , які в 6,4...7,2 рази перевершують розтягальні і досягають величини  $\sigma_y = (357...398)$  МПа, що перебуває за межею текучості сталі Ст5 (з якої виготовляється рамне кріплення зі спецпрофілю СВП). Цей факт указує на втрату стійкості рамного кріплення вже на глибині  $H = 200$  м.

В-п'ятих, максимуми  $\sigma_y$  в стояках рами мають досить стабільне значення для різних моделей: відхилення  $\sigma_y$  в моделі I стосовно моделі III становить

8,5%, а в моделі *II* – 2,1%.

Таким чином, за результатами аналізу поля напружень  $\sigma_y$  можна зробити висновок про універсальність моделі *III* для опису структури вуглевміщуючої товщі порід при підвищеній їх деформативності в шарах безпосередньої покрівлі й підшви.

Для повноти аналізу поля вертикальних напружень  $\sigma_y$  розрахунок НДС досліджуваних трьох моделей був зроблений при підвищеній жорсткості породних шарів безпосередньої покрівлі й підшви за варіантом Б (рис. 3.6) і при однорідному шаруватому масиві за варіантом В (рис. 3.7). Загальними особливостями розподілу  $\sigma_y$  для варіантів Б і В (аналогічним варіанту А) для всіх трьох моделей є: відносно невеликі до 10% коливання розмірів областей опорного тиску й розвантаження (виключення – варіант Б моделі *II*); різниця максимумів розтягальних напружень у зоні розвантаження не перевищує 15%, а максимумів стискаючих напружень у зоні опорного тиску – 29,7%; але ці максимуми мають досить обмежену область дії; відносно невеликі коливання  $\sigma_y$  максимумів в опорах стояка рами – до 14,7%.

Відмітними рисами є:

- істотне зниження висоти областей розвантаження в покрівлі в 1,40...2,36 рази (для варіанта Б у порівнянні з варіантом А) і в 1,09...1,20 рази (для варіанта В стосовно варіанта А);

- незначне зменшення глибини областей розвантаження в підшві виробки: на 9,6...14,3% для варіанта Б и на 5,3...7,7% для варіанта В;

- практично стабільні розміри області опорного тиску для всіх варіантів моделей *I* і *III*;

- підвищені стискаючі напруження  $\sigma_y$  в боках виробки (особливо для варіанта Б), що обумовлено збільшеною жорсткістю породних шарів безпосередньої покрівлі й підшви;

– знижені значення (у порівнянні з варіантом А) максимумів  $\sigma_y$  в опорах стояка рами: в 2,70...3,86 рази для варіанта Б і в 1,92...2,26 рази для варіанта В.

У підсумку, аналіз поля розподілу вертикальних напружень  $\sigma_y$  дозволив сформулювати два висновки. По-перше, модель III із достатньою для гірничо-технічних розрахунків точністю дозволяє описати структуру вуглевміщуючої товщі робочих вугільних пластів Західного Донбасу. По-друге, механічні характеристики породних шарів істотно впливають на величину  $\sigma_y$  в різних елементах моделі.

Аналогічно вертикальним напруженням  $\sigma_y$  проаналізовані поля горизонтальних напружень  $\sigma_x$  у всіх трьох моделях (див. рис. 3.1) структури вуглевміщуючої товщі при різних сполученнях механічних характеристик порід (див. табл. 3.1). На рис. 3.8 наведені епюри  $\sigma_x$  в моделях I, II і III при сполученні механічних характеристик шарів по варіанту А. Найбільш наочно проявляються напруження  $\sigma_x$  від дії згинальних моментів у кожному шарі навколо виробки. Відповідно до класичних уявлень прогини шарів породжують додаткові горизонтальні напруження  $\sigma_x$ :

– у покрівлі виробки розтягальні напруження  $\sigma_x$  з'являються в нижніх шарах, а стискаючі  $\sigma_x$  – у верхніх шарах, як це й повинно бути при зсуві порід покрівлі в порожнину виробки;

– у підшві виробки розтягальні напруження з'являються у верхніх шарах, що вказує на переміщення порід підшви в порожнину виробки;

– у боках виробки чітко виражена зона опорного тиску, у якій міняється знак кривизни вигину шарів: безпосередньо на контакті з виробкою розтягання відбувається в нижніх шарах, на відстані  $(1...2)r_B$  розтягання спостерігається у верхніх шарах.





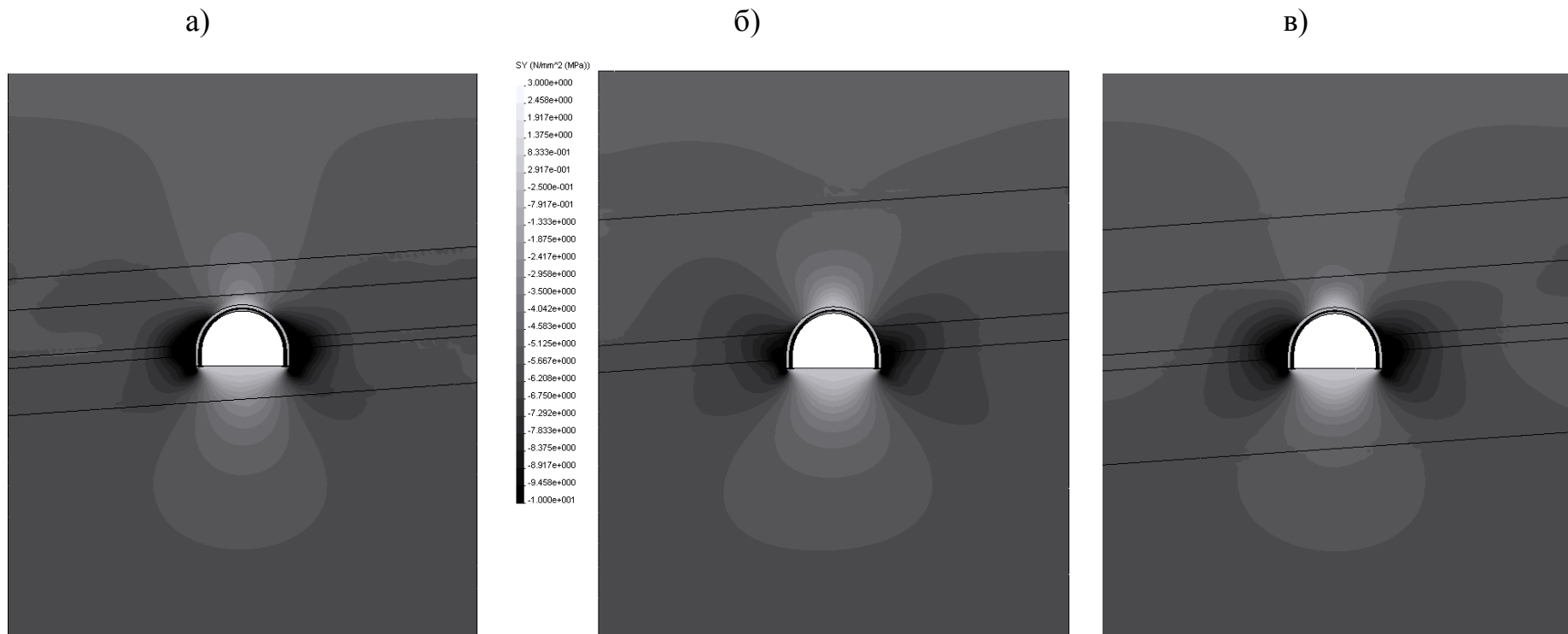


Рисунок 3.6 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  (варіант Б) при проковзуванні породних шарів на глибині  $H = 200$  м: а) – модель *I*; б) – модель *II*; в) – модель *III*







Через відзначені особливості деформування шарів величина горизонтальних напружень  $\sigma_x$  дуже сильно залежить від їхньої потужності [78] у зоні дії максимальних згинальних моментів. Тому в розглянутих моделях, що істотно відрізняються по потужності породних шарів, величина  $\sigma_x$  буде різною: у потужніших – менше, у більш тонких – вище. Таким чином, горизонтальні напруження  $\sigma_x$  є єдиним компонентом, що має значні розходження в трьох досліджуваних моделях. Однак при більш детальному порівнянні полів  $\sigma_x$  по окремих областях моделей можна виявити досить подібних рис не тільки в якісному, але й у кількісному плані.

По-перше, у підшві виробки розтягальні напруження, що  $\sigma_x$  поширюються на глибину до  $(0,45...0,5)r_E$  й різниця в розмірах цих областей не перевищує 20%.

По-друге, у підшві виробки на глибині  $(0,7...1,1)r_E$  розташовується ядро стиску, величина  $\sigma_x$  в якому становить  $(1,34...1,56)\lambda\gamma H$  і максимальні відхилення для різних моделей не перевищують 16,7%.

По-третє, у породному шарі безпосередньої покрівлі на висоті  $(0,2...0,5)r_E$  дії розтягальних напружень, розходження  $\sigma_x$  компоненти перебуває в межах 7...20%.

По-четверте, у вугільному пласті, незважаючи на розходження в розмірах зони дії розтягальних напружень  $\sigma_x$ , оцінюваної  $(0,6...1,1)r_E$ , (максимальний розмір відповідає моделі II), їх значення відрізняються в межах до 20%.

В-п'ятих, у районі опор стояків рамного кріплення стискаючі напруження  $\sigma_x$  досить стабільні з відносно постійною зоною їхнього поширення в  $(0,46...0,69)r_E$ .

В-шостих, у самому рамному кріпленні максимумами розтягальних і стискаючих напружень  $\sigma_x$  для різних моделей мають незначні відхилення в межах від 4,1% до 13,6%.

Така достатня стабільність поля напружень  $\sigma_x$  при різній структурі вуглевміщуючих порід пояснюється врахуванням спільності деформування шарів порід, що складають товщу, при якому вплив потужності окремого шару помітно знижується.

Для оцінки впливу механічних характеристик шарів моделей проведений розрахунок поля напружень  $\sigma_x$  для варіанта Б (рис. 3.9) і варіанта В (рис. 3.10). Аналіз розподілу  $\sigma_x$  показує їхній тісний зв'язок з модулем деформації породного шару і їхнім співвідношенням між сусідніми шарами. Величина напружень  $\sigma_x$  змінюється в кілька разів на тих самих ділянках моделі й поле напружень істотно перетвориться. Чим вище модуль деформації розглянутого шару в порівнянні із сусідніми, тим більше величина  $\sigma_x$ : більш жорсткий елемент сприймає на себе більше навантаження. Це тим більш пояснює зниження максимумів компоненти  $\sigma_x$  в рамному кріпленні в 2,63...3,95 рази при підвищеній жорсткості породних шарів безпосередньої покрівлі й підшви. Однак, як і у варіанті А, у варіантах Б і В різниця максимумів компоненти  $\sigma_x$  в різних моделях відносно невелика й становить від 4,4 до 17,8% (для варіанта Б) і від 0,3 до 8,6% (для варіанта В).

Таким чином, за результатами аналізу поля розподілу компоненти  $\sigma_x$  можна зробити висновок про допустимість усереднення структури вуглевміщуючої товщі порід відповідно до моделі III.

На заключному етапі даного дослідження проаналізоване поле розподілу наведеного напруження  $\sigma$ , що є інтегральним показником інтенсивності дії всіх компонентів ( $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  і  $\tau_{xy}$ ) відповідно до обраної теорії міцності по виразу (2.2). На рис. 3.11 наведені епюри  $\sigma$  для трьох моделей I, II і III при співвідношенні механічних характеристик шарів по варіанту А. Цілком логічно зони розвантаження розташовуються в покрівлі й підшві виробки, а зони опорного тиску – у її боках. Також очевидно, що в «крупношаруватій» моделі II зони розвантаження будуть мінімальними, а зони опорного тиску – максимальними;









в «дрібношаруватій» моделі *I* спостерігається зворотна картина, коли породні шари безпосередньої покрівлі й підшви мають понижено жорсткість у порівнянні з іншими шарами. Підвищена жорсткість (варіант Б) породних шарів безпосередньої покрівлі й підшви вугільного пласта призводить до протилежного результату (рис. 3.12), а однорідний масив (варіант В) займає проміжне положення (рис. 3.13). Таким чином, співвідношення механічних характеристик породних шарів вуглевміщуючої товщі впливає на епюрі розподілу  $\sigma$ , що цілком природно, оскільки аналогічні тенденції мали місце при аналізі компонентів  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  і  $\tau_{xy}$ . Звертають увагу розміри зон розвантаження й опорного тиску у всіх трьох моделях при різних варіантах (А, Б і В) і сполучення механічних характеристик породних шарів: уже на глибині  $H = 200$  м вони становлять  $(1,5...3)r_B$  і це означає можливість знеміцнення значного об'єму порід навколо штреку при переході на більш глибокі горизонти.

Особливо важливо, що глибина зони розвантаження у підшві штреку досягає 5...8 м (при  $H = 200$  м), що значно перевищує загальноприйнятую глибину анкерування в 1,5...2,5 м. Тому доцільно, на наш погляд, у даних гірничо-геологічних умовах варто вибирати параметри анкерів на основі оптимізації поля напружень як у заанкерованій підшві, так і в прилеглому до неї породному масиві.

Другий висновок полягає в необхідності врахування зміни механічних характеристик породного масиву в позамежному стані в зонах опорного тиску й розвантаження. Для цього необхідно встановити зв'язок розмірів зон з гірничо-геологічними й гірничотехнічними умовами підтримки пластових штреків.

Третій висновок – уже на глибині  $H = 200$  м максимуми приведених напружень  $\sigma$  у рамному кріпленні нерідко перевищують межу текучості сталі Ст5, що вказує на появу пластичних шарнірів, втрату стійкої форми кріплення й, як наслідок, руйнування виробки. Тому необхідно провести дослідження, крім стійкості підшви, також у наступних напрямках:







- по-перше, оцінити вплив параметрів зони знеміцнення й «руїнного» руйнування порід навколо виробки на її стійкість;
- по-друге, виявити вплив анкерного зміцнення порід підшви на НДС при-контурних порід покрівлі й боків виробки, а також самого рамного кріплення;
- по-третє, оцінити вплив піддатливості рамного кріплення на зниження у ній і приконтурних породах НДС.

Зазначені завдання визначають коло досліджень, виконаних у наступних розділах роботи.

## 4 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗВ'ЯЗКУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАНОГО СТАНУ СИСТЕМИ З ДЕФОРМАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ШАРІВ ВУГЛЕВМІЩУЮЧОЇ ТОВЩІ

### 4.1 Методика досліджень

Попередніми дослідженнями встановлений факт значного впливу деформаційних характеристик прилеглих до виробки шарів порід на всі без винятку компоненти напружень. Тому обов'язковим етапом є розрахунок НДС і його аналіз на предмет виявлення закономірностей впливу деформаційних характеристик шарів вуглевміщуючої товщі на поле напружень у системі «шаруватий масив-кріплення штреку». Обґрунтована в розділі 2 геомеханічна модель системи включає вугільний пласт, два породних шари в підошві пластового штреку й три породних шари в його покрівлі. Така складна структура моделі припускає велику кількість змінних деформаційних характеристик елементів, що її складають і, відповідно, значний об'єм обчислень і труднощі аналізу їх результатів. Тому для зниження кількості змінних параметрів, не знижуючи спільності одержуваних результатів, прийнятий ряд додаткових спрощень.

По-перше, механічні характеристики робочих вугільних пластів у Західному Донбасі достатньо стабільні [72-74, 83] і тому усереднені значеннями:  $E^y = 0,35 \cdot 10^4$  МПа,  $\mu^y = 0,35$ ,  $\varphi^y = 30^\circ$ .

По-друге, при обґрунтуванні структури вуглевміщуючої товщі моделі було встановлено, що в крайніх шарах підошви  $(m_2^p)$  й покрівлі  $(m_3^k)$  пластового штреку НДС характеризується достатньою сталістю без істотних концентрацій компонентів. Також виявлений незначний вплив на НДС прилеглих до штреку породних шарів і рамного кріплення коливань механічних характеристик крайніх шарів моделі, що обґрунтовує можливість їхнього усереднення для найпоширеніших вуглевміщуючих порід Західного Донбасу (аргілітів і алевролітів):

$$E_2^p = E_3^k = 0,3 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \mu_2^p = \mu_3^k = 0,25; \varphi_2^p = \varphi_3^k = 30^\circ.$$

По-третє, для всіх породних шарів вуглевміщуючої товщі Західного Донбасу згідно даним [72-74, 83] прийнято усереднене значення коефіцієнта Пуассона  $\mu_i^{П,К} = 0,25$  й кута внутрішнього тертя  $\varphi_i^{П,К} = 30^\circ$ .

Таким чином, у проведених дослідженнях змінними параметрами були модулі деформації: першого шару підшви  $E_1^П$ , першого  $E_1^К$  й другого  $E_2^К$  шарів покрівлі з діапазоном їхньої зміни в межах  $0,3 \cdot 10^4 \leq E_i^{П,К} \leq 1 \cdot 10^4$  МПа. Однак, навіть при зазначених обмеженнях отриманий досить великий перебір варіантів співвідношень деформаційних характеристик прилеглих породних шарів, що наведений у таблиці 4.1. Тут для кожного шару прораховані крайні значення ( $0,3 \cdot 10^4$  МПа й  $1 \cdot 10^4$  МПа) і проміжне значення ( $0,6 \cdot 10^4$  МПа).

Ілюстрація полів напружень у системі «шаруватий масив-кріплення штреку» виконана при  $\gamma H = 10$  МПа ( $H = 400$  м). Але, розрахунки зроблені також для глибин  $H = 200$  м и  $H = 600$  м. Таким чином, усього був виконаний 81 розрахунок НДС системи.

## 4.2 Тенденції зміни напруженого стану порід покрівлі пластової виробки

Розглянуто зміну компонентів  $\sigma_y$  і  $\sigma_x$  в покрівлі виробки залежно від співвідношення деформаційних характеристик прилеглих шарів. Варіанти №1 і №18 (див. табл. 4.1) мають однорідні деформаційні характеристики всіх трьох прилеглих шарів, але у варіанті №18 величина модуля деформації в 3,33 рази вище. Це сприяє скороченню області розвантаження ( $\sigma_y \approx 0,5\gamma H$ ) як по висоті, так і по її ширині (рис. 4.1). Однак, якщо брати область розвантаження за умовою появи розтягальних напружень  $\sigma_y = 0$ , то її розміри залишаються приблизно однаковими в обох варіантах і становлять порядком  $1,4 r_B$  по висоті. На контурі виробки розтягальні напруження  $\sigma_y$  досягають  $\sigma_y = 6...8$  МПа. Тут слід зазначити, що слабкі породи Західного Донбасу з урахуванням послаблюючих

факторів практично не чинять опір розтягальним напруженням.

Коли перший шар покрівлі має підвищену жорсткість (варіант №3), то висота зони розвантаження ( $\sigma_y = 0$ ) знижується до  $1,12 r_B$  (рис. 4.2, а), а при підвищеній жорсткості другого шару покрівлі (варіант №10) висота збільшується до  $1,58 r_B$  (див. рис. 4.2, б). При підвищеній жорсткості обох породних шарів покрівлі (варіант №14) висота зони розвантаження знижується всього до  $1,4 r_B$  (рис. 4.3, а).

Варіанти співвідношення модулів деформації прилеглих породних шарів вуглевміщуючої товщі

Таблиця 4.1

Варіант	$A_1^i \cdot 10^4$ МПа	$A_1^e \cdot 10^4$ МПа	$A_2^e \cdot 10^4$ МПа	Варіант	$A_1^i \cdot 10^4$ МПа	$A_1^e \cdot 10^4$ МПа	$A_2^e \cdot 10^4$ МПа	Варіант	$A_1^i \cdot 10^4$ МПа	$A_1^e \cdot 10^4$ МПа	$A_2^e \cdot 10^4$ МПа
1	0,3	0,3	0,3	10	0,3	0,3	1	19	0,3	1	0,6
2	0,3	0,6	0,3	11	0,6	0,3	1	20	0,6	1	0,6
3	0,3	1	0,3	12	0,6	0,6	1	21	1	1	0,6
4	0,6	0,6	0,3	13	0,3	0,6	1	22	0,3	0,3	0,6
5	1	0,6	0,3	14	0,3	1	1	23	0,6	0,3	0,6
6	0,6	1	0,3	15	0,6	1	1	24	1	0,3	0,6
7	1	1	0,3	16	1	0,3	1	25	0,3	0,6	0,6
8	1	0,3	0,3	17	1	0,6	1	26	0,6	0,6	0,6
9	0,6	0,3	0,3	18	1	1	1	27	1	0,6	0,6

Таким чином, незалежно від співвідношень модуля деформацій прилеглих до виробки породних шарів (у межах від  $0,3 \cdot 10^4$  МПа до  $1 \cdot 10^4$  МПа, характерних для Західного Донбасу), висота зони розвантаження досить стабільна на рівні  $(1,4 \dots 1,5) r_B$ . Виключення становить лише варіант №7 розташування жорстких пластів одночасно в безпосередній покрівлі й підшві, коли висота зони розвантаження досягає  $2,14 r_B$  (див. рис. 4.3, б).

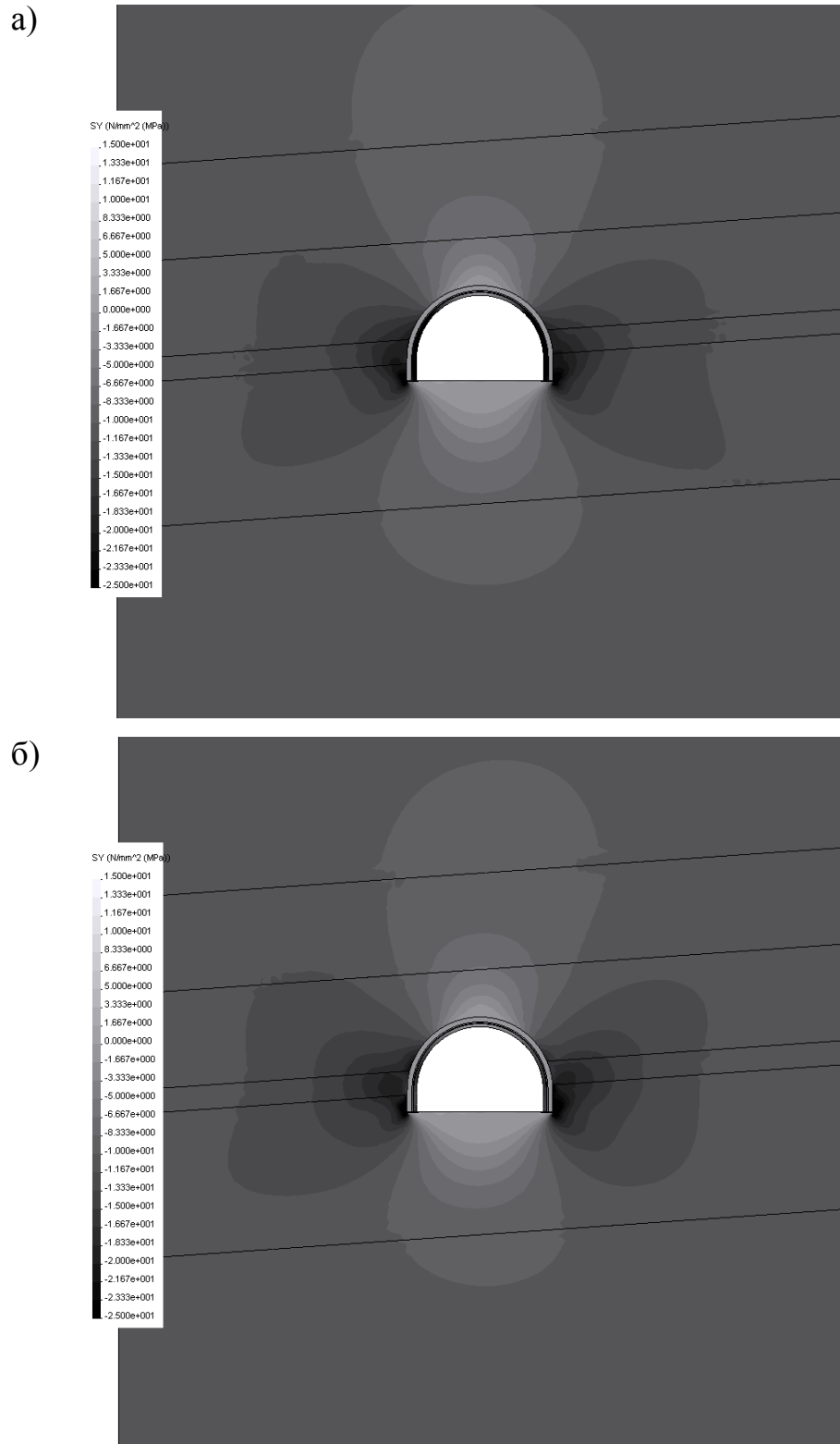


Рисунок 4.1 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  у варіантах:

а) Варіант №1; б) Варіант №18

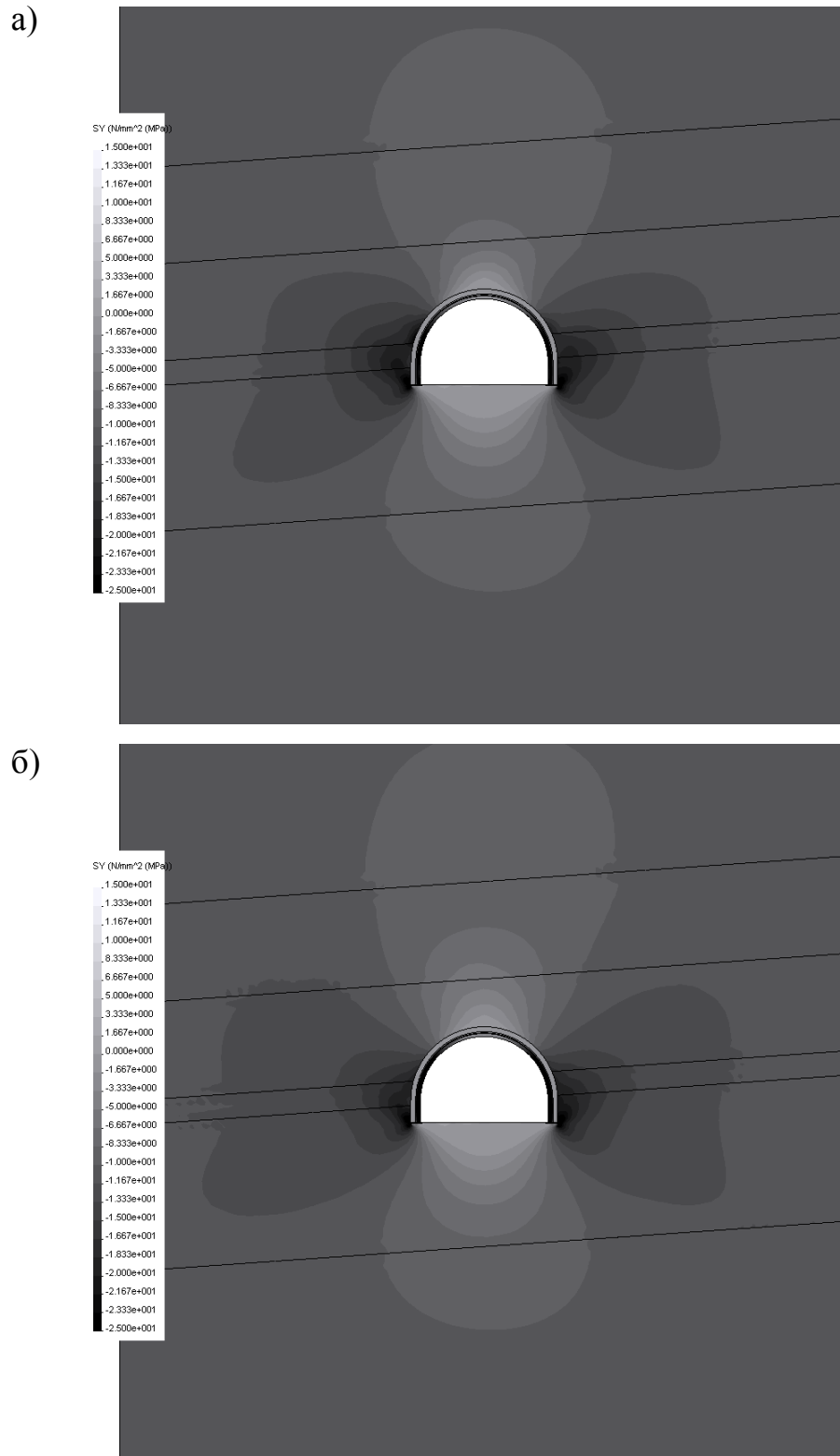


Рисунок 4.2 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  у варіантах:

а) Варіант №3;      б) Варіант №10



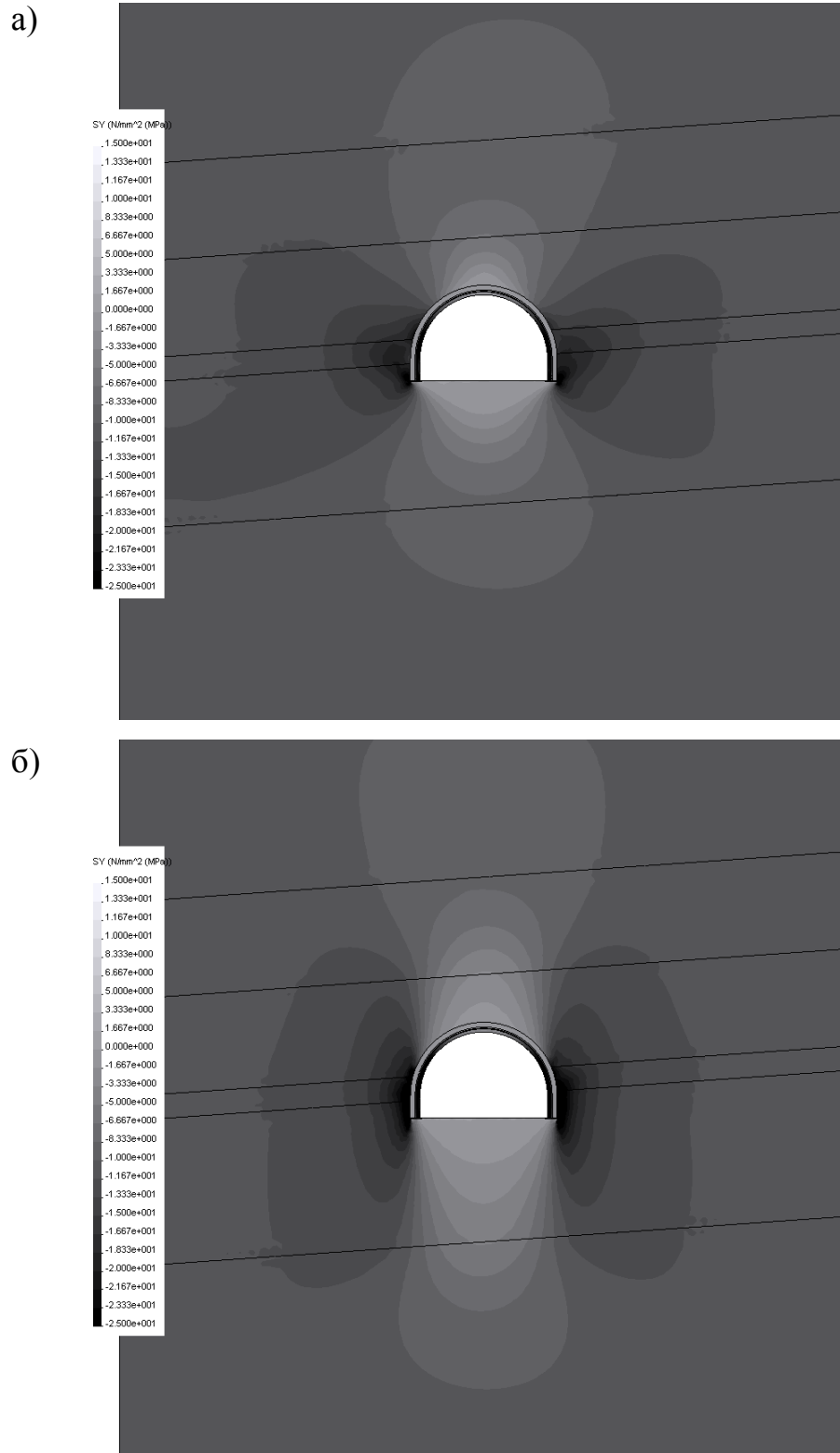


Рисунок 4.3 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  у варіантах:

а) Варіант №14; б) Варіант №7

Проаналізовані також особливості розподілу горизонтальних напружень  $\sigma_x$  у покрівлі виробки. У всіх розглянутих варіантах шари в покрівлі прогинаються над виробкою з утворенням підвищених стискаючих напружень  $\sigma_x$  у верхніх частинах шару, а в першому породному шарі в нижніх частинах з'являються розтягальні  $\sigma_x$ . У нижніх частинах другого породного шару мають місце знижені стискаючі напруження  $\sigma_x$ , які провокують збільшення зони розвантаження напружень  $\sigma_y$ , що тотожно зоні граничного стану гірських порід у покрівлі виробки. Із цього погляду цікаво простежити співвідношення компонентів  $\sigma_x$  і  $\sigma_y$  для кожного з 27 варіантів. Виявилося, що по компоненті  $\sigma_x$  спостерігається зворотна картина стосовно  $\sigma_y$ , коли в зонах розвантаження  $\sigma_y$  зниженої висоти діють підвищені стискаючі напруження  $\sigma_x$  (у другому шарі) і більш інтенсивно розвивають цю зону (рис. 4.4-4.6). І, навпаки, у зонах розвантаження збільшеної висоти діють (у другому породному шарі) понижені (навіть розтягальні напруження  $\sigma_x$  у варіанті №7) напруження  $\sigma_x$ , практично не розвивають зону граничного стану порід покрівлі.

Таким чином, виявлений факт практично стабільної висоти зони граничного стану порід покрівлі, обмеженою площиною нашарування другого і третього породних шарів ( $2,33 r_B$ ). Дана особливість використана при дослідженні граничного стану порід навколо пластової виробки.

### **4.3 Особливості зміни напруженого стану порід у боках пластової виробки**

Як було встановлено раніше й підтверджено на рис. 4.1-4.3 у боках штреку утвориться яскраво виражена зона опорного вертикального тиску. Поблизу виробки (на глибині  $H = 400$  м) величина  $\sigma_y$  перевищує 25 МПа. Якщо врахувати діапазон (10...40 МПа) зміни для Західного Донбасу міцності породи на стиск у зразку [72-74, 83], а також зниження цього показника в масиві кілька разів через ряд послаблюючих факторів [39, 41], то стає очевидним, що в боках

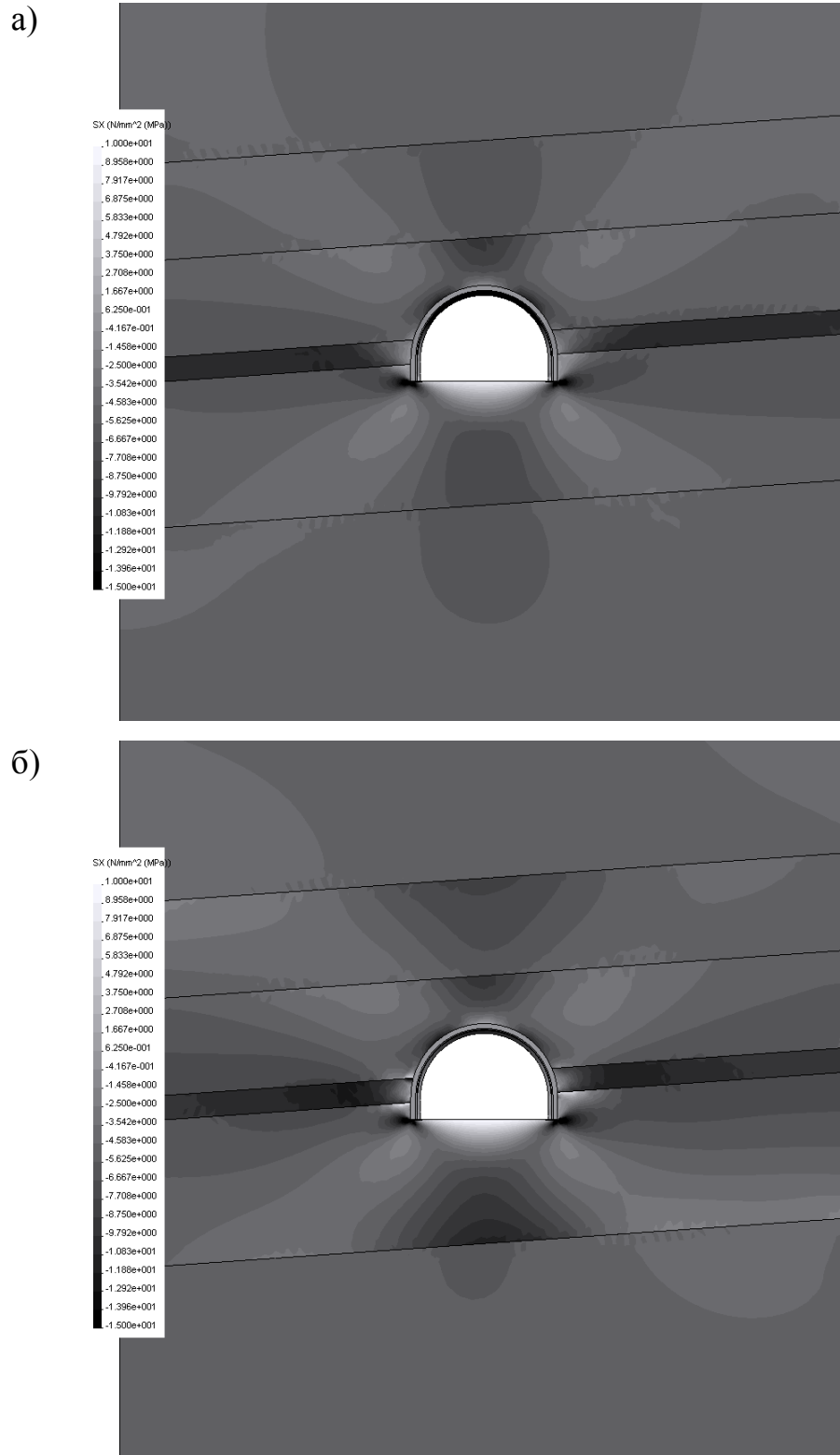


Рисунок 4.4 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  у варіантах:

а) Варіант №1; б) Варіант №18

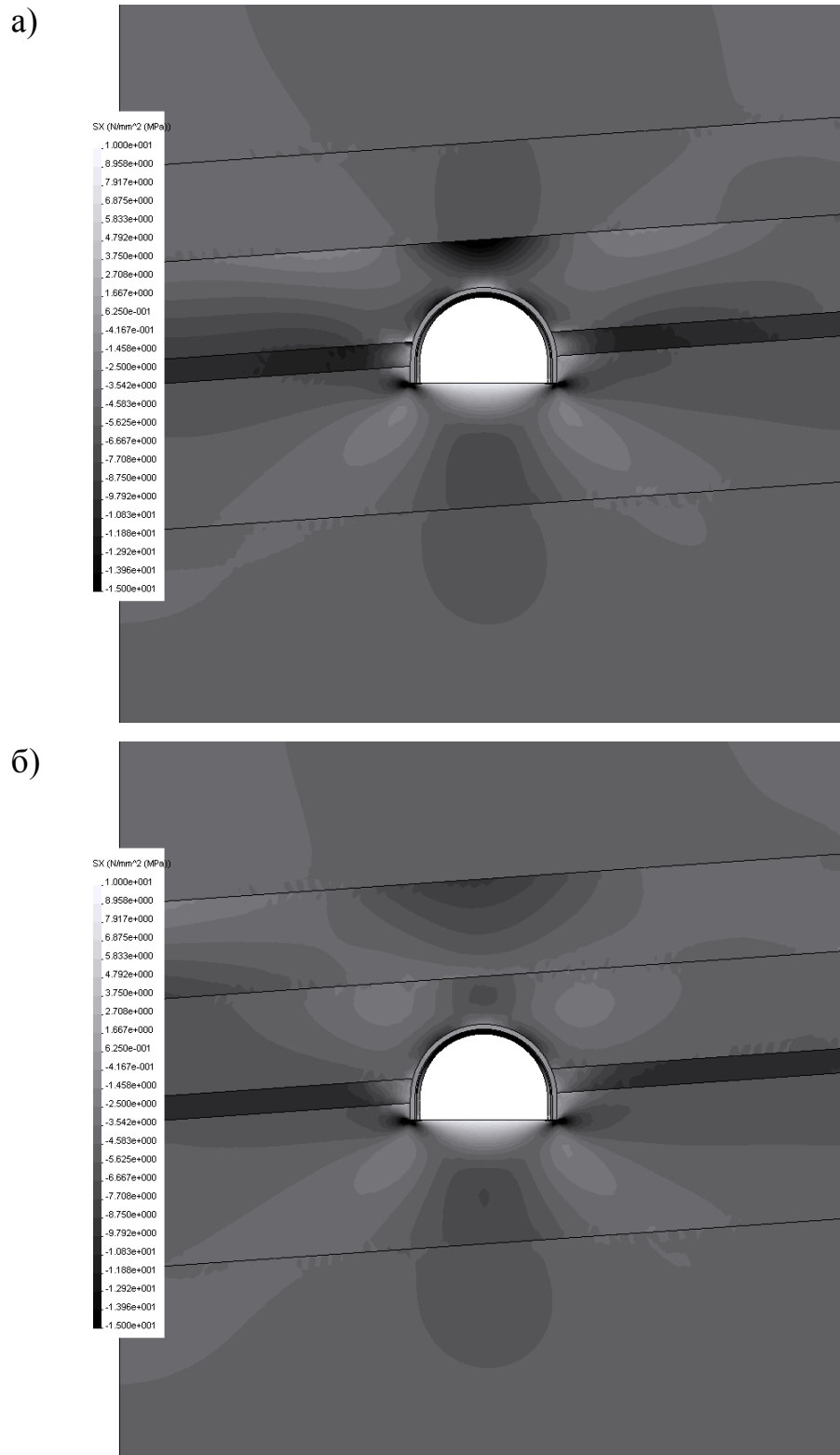


Рисунок 4.5 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  у варіантах:

а) Варіант №3; б) Варіант №10

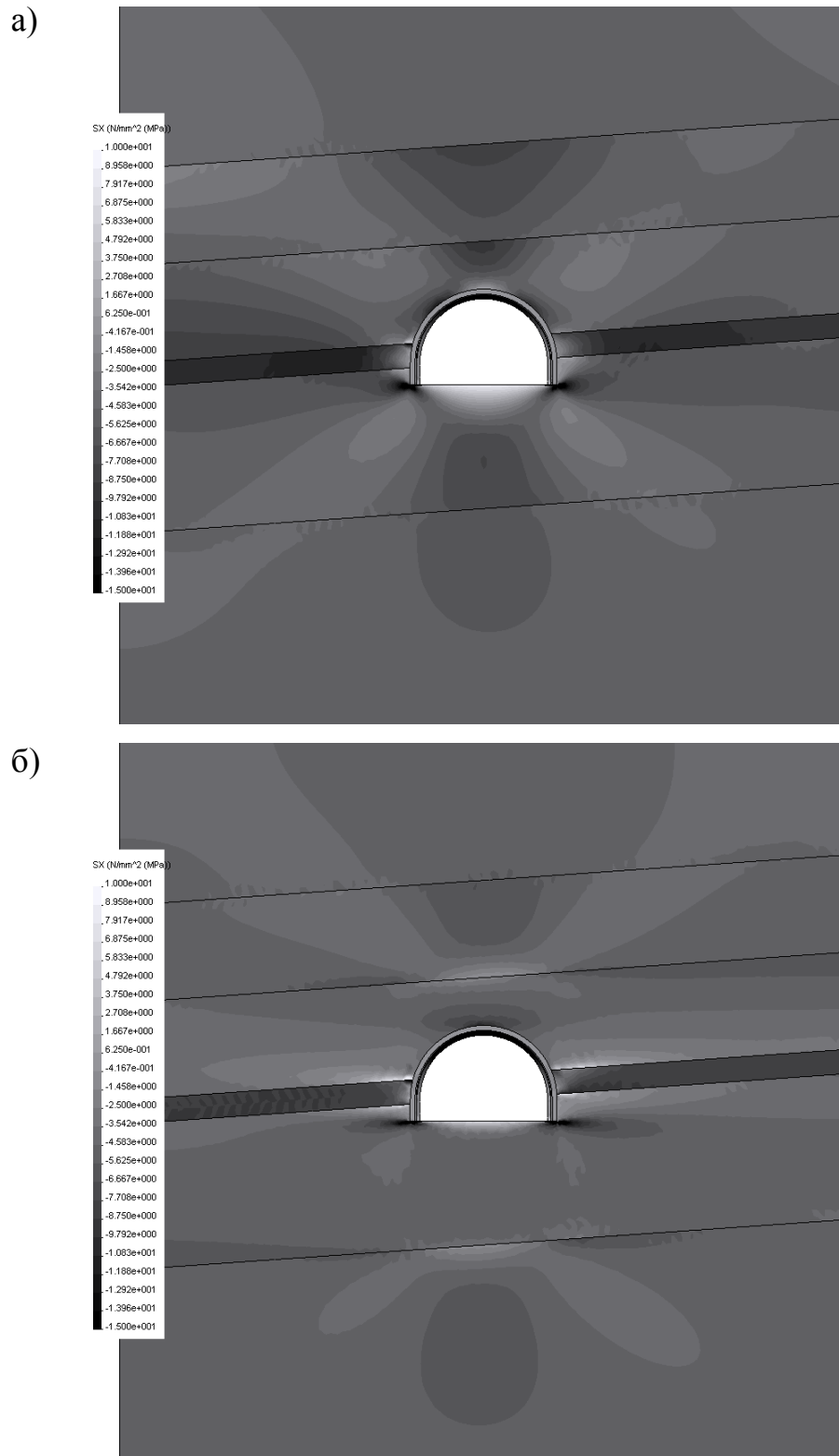


Рисунок 4.6 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  у варіантах:

a) Варіант №14; б) Варіант №7

штреку утвориться зона граничного стану порід. Найбільше об'єктивно оцінювати граничний стан масиву від дії стискаючих напружень треба по величині приведених напружень  $\sigma$ . Очевидно, що розміри зони граничного стану порід у боках штреку будуть залежати від їх міцнісних характеристик, але тенденції зміни ширини зони від співвідношень модулів деформації вміщуючих шарів порід можливо простежити. Для цього обрана умова  $\sigma \geq 20$  МПа, що відображає максимальну міцність порід Західного Донбасу з урахуванням мінімальної дії послаблюючих факторів. При інших умовах ширина зони граничного стану порід буде набагато більшою.

Епюри розподілу приведенного напруження  $\sigma$  для найбільш представницьких і «різнополюсних» співвідношень модулів деформації прилеглих шарів порід наведені на рис. 4.7-4.10. При однорідних деформаційних характеристиках шарів незалежно від їхньої величини ширина зони граничного стану породи постійна й дорівнює  $0,56 r_g$  (див. рис. 3.7). При підвищеній жорсткості шару підшви або другого шару покрівлі ширина зони становить  $(0,61...0,65) r_g$  (див. рис. 4.8).

Коли підвищеною жорсткістю володіють або перший шар покрівлі, або другий шар покрівлі й перший підшви, або одночасно обидва шари покрівлі інтервал зміни ширини зони граничного стану трохи розширюється до  $(0,51...0,65) r_g$  (див. рис. 4.9 і 4.10, а). Тільки, коли шари підвищеної жорсткості представляють безпосередню підшви і покрівлю одночасно ширина зони поширюється по нашаруванню вугільного пласта до  $0,93 r_g$  (див. рис. 4.10, б). Однак при цьому в самому вугільному пласті ширина зони помітно менша, ніж в інших варіантах і не перевищує  $0,42 r_g$ .

Таким чином, навіть коли сусідні породні шари розрізняються за модулем деформації більш, ніж в 3 рази, можна говорити про достатню стабільність мінімальної ширини зони граничного стану бічних порід (розрахункова межа міцності масиву дорівнює 20 МПа) порядком  $(0,51...0,65) r_g$ . Варіант одночасної підвищеної жорсткості шарів безпосередньої покрівлі й підшви одночасно є

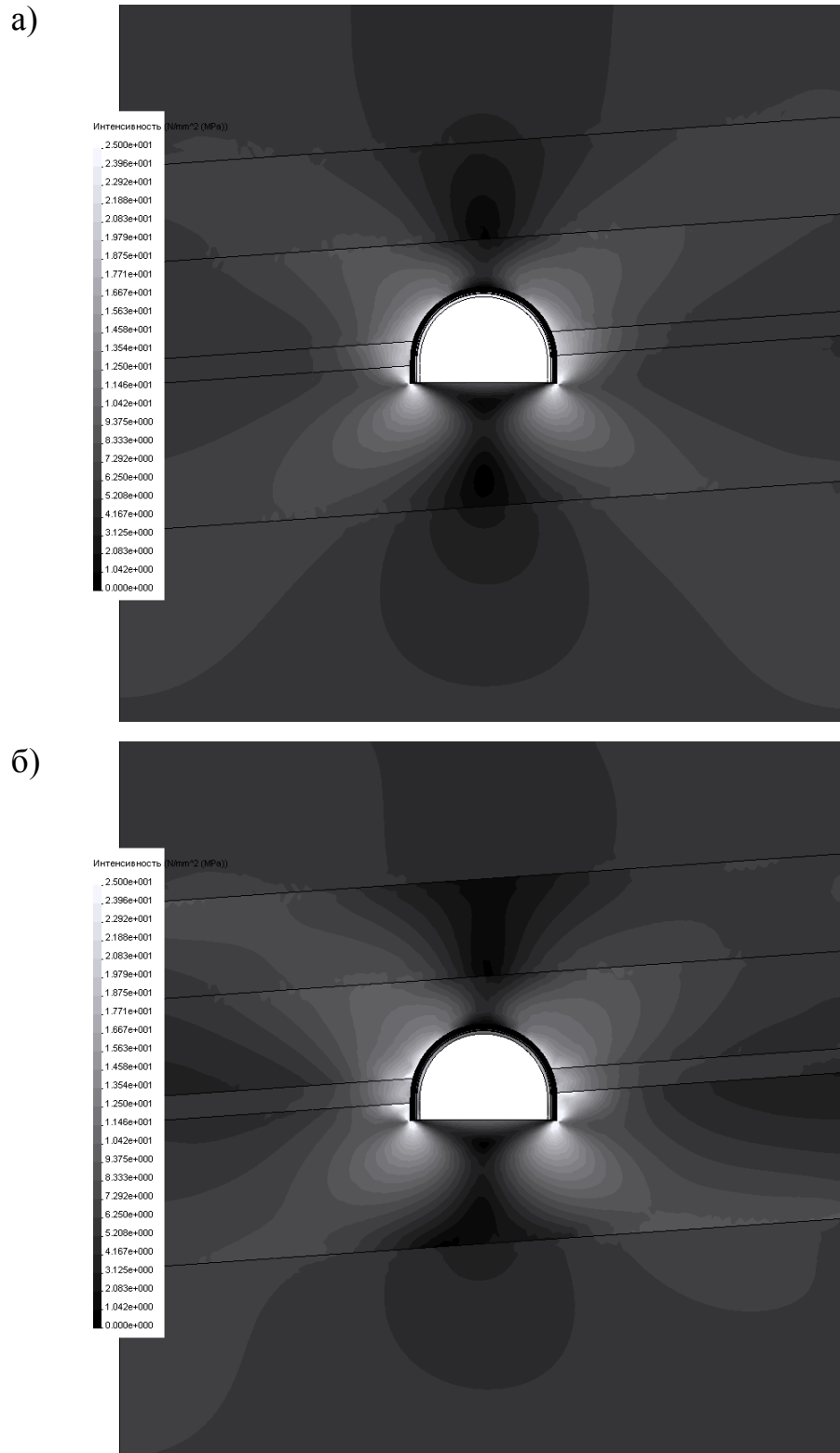


Рисунок 4.7 – Епюри приведенных напряжений  $\sigma$  у вариантах:

а) Вариант №1; б) Вариант №18

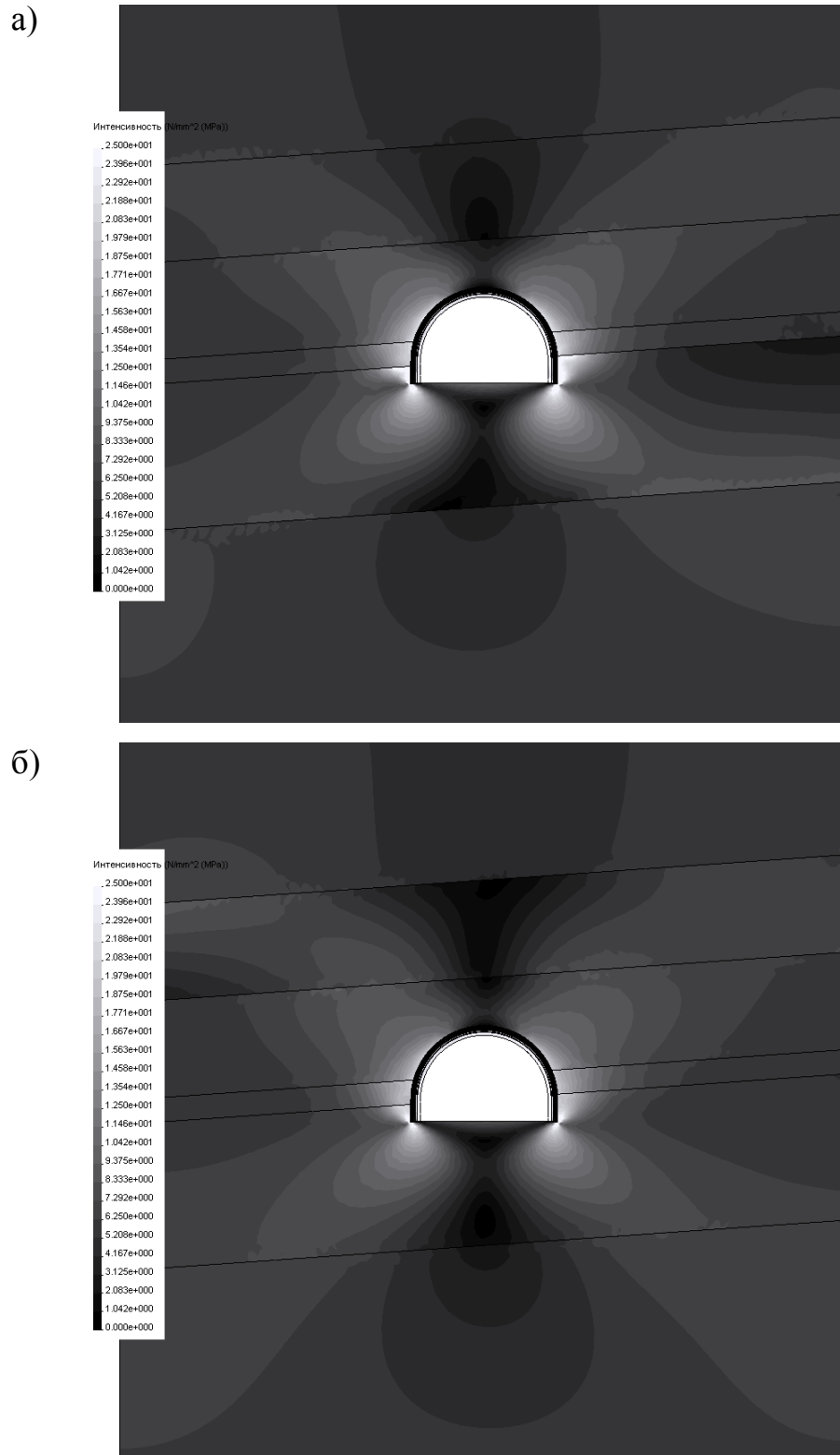
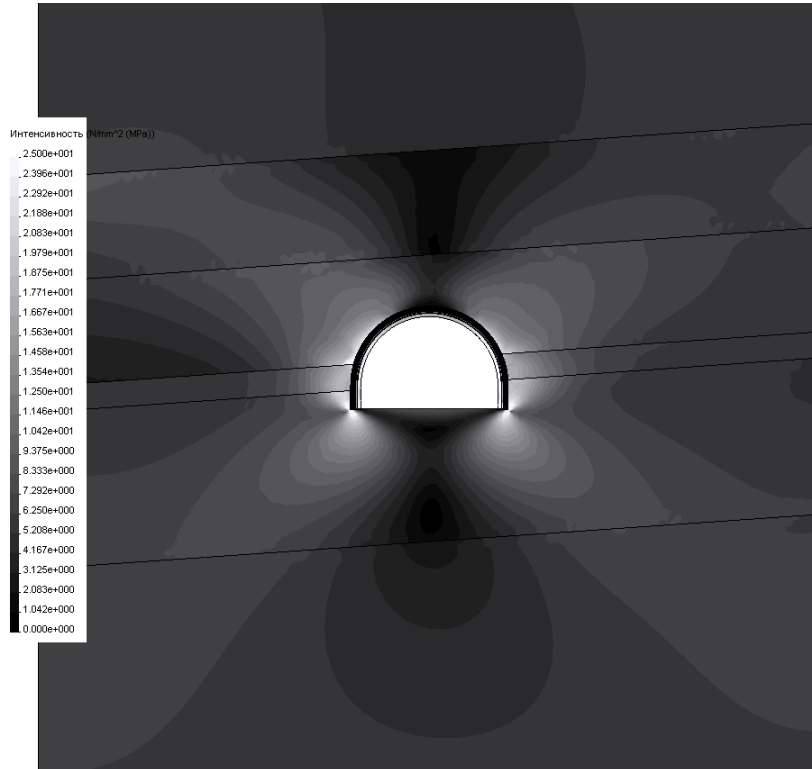


Рисунок 4.8 – Епюри приведенных напряжений  $\sigma$  у вариантах:

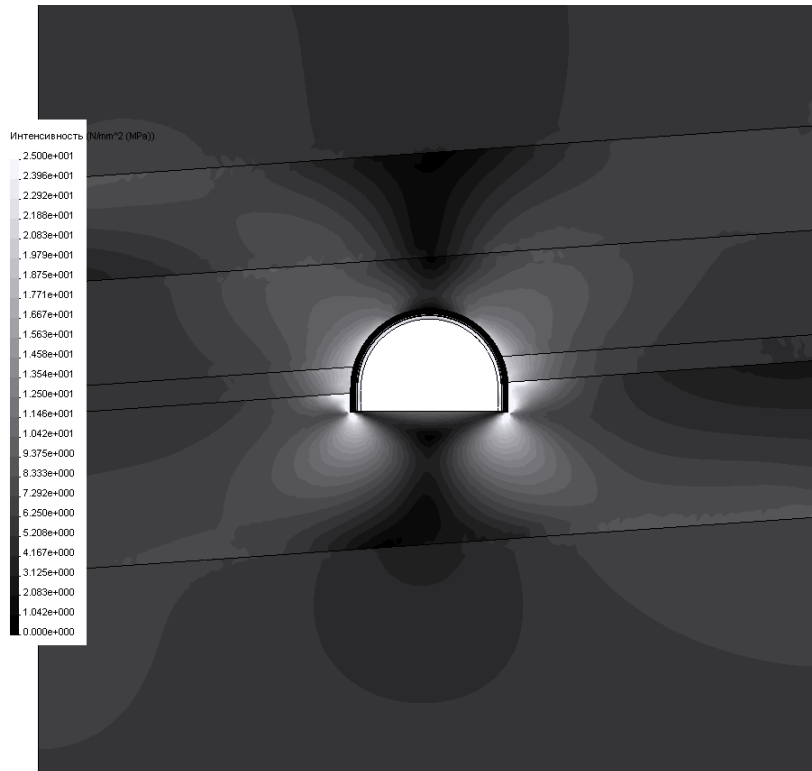
а) Вариант №8; б) Вариант №10



а)

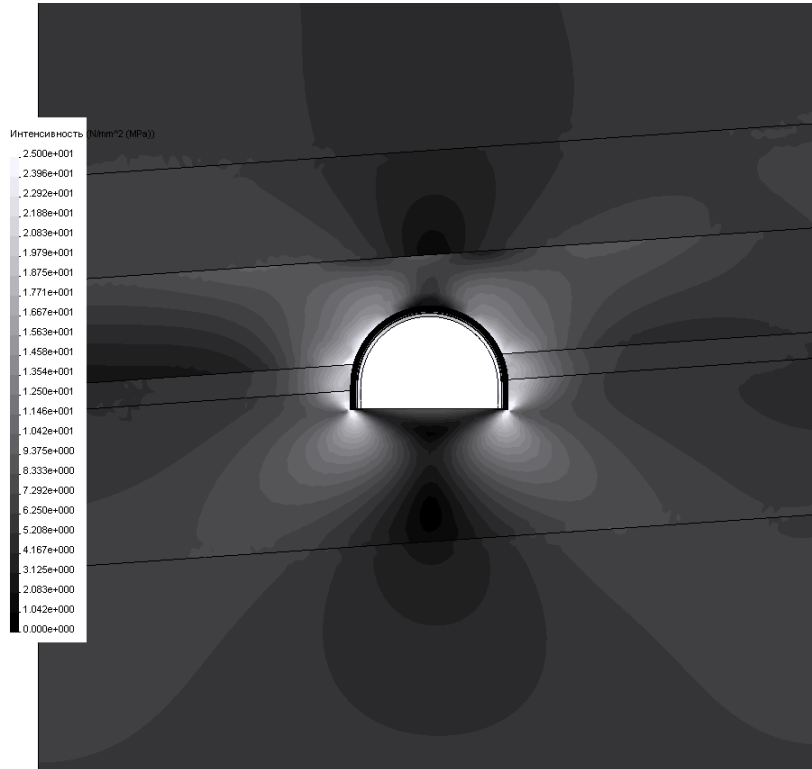


б)

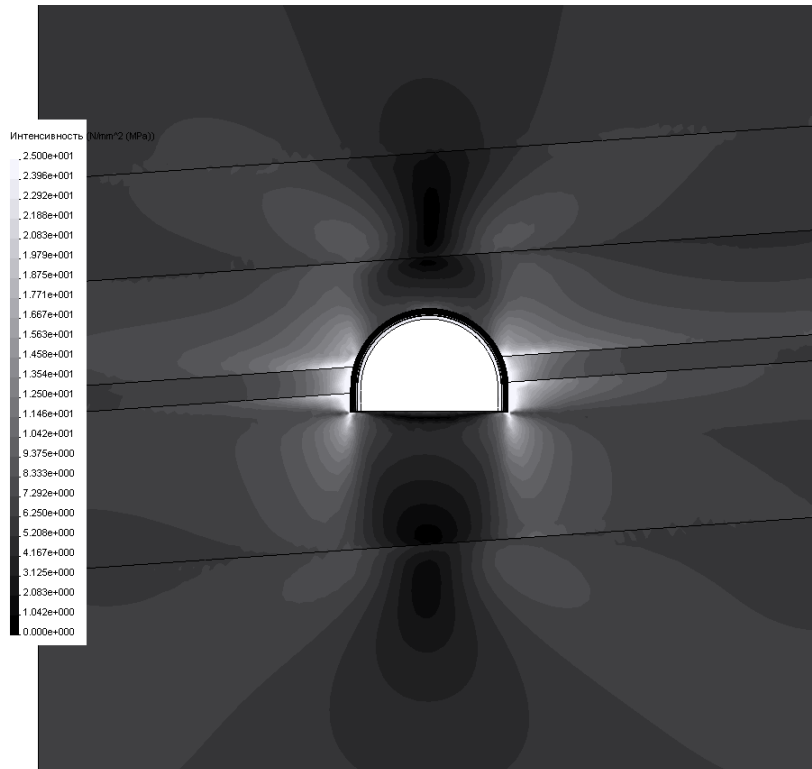
Рисунок 4.9 – Епюри приведених напружень  $\sigma$  у варіантах:

а) Варіант №14; б) Варіант №16

а)



б)

Рисунок 4.10 – Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  у вариантах:

а) Вариант №3; б) Вариант №7

гіпотетичним і на шахтах Західного Донбасу не зустрічається.

Очевидно, що в умовах, коли розрахункова міцність на стиск менш ніж 20 МПа, ширина зони граничного стану породи в боках магістрального штреку значно збільшується, але тенденції зв'язку з деформаційними характеристиками шарів зберігаються.

#### **4.4 Особливості зміни напруженого стану порід підосви пластової виробки**

Зв'язок напруженого стану порід підосви з деформаційними характеристиками прилеглих шарів аналогічна виявленим закономірностям для порід покрівлі. Різниця полягає лише в тому, що розміри зони розвантаження, а також зони з  $\sigma_y = 0$  у підосві штреку трохи менші, ніж у покрівлі (див. рис. 4.1-4.6). Також, за винятком варіанта №7, спостерігається достатня стабільність глибини зони, де вертикальні напруження  $\sigma_y = 0$  (граничний стан слабких порід Західного Донбасу по розтягальним напруженням), на рівні  $(1,2...1,4)r_g$ . Розтягальні горизонтальні напруження  $\sigma_x$  поширюються на набагато меншу глибину. Але, зміна розтягання на стиск із глибиною першого шару підосви в сполученні з дією на цих ділянках розтягальних напружень  $\sigma_y$  тільки інтенсифікують процес настання граничного стану породи. Таке положення речей спостерігається й для інших «різнополюсних» співвідношень модулів деформації прилеглих шарів (рис. 4.11 і 4.12). Причому, у нижній частині шару безпосереднього підосви стискаючі напруження  $\sigma_x$  іноді досягають (15...25) МПа, що саме по собі може призвести до руйнування слабкої породи. Тому, з деяким запасом можна стверджувати, що граничний стан охоплює весь перший породний шар підосви під штреком, тобто поширюється на глибину до  $2r_g$ . Цей висновок врахований при дослідженні граничного стану підосви пластової виробки.

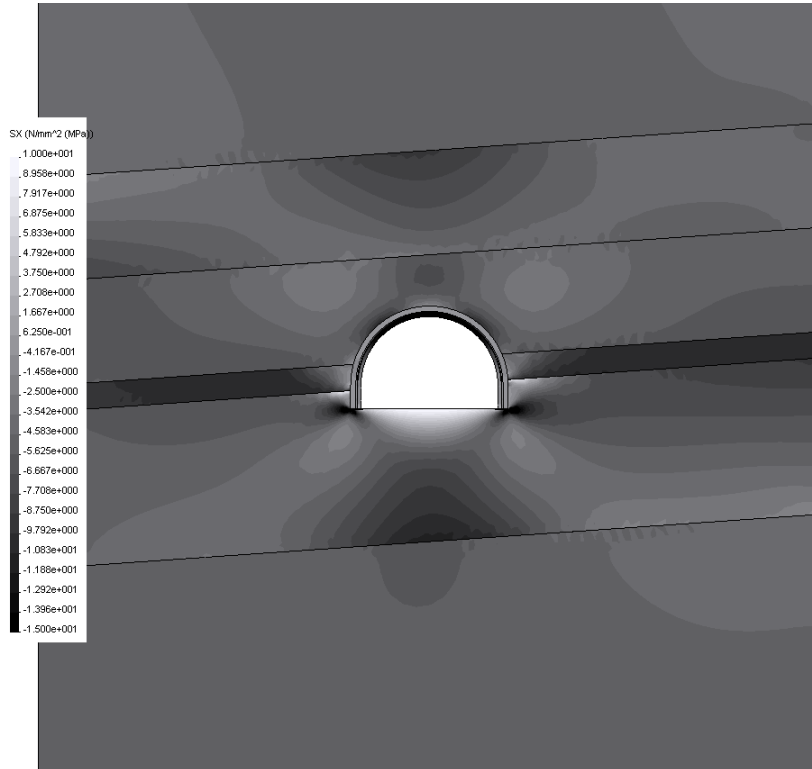
#### 4.5 Характер зміни напруженого стану рамного кріплення пластової виробки

У рамному кріпленні максимуми всіх компонентів напружень розташовуються на контакті стояка з опорною плитою, що пов'язано зі специфічними крайовими ефектами умов обпирання й дією досить зосереджених навантажень. Однак цей локальний вузол не характеризує несучу здатність (граничний стан) самого рамного кріплення, а основним критерієм є дія компонентів  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xy}$  (і в результаті  $\sigma$ ) по всьому контурі рами, що й визначає задачу даних досліджень. При цьому інтерес представляє не стільки абсолютне значення перерахованих компонентів напружень, скільки відносна їхня зміна, викликана зміною співвідношень модулів деформації прилеглих до пластової виробки породних шарів.

За базу порівняння обраний варіант №1, коли весь масив однорідний з пониженою жорсткістю (див. табл. 4.1). Вертикальні напруження  $\sigma_y$  у склепінні рами переважно коливаються навколо нульового значення з невеликим стиском на зовнішньому контурі. Найбільш навантажені стояки рами в більшій мірі стискаючими напруженнями; але поява розтягальних напружень у цих же перетинах у протилежних крайніх волокнах вказує на наявність згинального моменту. У стояках рами стискаючі напруження  $\sigma_y$  перевищують розтягальні в 7,3...7,9 разів, що призводить до необхідності врахування спільної дії всіх видів навантаження при визначенні граничного стану матеріалу рами. Звертає увагу той факт, що коли в покрівлі виробки є хоча б один жорсткий породний шар стискаючі й розтягальні напруження  $\sigma_y$  знижуються до 1,45 рази.

Горизонтальні напруження  $\sigma_x$  відносно невеликі в стояках рами, а в її склепінні переважають стискаючі напруження з переходом у розтягальні в нижніх волокнах перетину, що також вказує на дію згинального моменту у склепінні. Зниження величини  $\sigma_x$  під захистом більш жорстких породних шарів менш помітно, чим для компоненти  $\sigma_y$ .

а)



б)

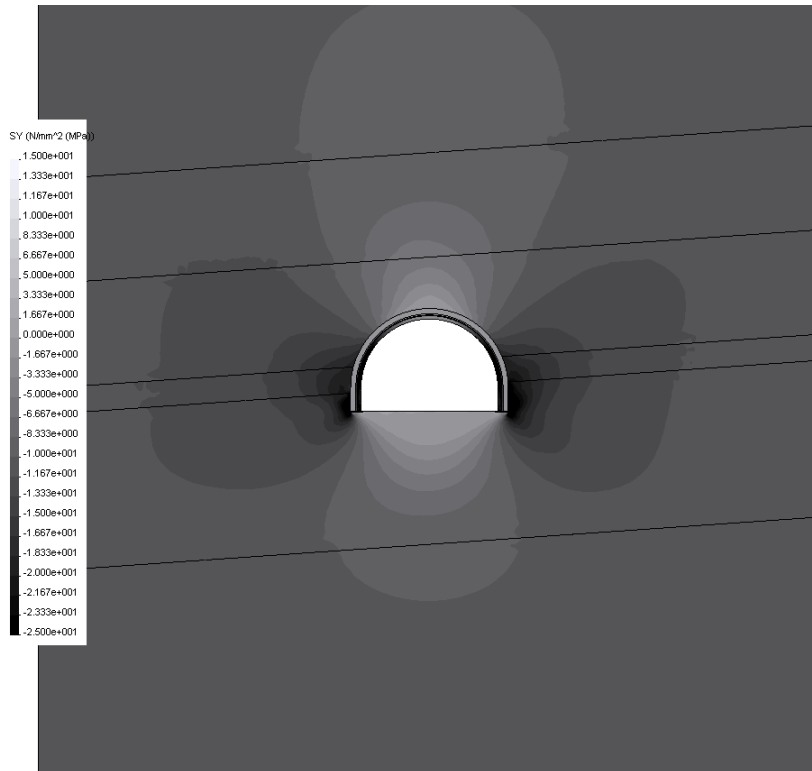
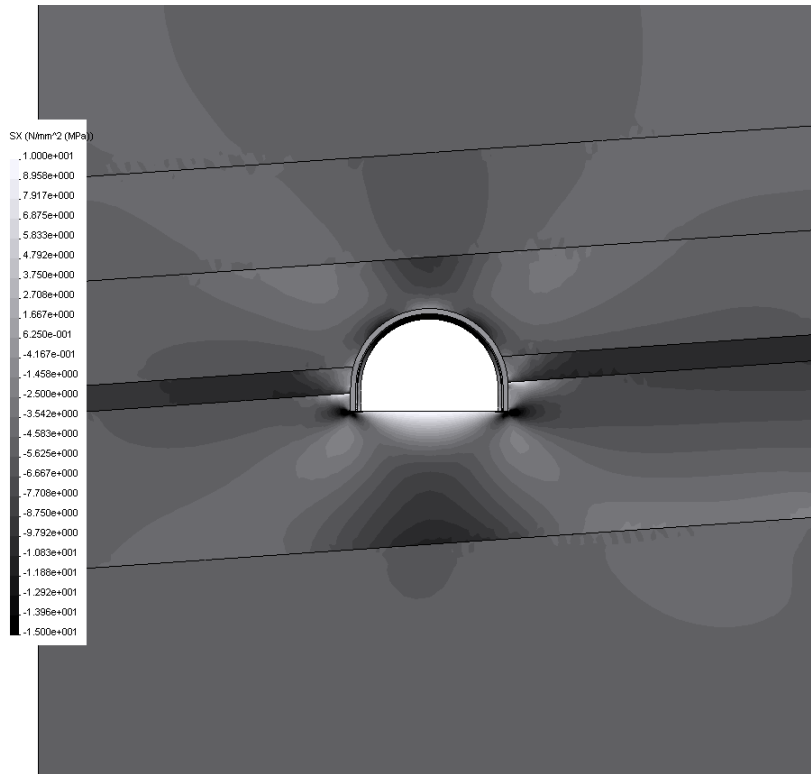


Рисунок 4.11 – Епюри горизонтальних (а) і вертикальних (б) напружень для варіанта №16

а)



б)

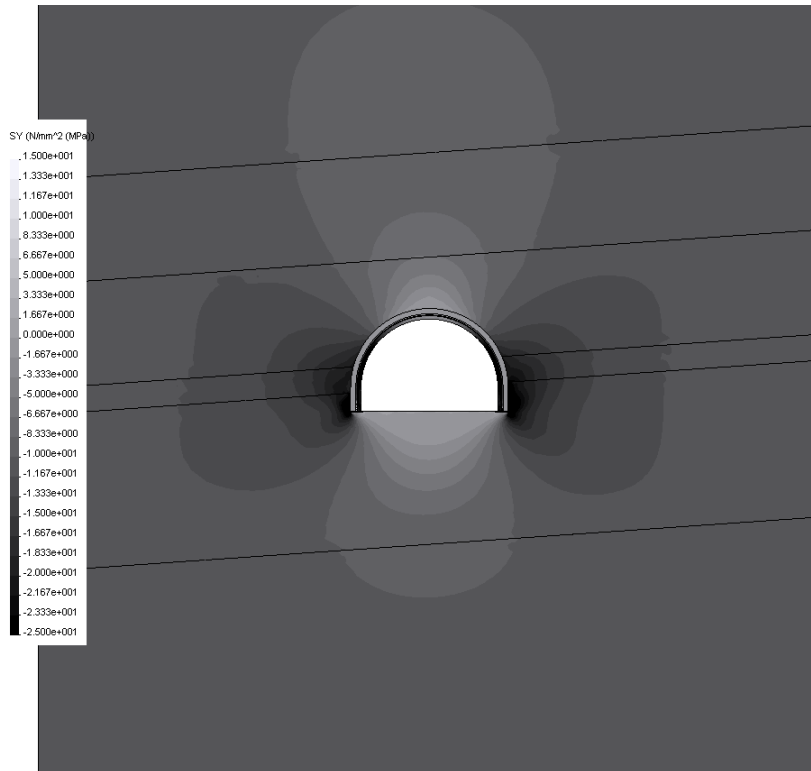


Рисунок 4.12 – Епюри горизонтальних (а) і вертикальних (б) напружень для варіанта №8

Дотичні напруження  $\tau_{xy}$  по контуру рами розподілені практично симетрично щодо вертикальної осі виробки зі зміною знака при переході з однієї півгілки контуру на іншу.

Максимуми  $\tau_{xy}$  розташовані, приблизно під кутом  $40^\circ \dots 50^\circ$  до вертикальної осі виробки. Під захистом більш жорстких породних шарів у покрівлі максимуми  $\tau_{xy}$  знижуються до 1,7 раз.

Приведені напруження  $\sigma$  мають максимуми в стояках і склепінні рами, але останній, як правило, менший по величині, чим інші. Закономірність зв'язку  $\sigma$  з деформаційними характеристиками породних шарів має такі тенденції. Якщо взяти за 100% величину  $\sigma$  для варіанта №1 однорідного шаруватого масиву зі знизеним модулем деформації, то більш висока (на 7,7%) величина  $\sigma$  проявилася у варіанті №8 з породним шаром підвищеної жорсткості в підшві виробки, що може бути пояснено наявністю жорсткої опори для стояків рами, яка перешкоджає її піддатливості й «відходу» від частини гірського тиску.

У варіанті №10 підвищеної жорсткості другого шару в покрівлі виробки приведені напруження трохи нижче базового (на 3,8%) через якість, хоча й досить слабке обмеження впливу переміщень верхніх порід у порожнину виробки.

У варіантах №3, 7, 14 підвищеної жорсткості першого породного шару покрівлі зниження  $\sigma$  відбувається більш інтенсивно (20,6%...23,7%) через більш ефективне обмеження переміщень верхніх порід у порожнину виробки. І, нарешті, коли всі прилеглі породні шари (у тому числі й підшви по варіанту №18) мають підвищену жорсткість відбувається максимальне обмеження зсувів вміщуючого масиву і величина приведених напружень знижується на 57,5%, тобто, більш, ніж удвічі.

За підсумками дослідження даного розділу можна зробити ряд висновків.

По-перше, незважаючи на різні співвідношення деформаційних характеристик шарів порід в навколо пластової виробки в її покрівлі й підшві розміри зон граничного стану досить стабільні й охоплюють:

– у покрівлі два породних шари (по висоті до  $2,33 r_g$ );

– у підосві один породний шар (по глибині до  $2,0 r_{\theta}$ ).

Граничний стан наступає в приконтурних породах на висоту  $(1,4...1,5) r_{\theta}$  у покрівлі й глибину  $(1,2...1,4) r_{\theta}$  у підосві виробки від дії розтягальних напружень. При наближенні до границь породних шарів у покрівлі й підосві граничний стан наступає від дії також горизонтальних стискаючих напружень у результаті прогину породних шарів у порожнину виробки.

По-друге, у боках виробки граничний стан порід наступає в результаті дії вертикальних стискаючих напружень  $\sigma_y$  (на зразок опорного тиску). Ширина зони граничного стану залежить від міцнісних характеристик породних шарів і мінімальні її розміри (при максимальній міцності) для Західного Донбасу досить стабільні й становлять порядком  $(0,55...0,65) r_{\theta}$ . При менш міцних вміщуючих породах ширина зони граничної рівноваги інтенсивно розширюється.

По-третє, максимумами приведенного напруження в рамному кріпленні, що визначають її несучу здатність, істотно залежать від співвідношення деформаційних характеристик прилеглих породних шарів. Зниження напружень  $\sigma$  відбувається у випадку залягання в безпосередній покрівлі хоча б одного породного шару підвищеної жорсткості.



## **5 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ НАПРУЖЕНЬ У ПОКРІВЛІ Й ПІДОШВІ ВИРОБКИ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ**

При описі методики досліджень впливу співвідношення деформаційних характеристик породних шарів було відзначено, що весь комплекс розрахунків по переборі зазначених у табл. 4.1 варіантів був виконаний також для глибин  $H = 200$  м і  $H = 600$  м. Таким чином, охоплений весь діапазон зміни глибини розташування пластових виробок, характерний для Західного Донбасу.

Тенденції зміни НДС системи «шаруватий масив-кріплення штреку» при варіюванні модулів деформації шарів для глибин  $H = 200$  м і  $H = 600$  м залишаються такими ж, як і для глибини  $H = 400$  м; змінюються тільки кількісні показники. Задача даних досліджень полягає в оцінці ступеня впливу глибини  $H$  розташування пластової виробки на НДС системи й особливо на розміри зони граничного стану порід.

### **5.1 Дослідження змін напружень у породах покрівлі виробки**

В однорідному шаруватому масиві зниженої жорсткості (варіант №1) епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  якісно подібні для глибин  $H = 200$  м і  $H = 600$  м (рис. 5.1) з глибиною  $H = 400$  м (див. рис. 4.1, а). За критерієм  $\sigma_y = 0$  висота зони граничної рівноваги в покрівлі становить  $1,02 r_g$  при  $H = 200$  м і  $1,81 r_g$  при  $H = 600$  м. Якщо врахувати, що відповідна висота при  $H = 400$  м склала  $1,40 r_g$ , то спостерігається близький до лінійного зв'язок висоти зони граничної рівноваги порід у покрівлі виробки із глибиною її розташування. Однак інтенсивність росту висоти зони граничної рівноваги менша росту параметра  $H$ : при збільшенні  $H$  в 3 рази (з 200 м до 600 м) висота зони граничної рівноваги порід зросла тільки в 1,77 рази.

Аналіз інших «різнополюсних» варіантів (№ 3, 7, 8, 10, 14, 16 і 18 у табл. 4.1) підтвердив два висновки (рис. 5.2...5.8):

- по-перше, близьку до лінійного зв'язок висоти зони граничної рівноваги порід у покрівлі виробки із глибиною її розташування;
- по-друге, досить вузький (за винятком не характерного для Західного Донбасу варіанта №7) інтервал зміни висоти зони із  $\sigma_y = 0$  при різних співвідношеннях модулів деформації прилеглих породних шарів покрівлі й підшви:  $(0,76...1,26)r_B$  при  $H = 200$  м,  $(1,12...1,58)r_B$  при  $H = 400$  м і  $(1,40...1,91)r_B$  при  $H = 600$  м.

Як видно з наведених даних зі збільшенням глибини розташування виробки відносний інтервал зміни висоти зони граничної рівноваги порід зменшується (40% при  $H = 200$  м, 29% при  $H = 400$  м, 27% при  $H = 600$  м), тобто знижується ступінь впливу співвідношення деформаційних характеристик породних шарів, що вміщують штрек.

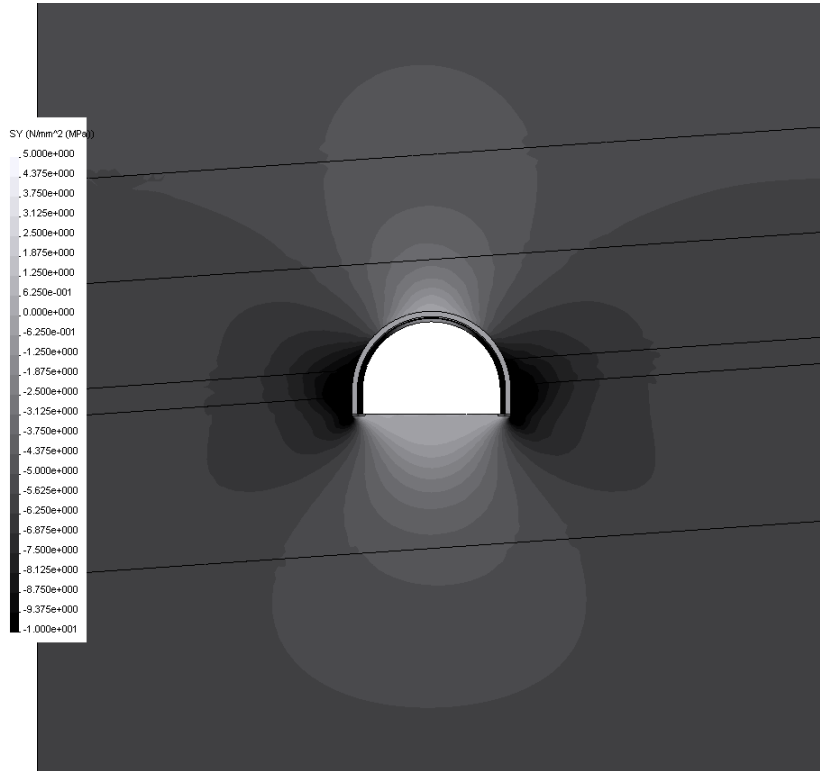
## 5.2 Дослідження змін напружень у породах підшви виробки

Поблизу контуру виробки в породах підшви пластової виробки, також як і в покрівлі, діють горизонтальні розтягальні напруження  $\sigma_x$ , однак у підшві зона їхньої дії набагато більша, що свідчить про деформування підшви в порожнину виробки. Глибина поширення горизонтальних розтягальних напружень оцінена за умовою  $\sigma_x = 0$ , яке по суті є умовою граничного стану порід через практично повну відсутність опору розтягання слабких порід Західного Донбасу з урахуванням дії послаблюючих факторів [84, 55].

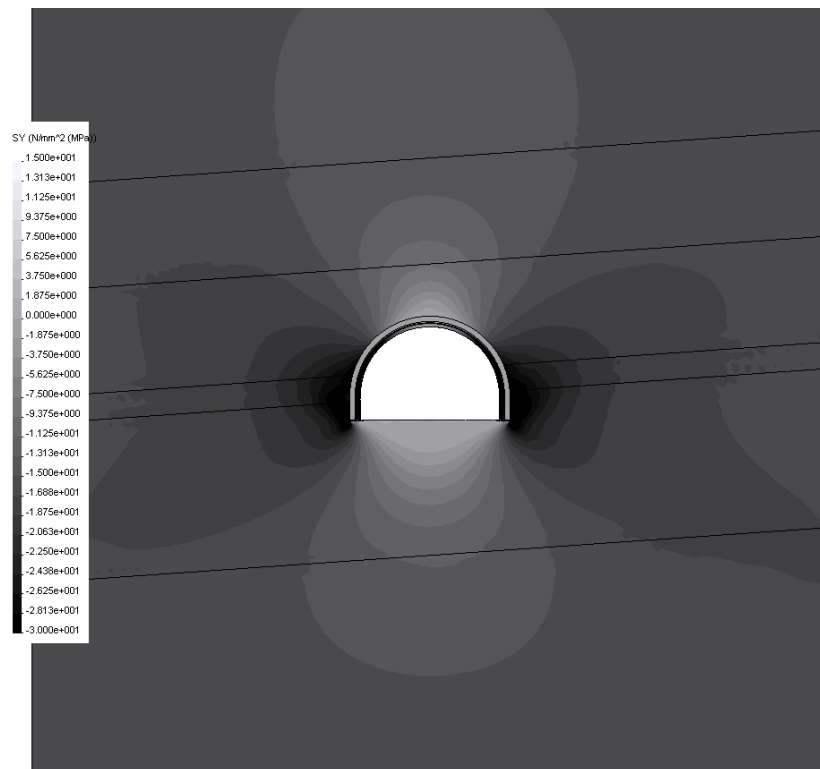
Аналіз епюр (рис. 5.9...5.16) горизонтальних напружень у підшві виробки при різній глибині її розташування призводить до наступних висновків:

- по-перше, глибина поширення розтягальних напружень  $\sigma_x$  при всіх варіантах співвідношень модулів деформації прилеглих породних шарів коливається в досить вузькому інтервалі  $(0,55...0,65)r_B$ ;
- по-друге, глибина поширення розтягальних напружень  $\sigma_x$  практично не залежить від глибини розташування виробки.

а)



б)

Рисунок 5.1 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта №1при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

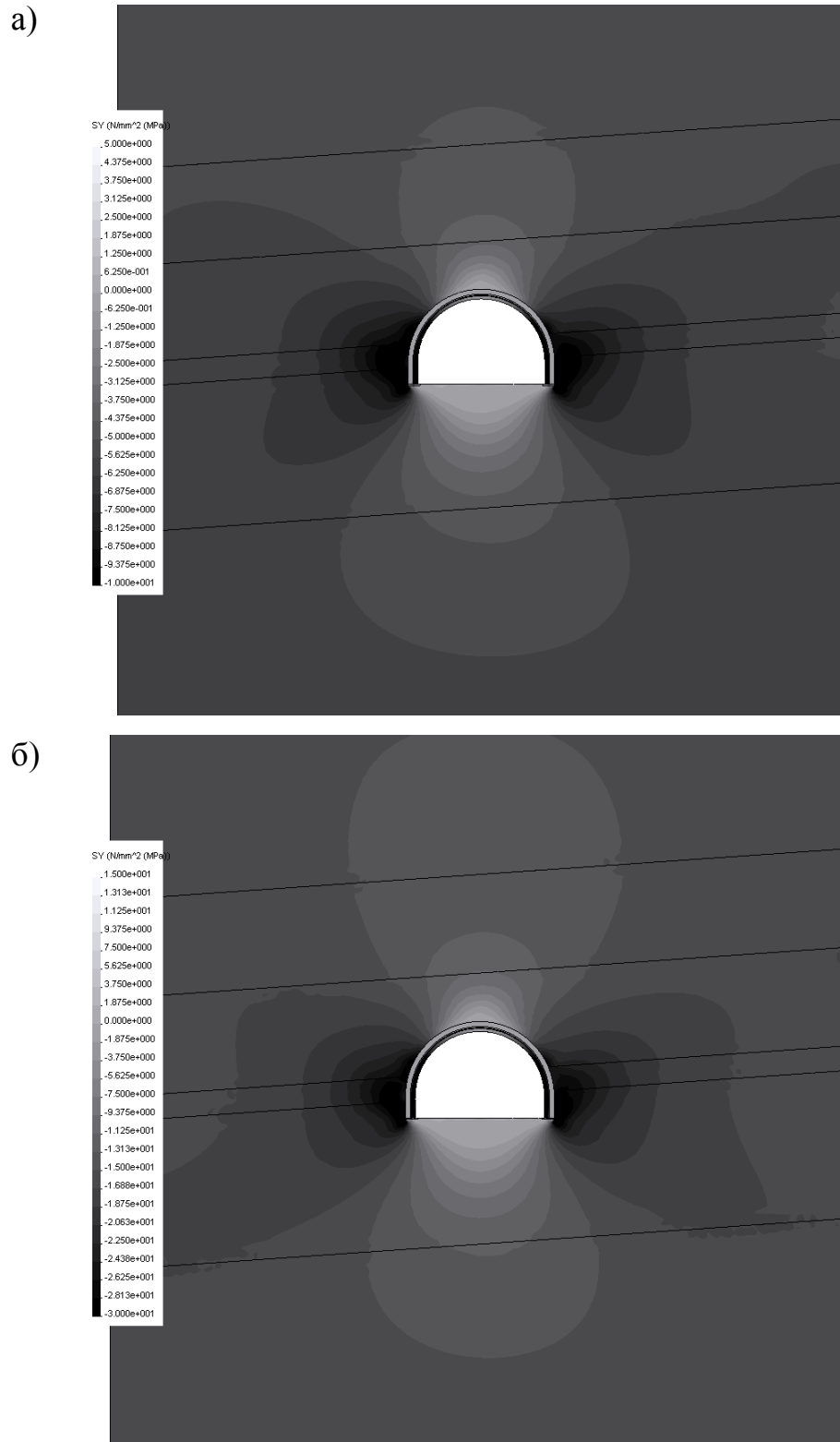
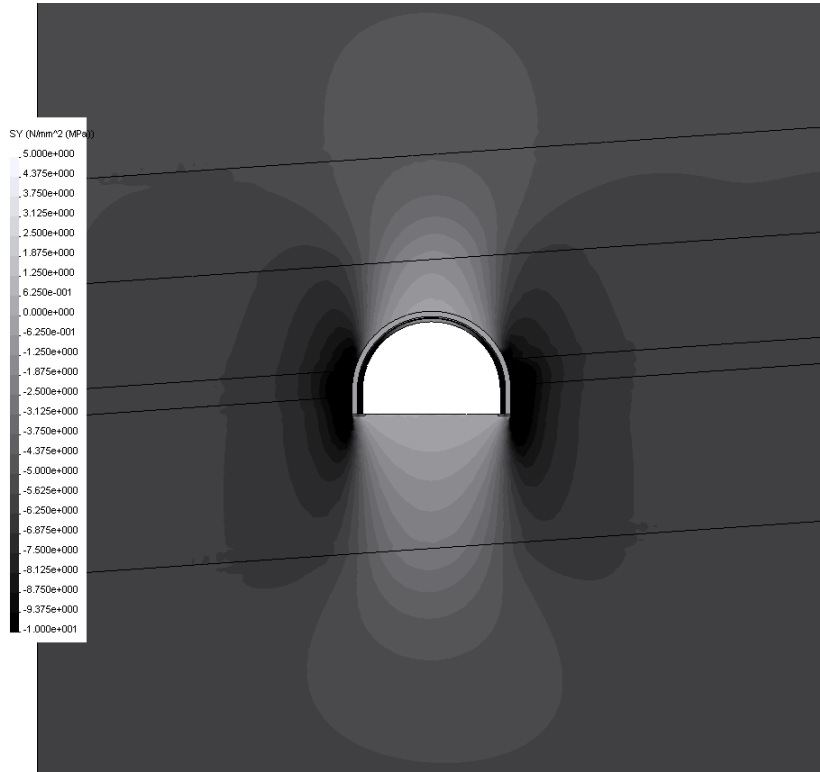


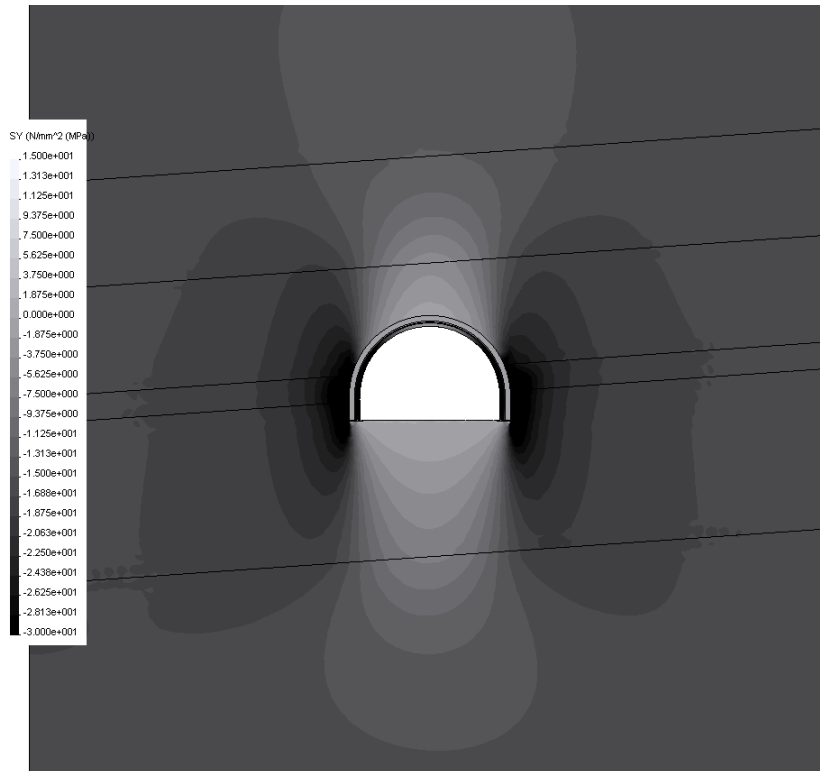
Рисунок 5.2 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта № 3

при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

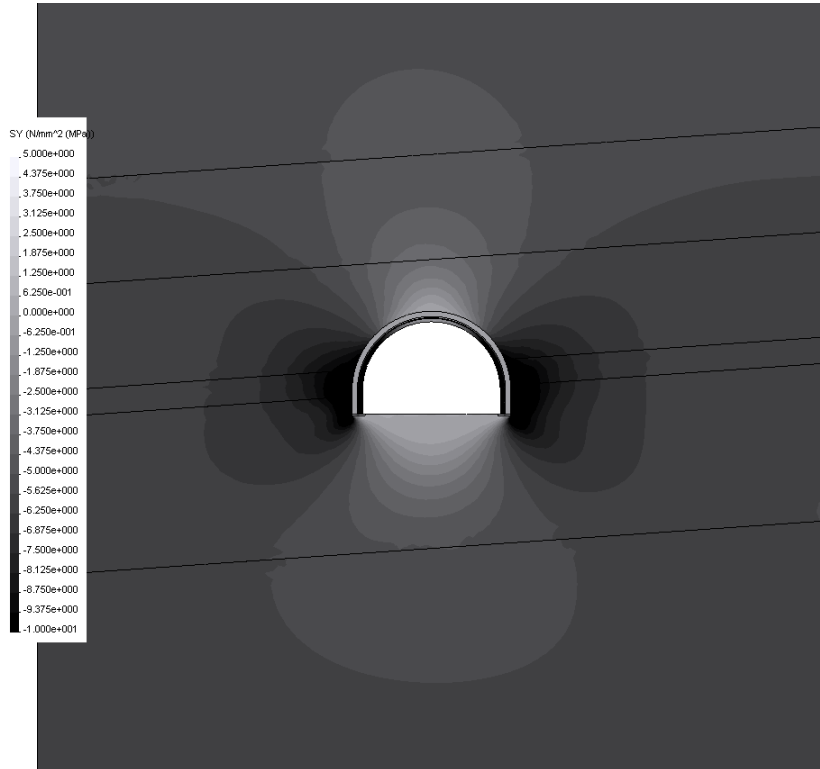
а)



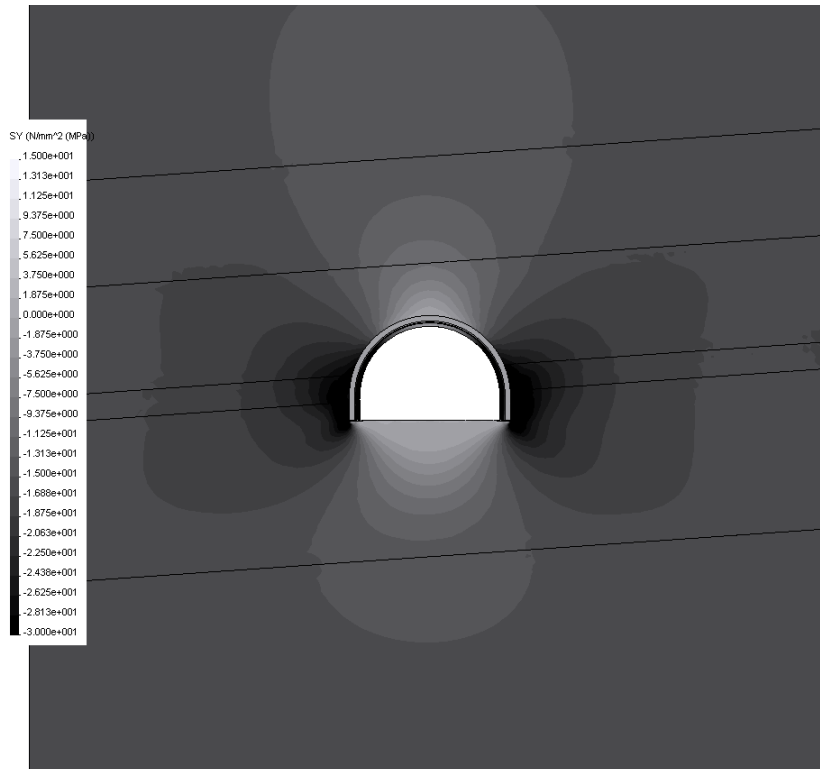
б)

Рисунок 5.3 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта №7при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

а)



б)

Рисунок 5.4 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта №8при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

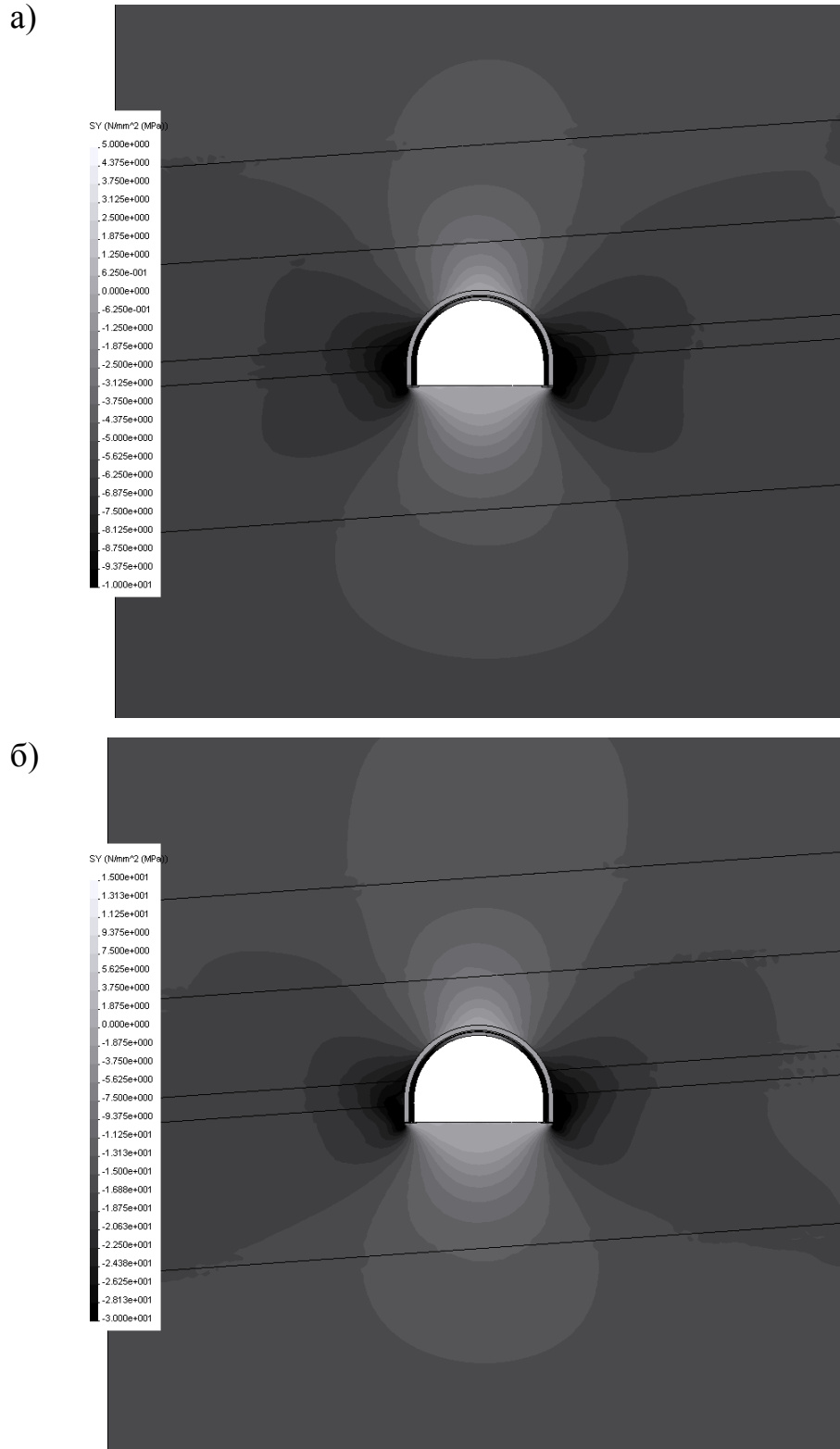
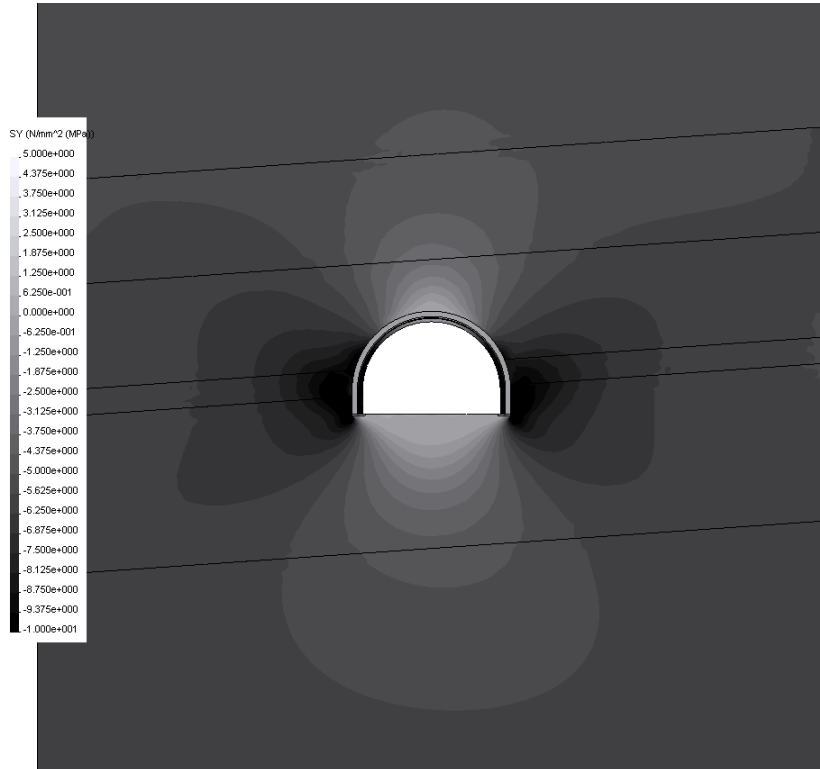


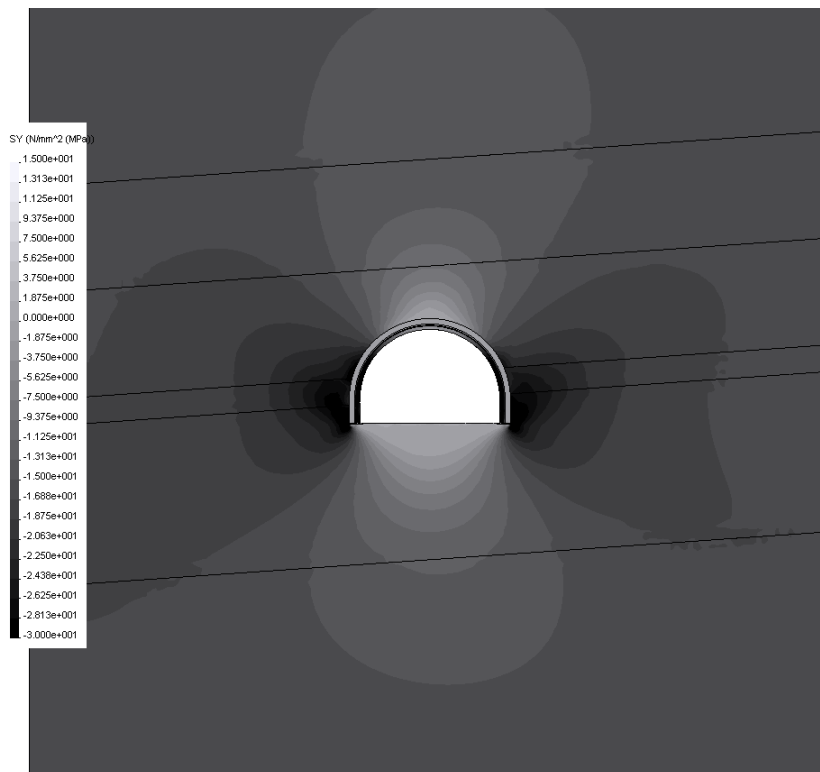
Рисунок 5.5 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта №10

при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

а)

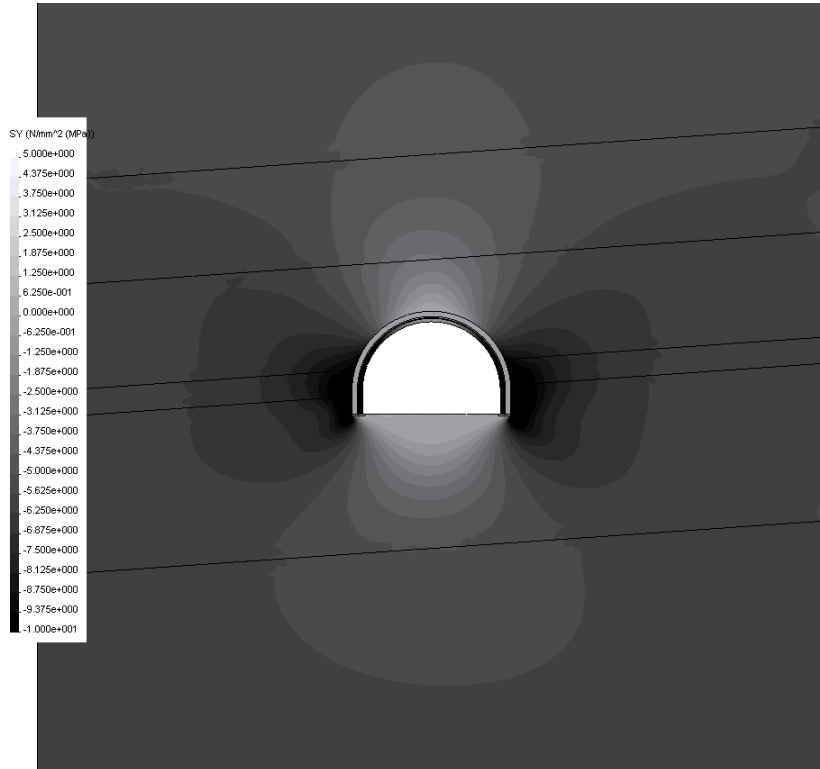


б)

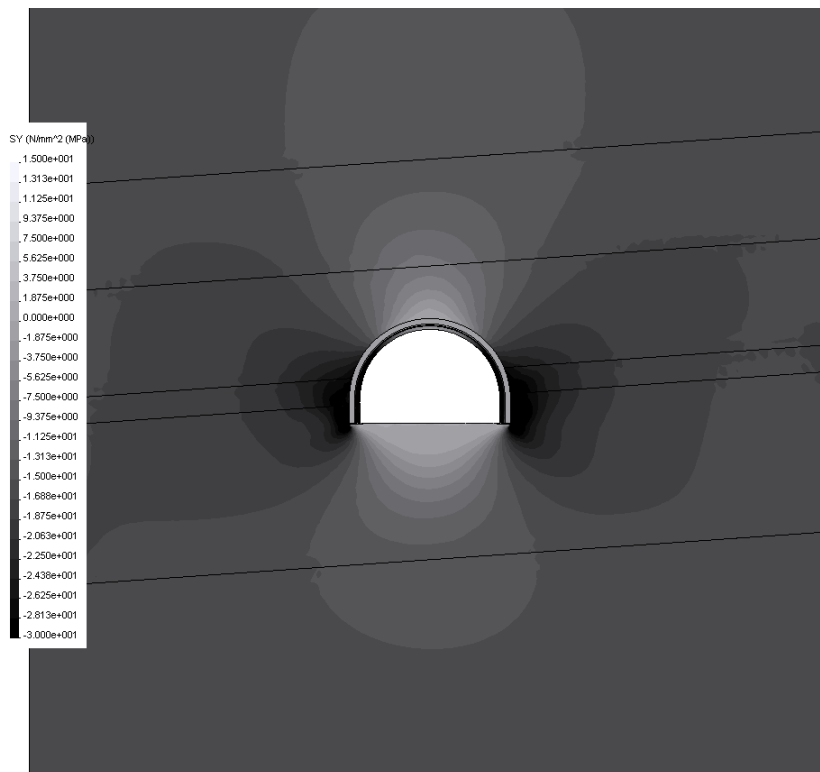
Рисунок 5.6 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта №14при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м



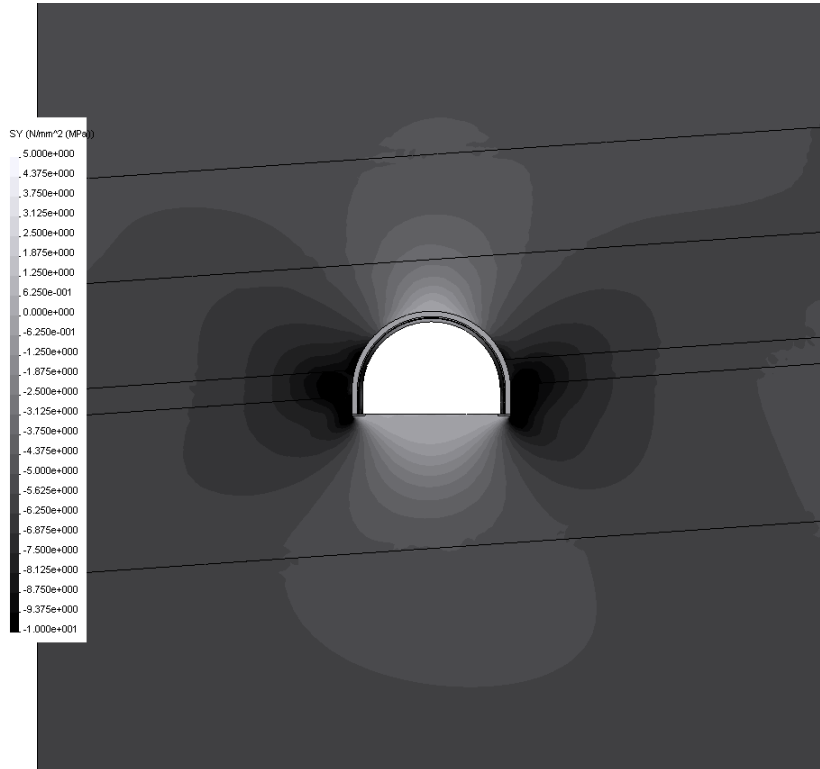
а)



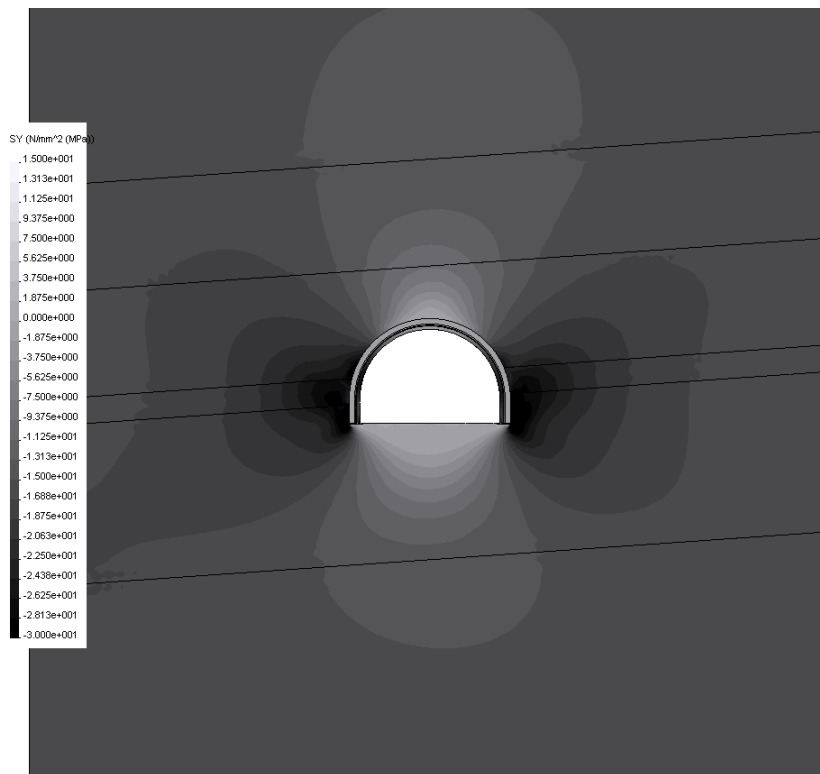
б)

Рисунок 5.7 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта № 16при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

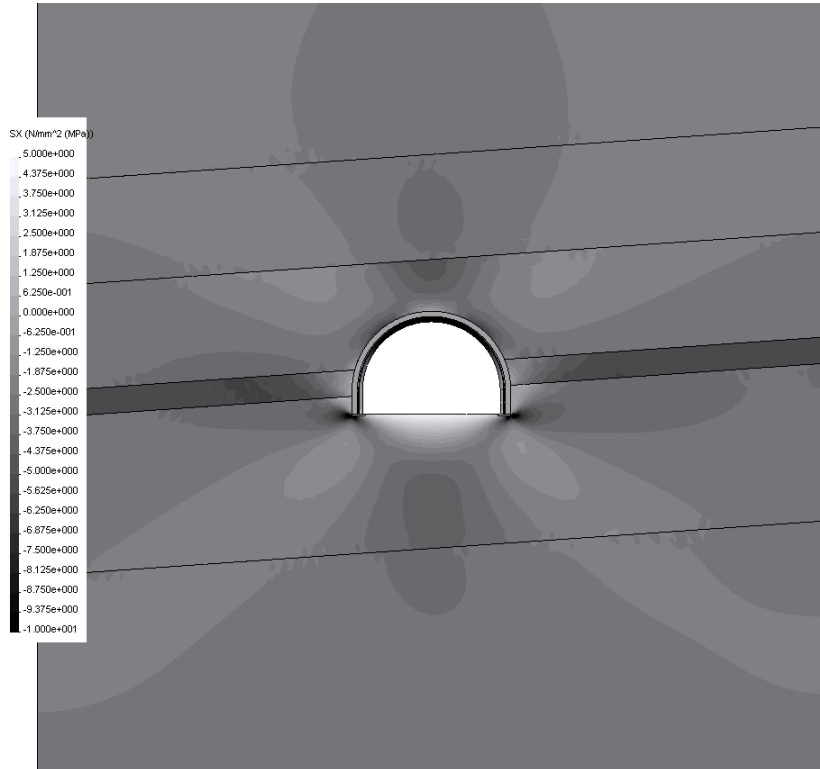
а)



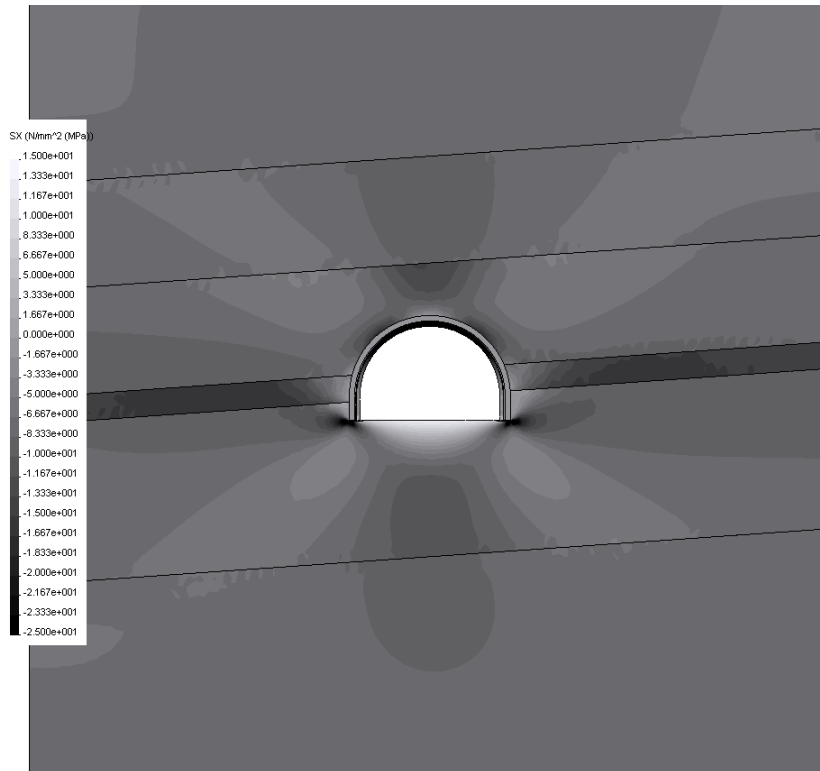
б)

Рисунок 5.8 – Епюри вертикальних напружень  $\sigma_y$  для варіанта № 18при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

а)



б)

Рисунок 5.9 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №1при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

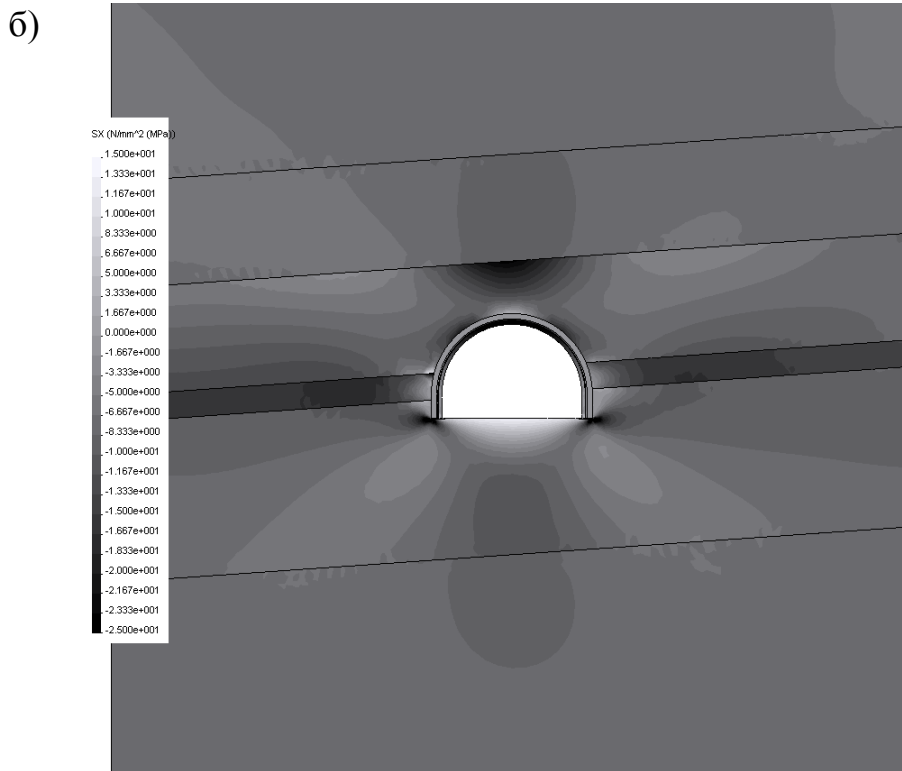
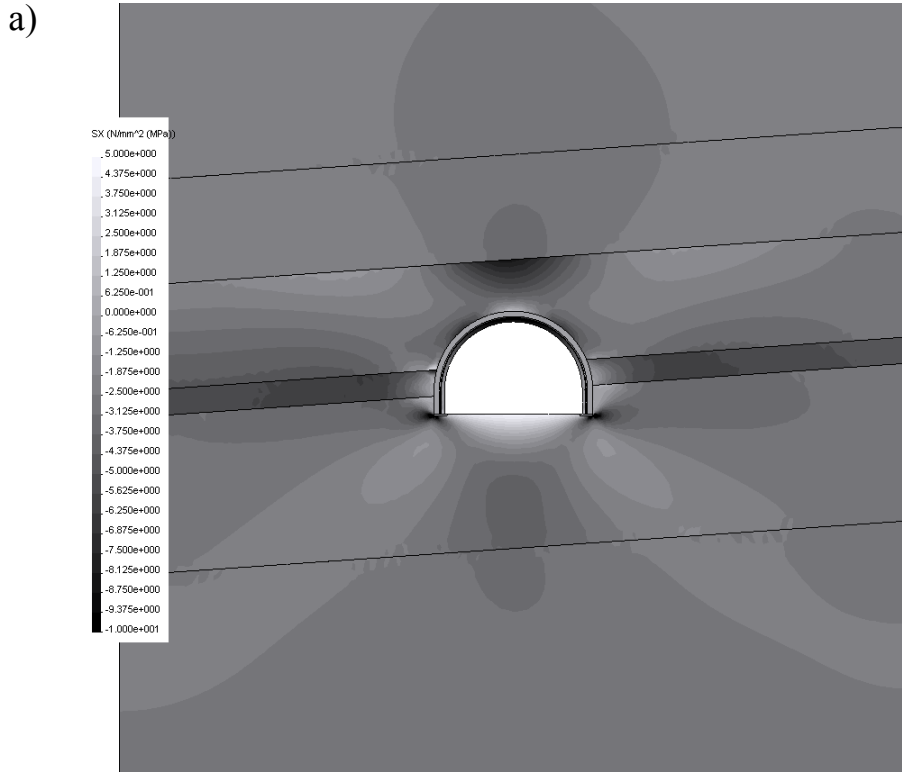
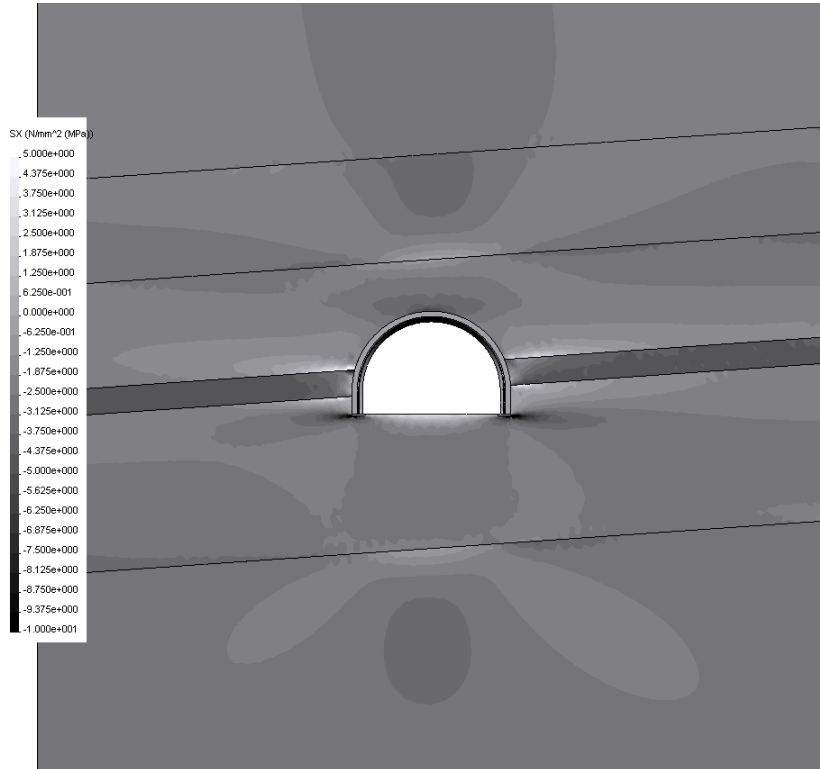
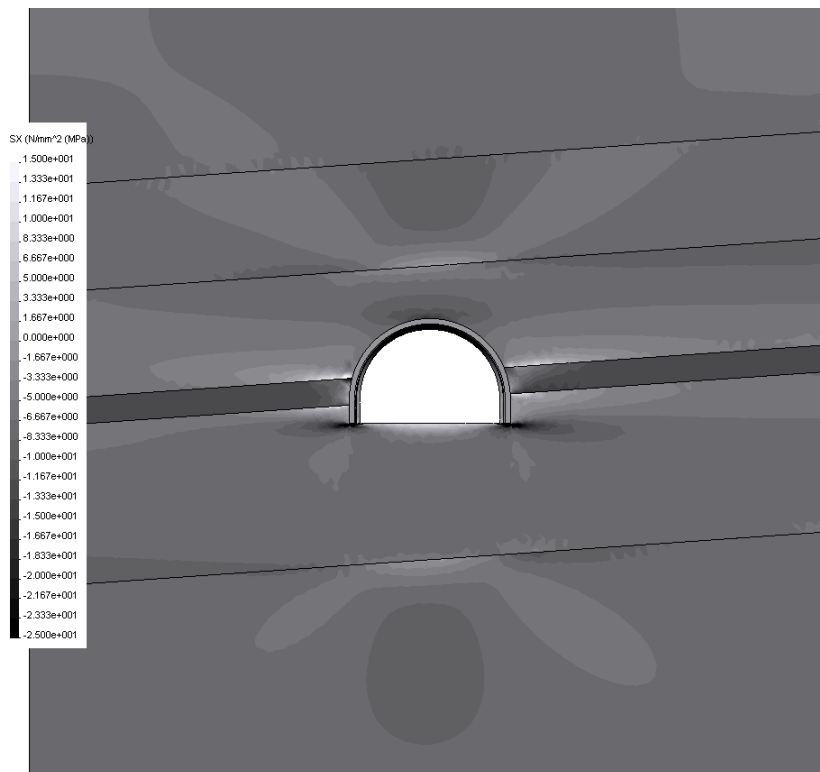


Рисунок 5.10 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №3  
 при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

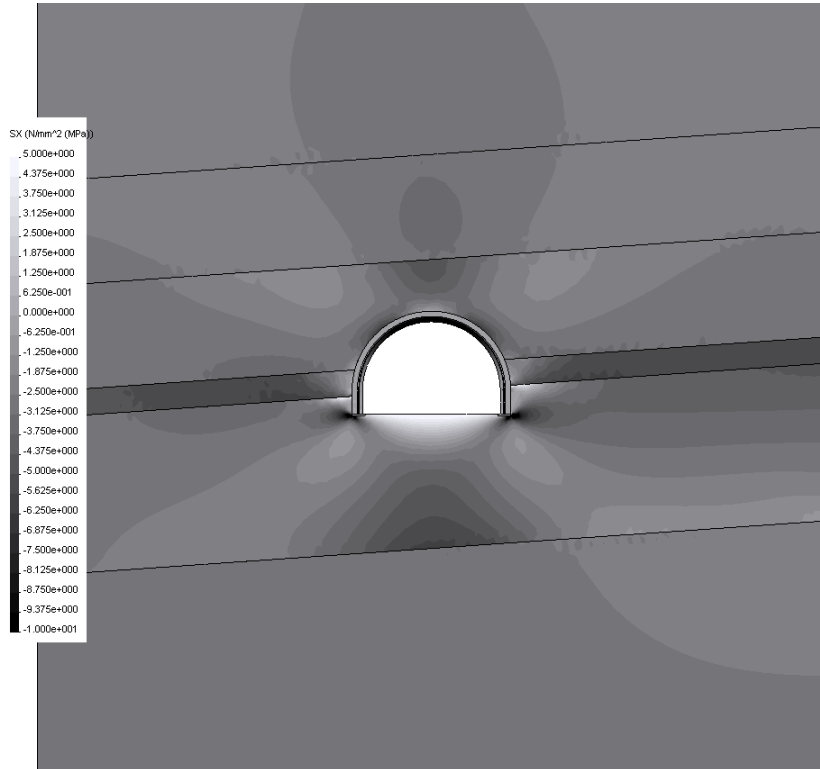
а)



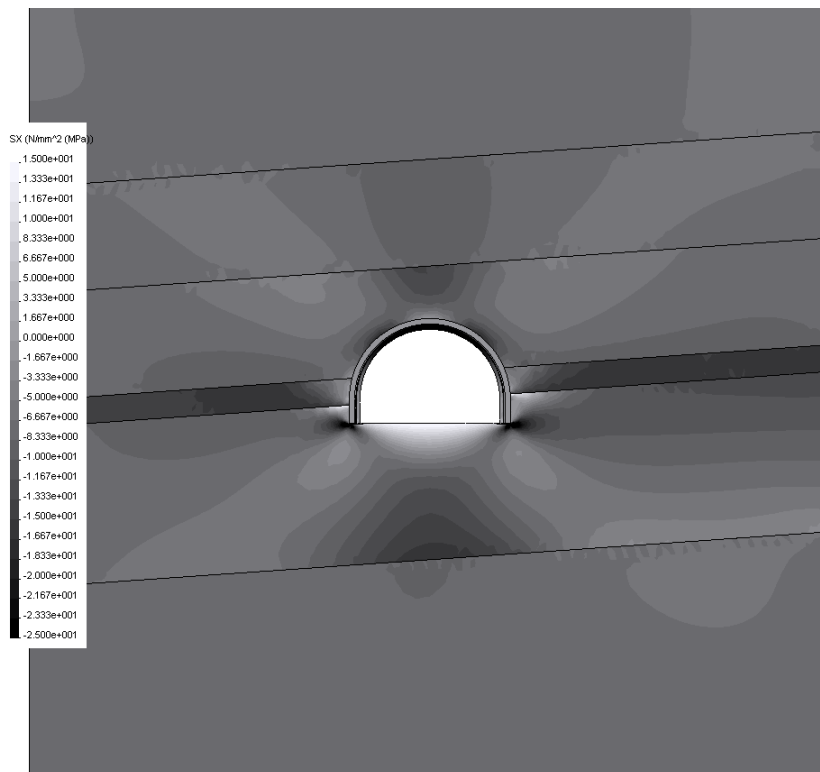
б)

Рисунок 5.11 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №7при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

а)



б)

Рисунок 5.12 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №8при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

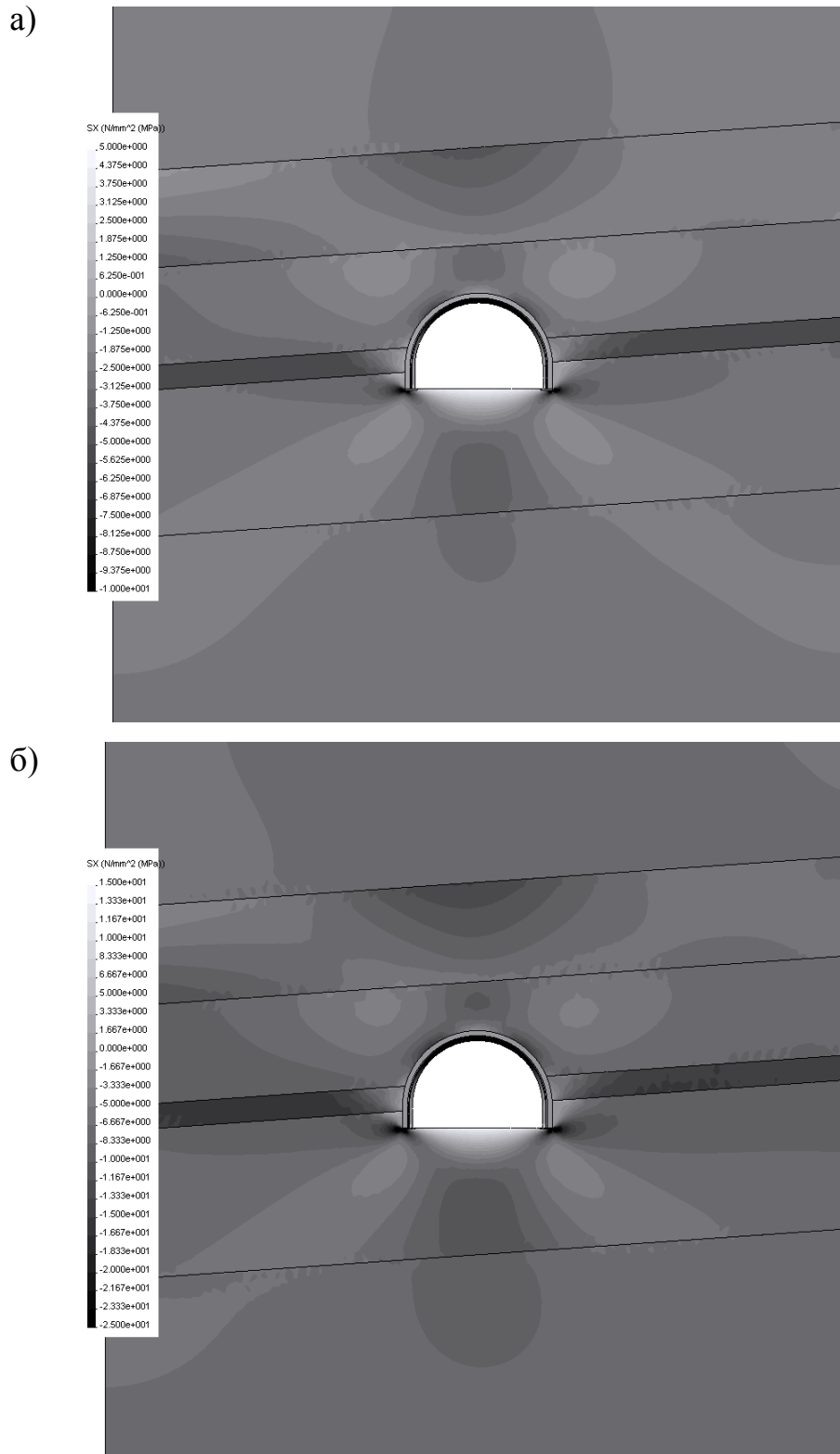


Рисунок 5.13 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №10

при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

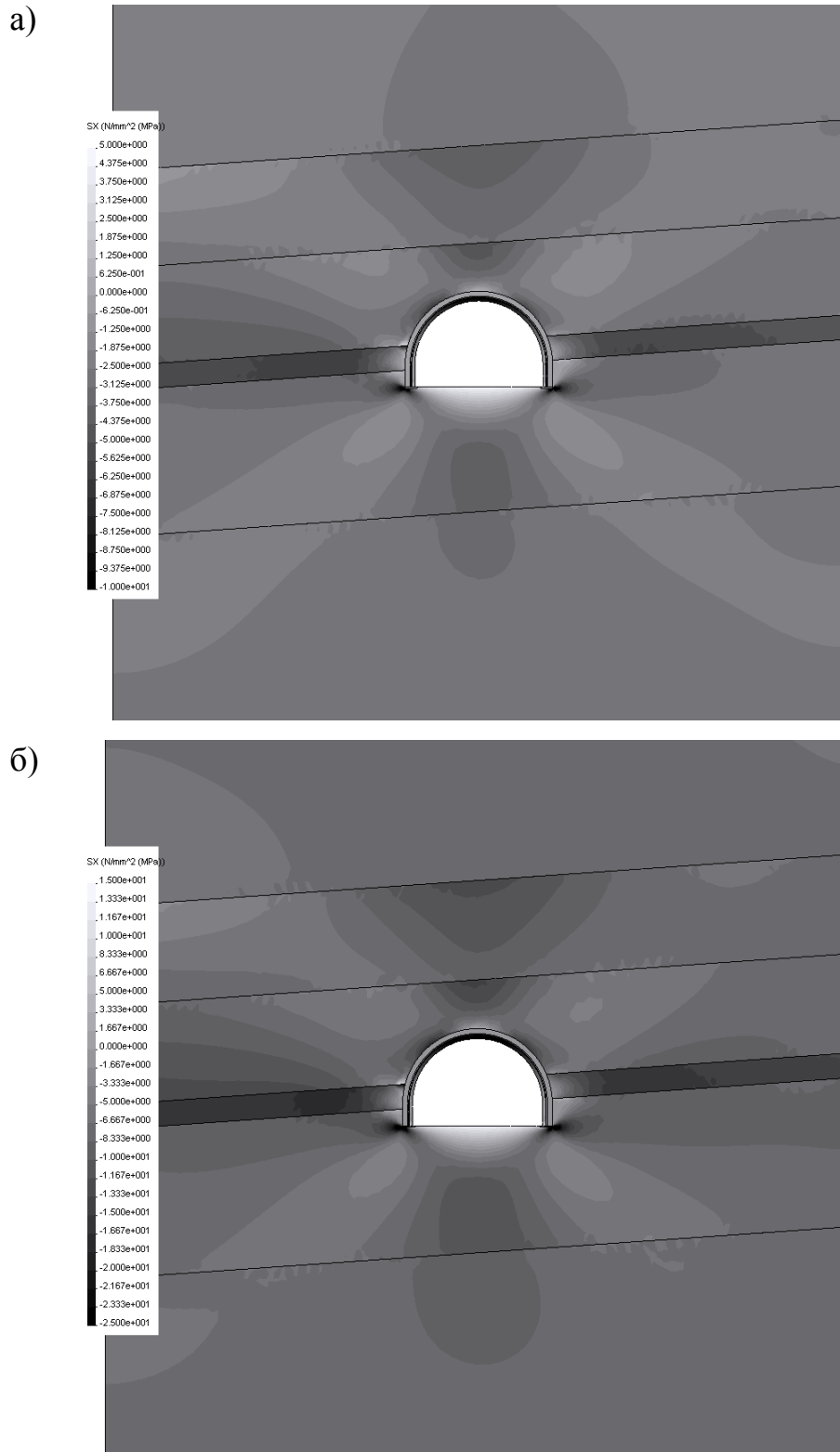


Рисунок 5.14 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №14

при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м



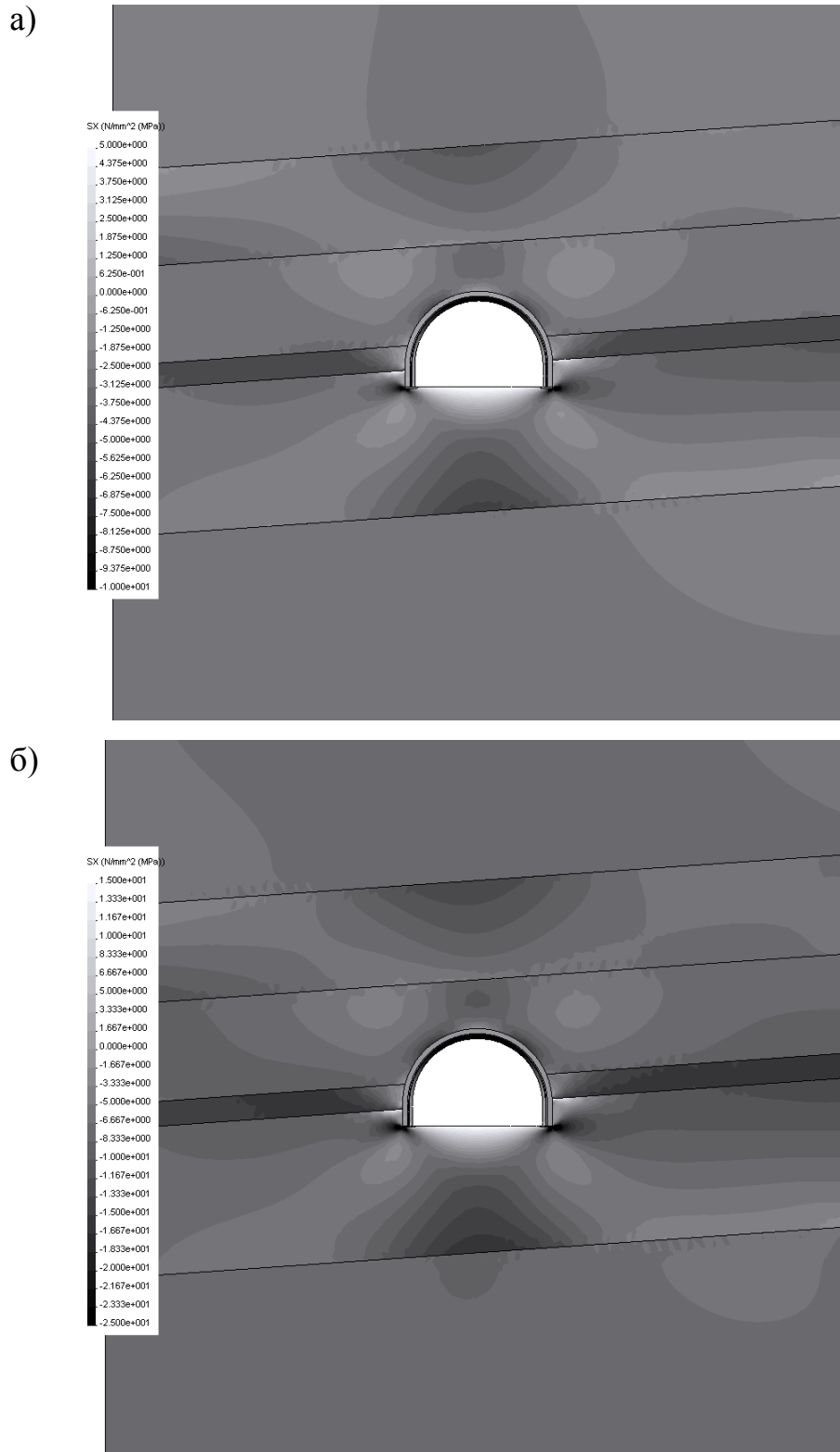


Рисунок 5.15 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №16

при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

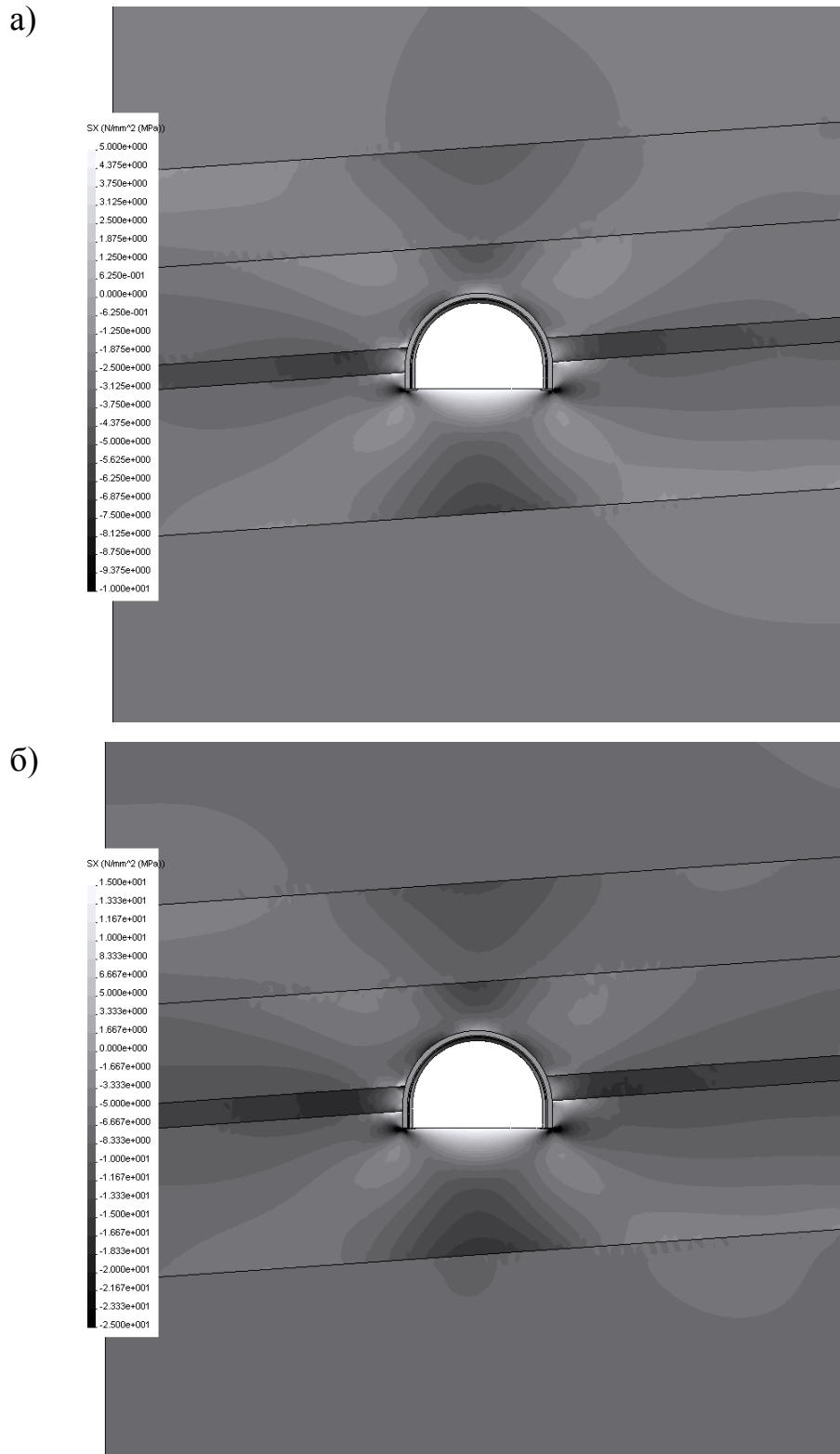


Рисунок 5.16 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_x$  для варіанта №18

при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

Отримані результати говорять про те, що компонента  $\sigma_x$  не є вирішальною при утворенні зони граничної рівноваги порід у підошві виробки.

Процес здимання підошви більшою мірою визначають вертикальні розтягальні напруження  $\sigma_y$ , аналіз яких (див. рис. 5.1...5.8) дає наступні результати.

По-перше, вертикальні розтягальні напруження порушують більш велику зону в підошві виробки, чим компонента  $\sigma_x$ . Так, при  $H = 200$  м глибина зони граничної рівноваги становить  $(0,98...1,17)r_B$ , а при  $H = 600$  м вона збільшується до  $(1,35...1,63)r_B$ . Винятком, як і в попередніх дослідженнях, є нехарактерний для Західного Донбасу варіант №7 залягання в безпосередній покрівлі й підошві породних шарів підвищеної жорсткості, коли в підошві утвориться велика зона (до  $2,93$ ) $r_B$  граничної рівноваги. Проте, враховуючи підвищені площі перетину магістральних штреків ( $r_B = 2,3...3$  м), абсолютна глибина зони граничної рівноваги може становити 4...5 м і закріпити анкера в стійких породах підошви не представляється можливим. Тому врахування міцнісної дії анкерів повинно виконуватися тільки з умови спільного їхнього деформування з порушеними породами підошви.

По-друге, має місце досить вузький інтервал зміни глибини зони граничної рівноваги навіть при різних «різнополюсних» співвідношеннях модулів деформації породних шарів. Так, відносне відхилення становить від 16,2% при  $H = 200$  м до 17,2% при  $H = 600$  м. Таким чином, зміна співвідношень модулів деформації прилеглих породних шарів не настільки помітно відображається на глибині зони граничної рівноваги в підошві виробки.

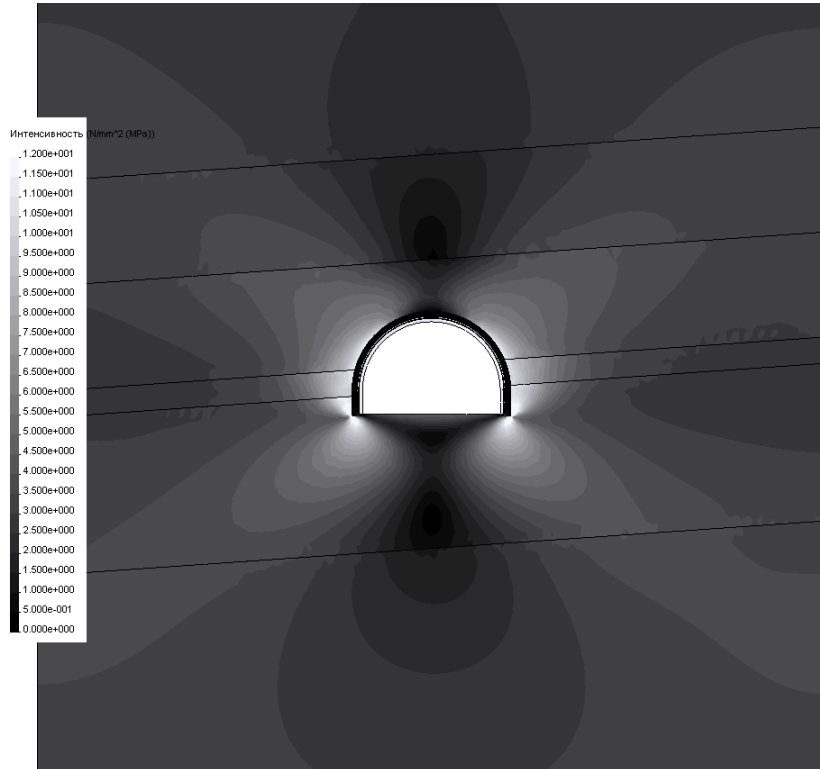
По-третє, інтенсивність росту глибини зони граничної рівноваги зі збільшенням глибини розробки в підошві виробки помітно менша, ніж у покрівлі. Наприклад, при рості параметра  $H$  в три рази (з 200 до 600 м) глибина зони збільшується всього в 1,25...1,48 рази.

## 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ ПОЛЯ НАПРУЖЕНЬ У БОКАХ ВИРОБКИ З ГЕОМЕХАНІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВУГЛЕВМІЩУЮЧОЇ ТОВЩІ

У приконтурних бічних породах пластової виробки діють підвищені стискаючі напруження  $\sigma_y$  з концентрацією  $(2...3)\gamma H$  і більше, а також в основному стискаючі горизонтальні напруження  $\sigma_x$  пониженої величини стосовно вихідних напружень  $\sigma_x$  негідростатичного поля. Для оцінки такого нерівнокомпонентного стану використана, як і раніше, величина приведеного напруження  $\sigma$  (рис. 6.1...68).

У розділі 4 обґрунтовано, що в умовах Західного Донбасу розрахункова величина опору стиску (з урахуванням послаблюючих факторів [84, 85]) не перевищує 20 МПа. На даному етапі досліджень проаналізований вплив на ширину зони граничної рівноваги в боках виробки таких параметрів, як: глибина розташування пластової виробки, співвідношення модулів деформації прилеглих породних шарів і їх розрахункове значення межі міцності на стиск  $R_{сж}$ . Аналіз нормативних документів показав, що для умов Західного Донбасу вплив послаблюючих факторів (тріщинуватість, зволоження, реологія) призводить до зниження розрахункової міцності породи на стиск  $R_{сж}$  як мінімум удвічі стосовно величини міцності на стиск  $\sigma_{сж}$  у зразку. Враховуючи середньостатистичний інтервал [85] зміни параметра  $\sigma_{сж} = 10...40$  МПа, досліджені розміри зони граничної рівноваги при діапазоні розрахункової міцності на стиск  $R_{сж} = 5...20$  МПа. Аналіз зміни ширини зони граничної рівноваги на першому етапі проведений для трьох значень  $R_{сж} = 5$  МПа, 10 МПа й 20 МПа по величині приведеного напруження  $\sigma$ , епюри якого для «різнополіусних» варіантів ( $H = 200$  м и 600 м) співвідношення модулів деформації породних шарів наведені на рис. 6.1...6.8. При  $H = 400$  м епюри наведені на рис. 4.7...4.10.

а)



б)

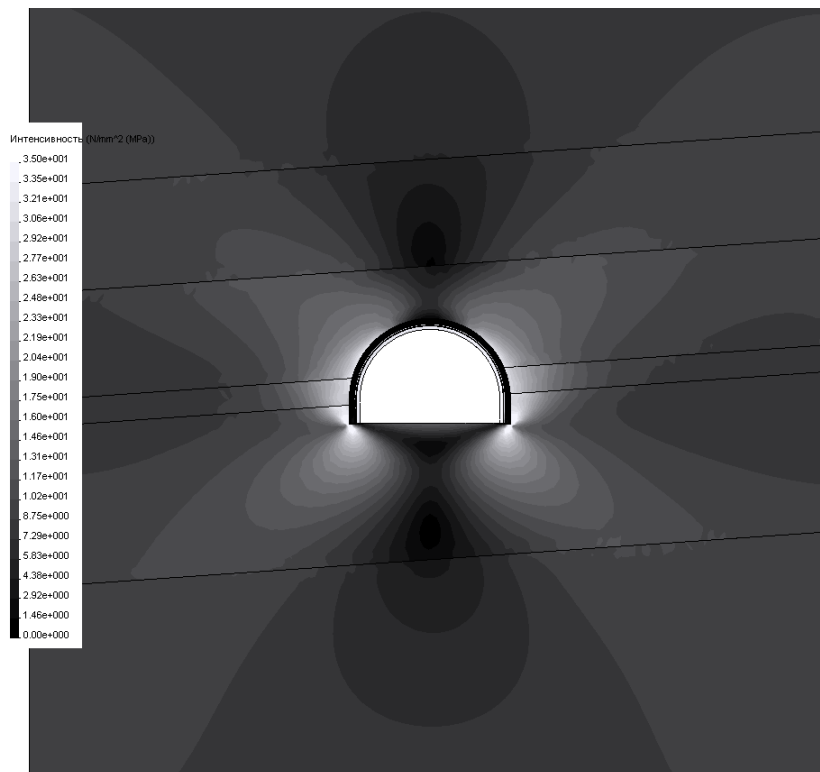
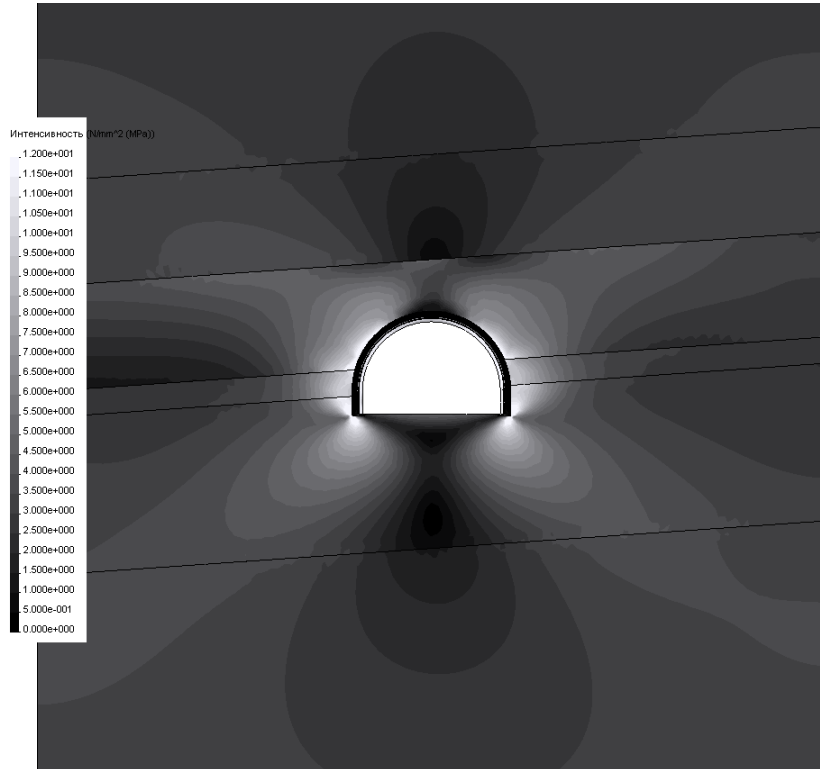


Рисунок 6.1– Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  для варианта №1  
при: а)  $H = 200$ м; б)  $H = 600$ м

а)



б)

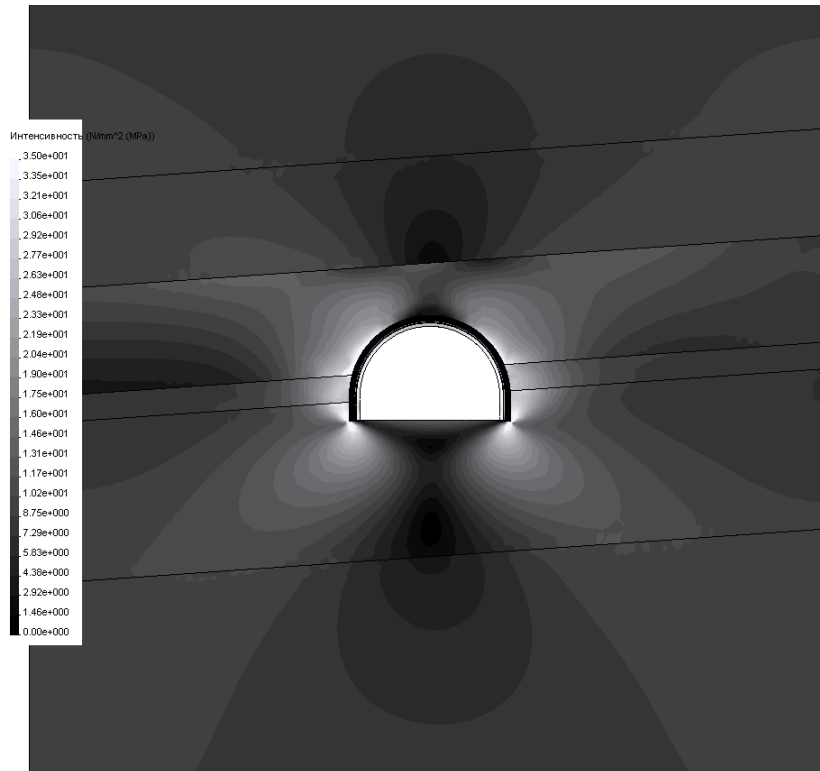


Рисунок 6.2 – Епюри приведенных напряжений  $\sigma$  для варианта №3  
при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

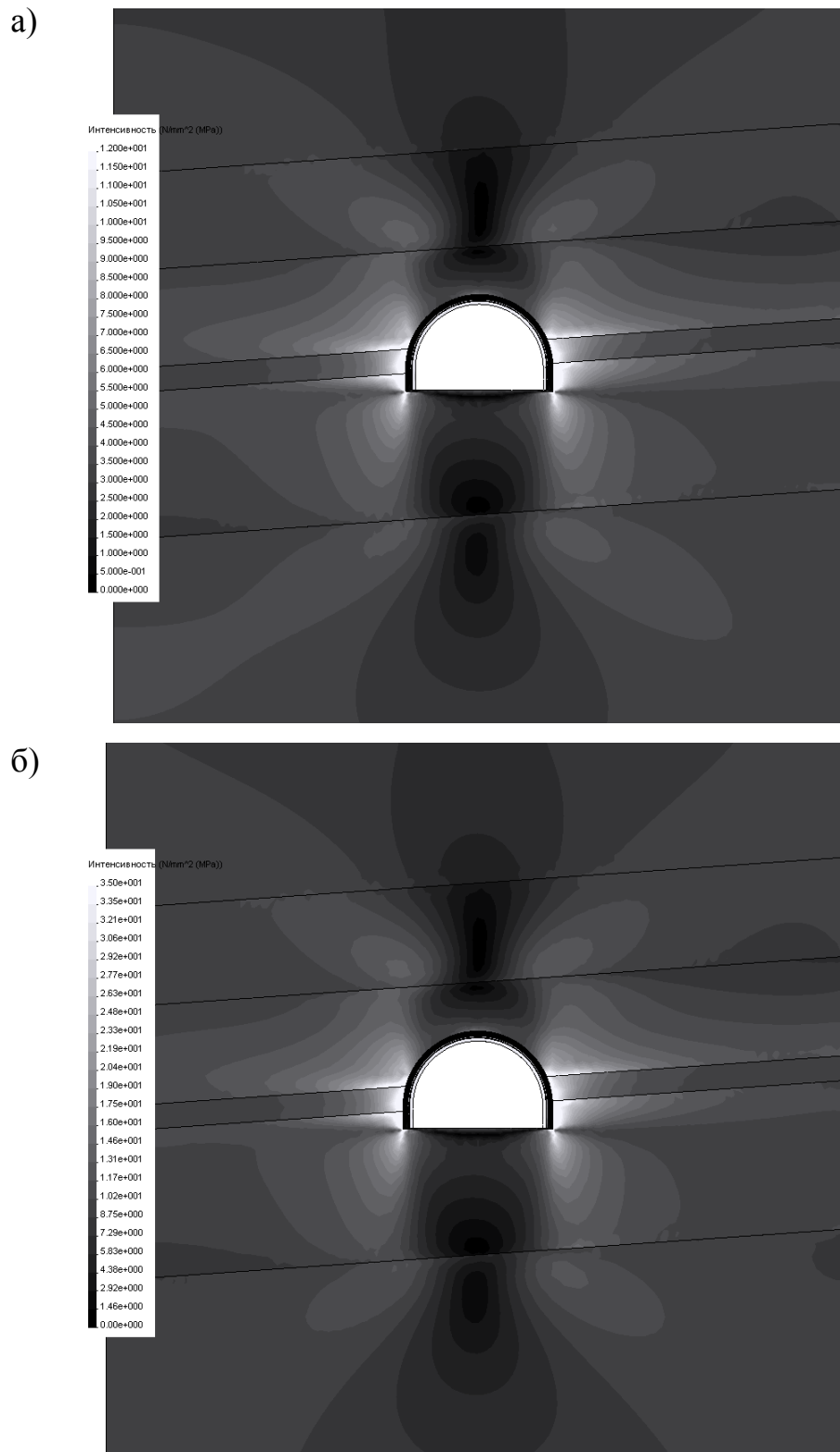
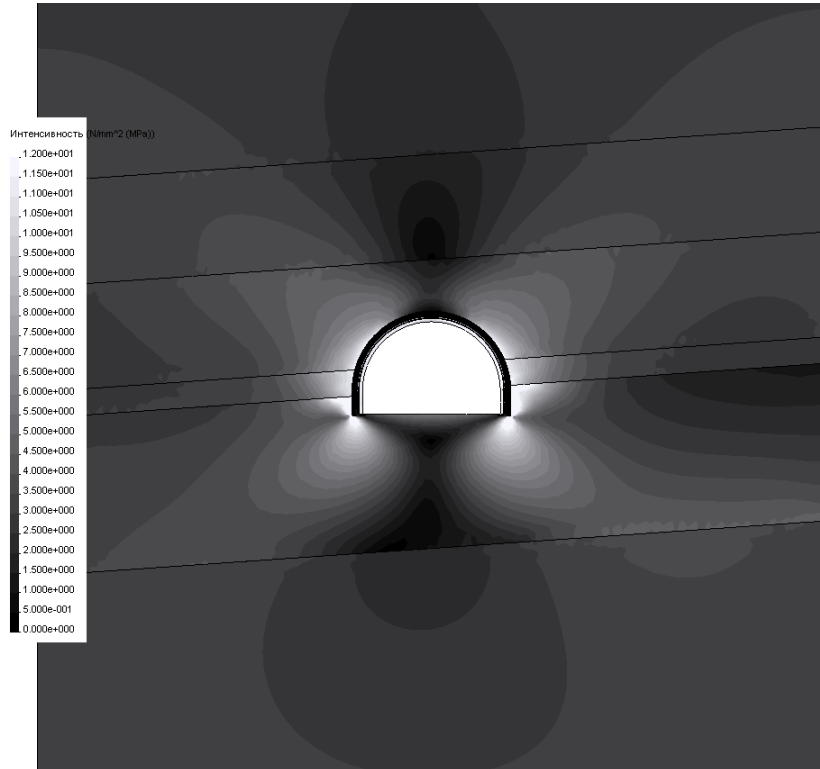
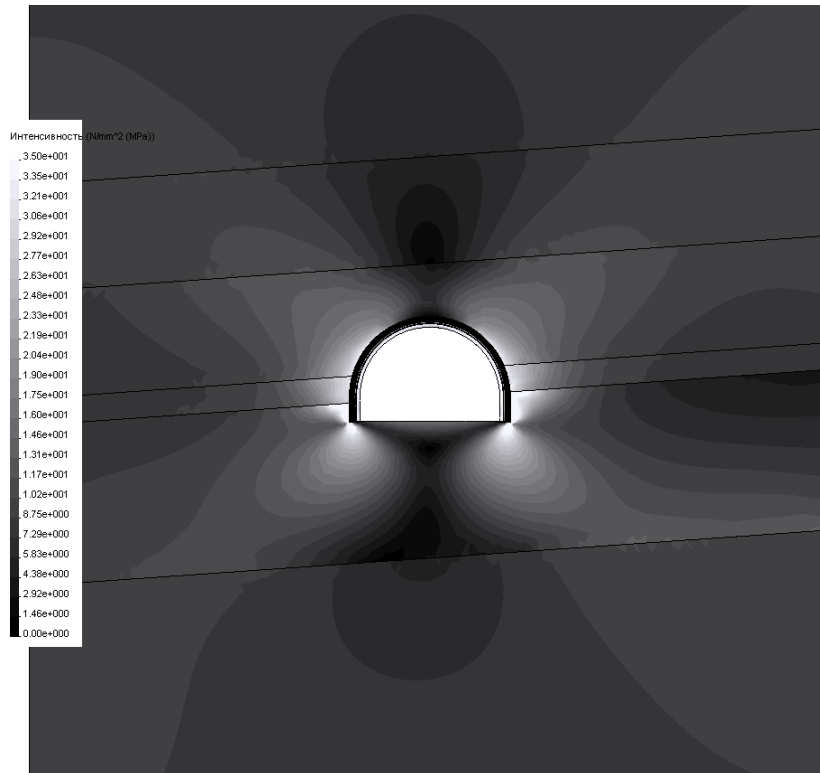


Рисунок 6.3 – Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  для варианта №7  
при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

а)

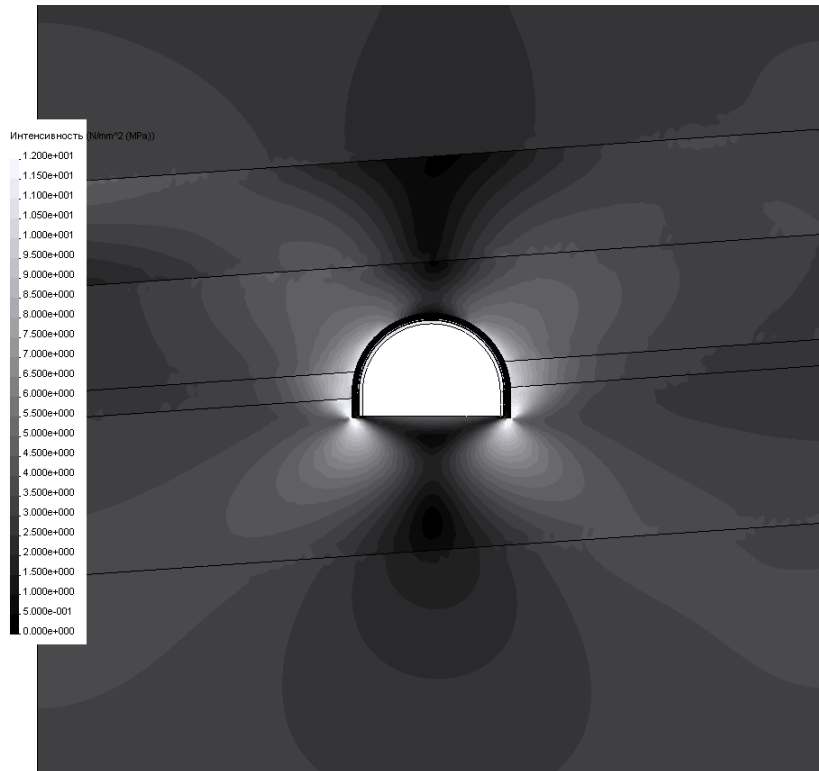


б)

Рисунок 6.4 – Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  для варианта №8при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м



а)



б)

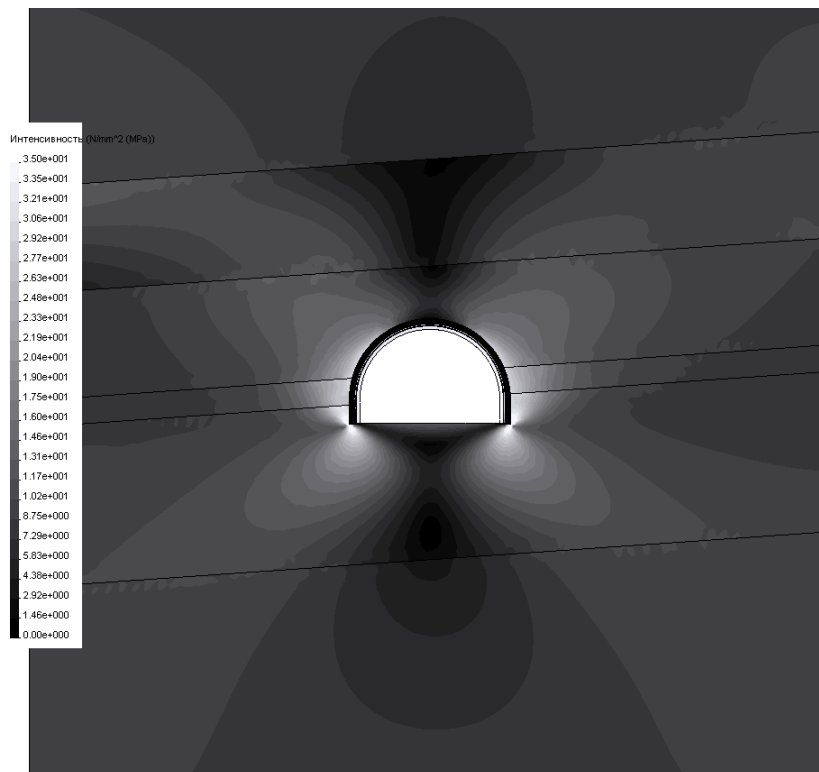


Рисунок 6.5 – Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  для варианта №10  
при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

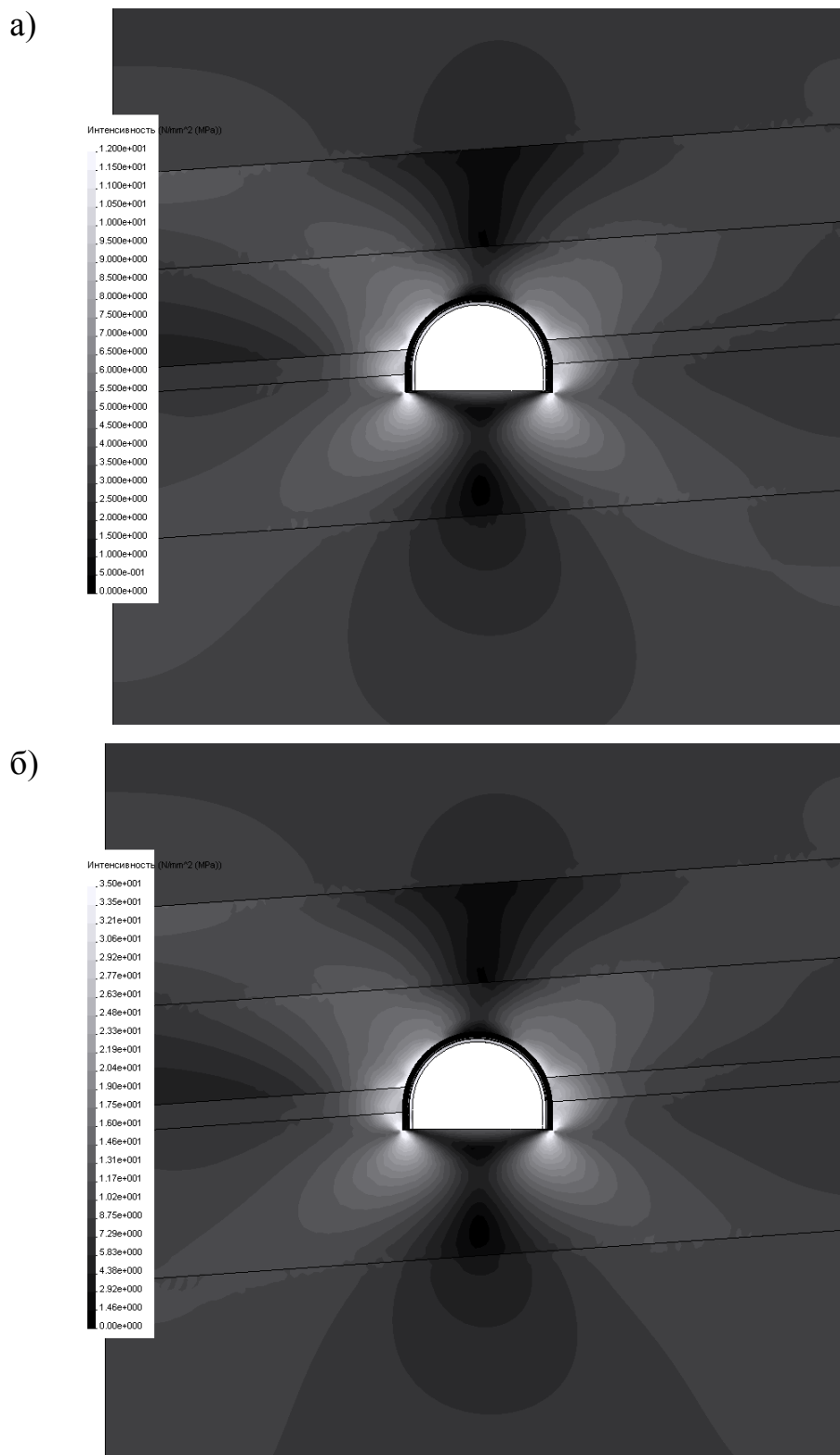


Рисунок 6.6 – Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  для варианта № 14  
при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

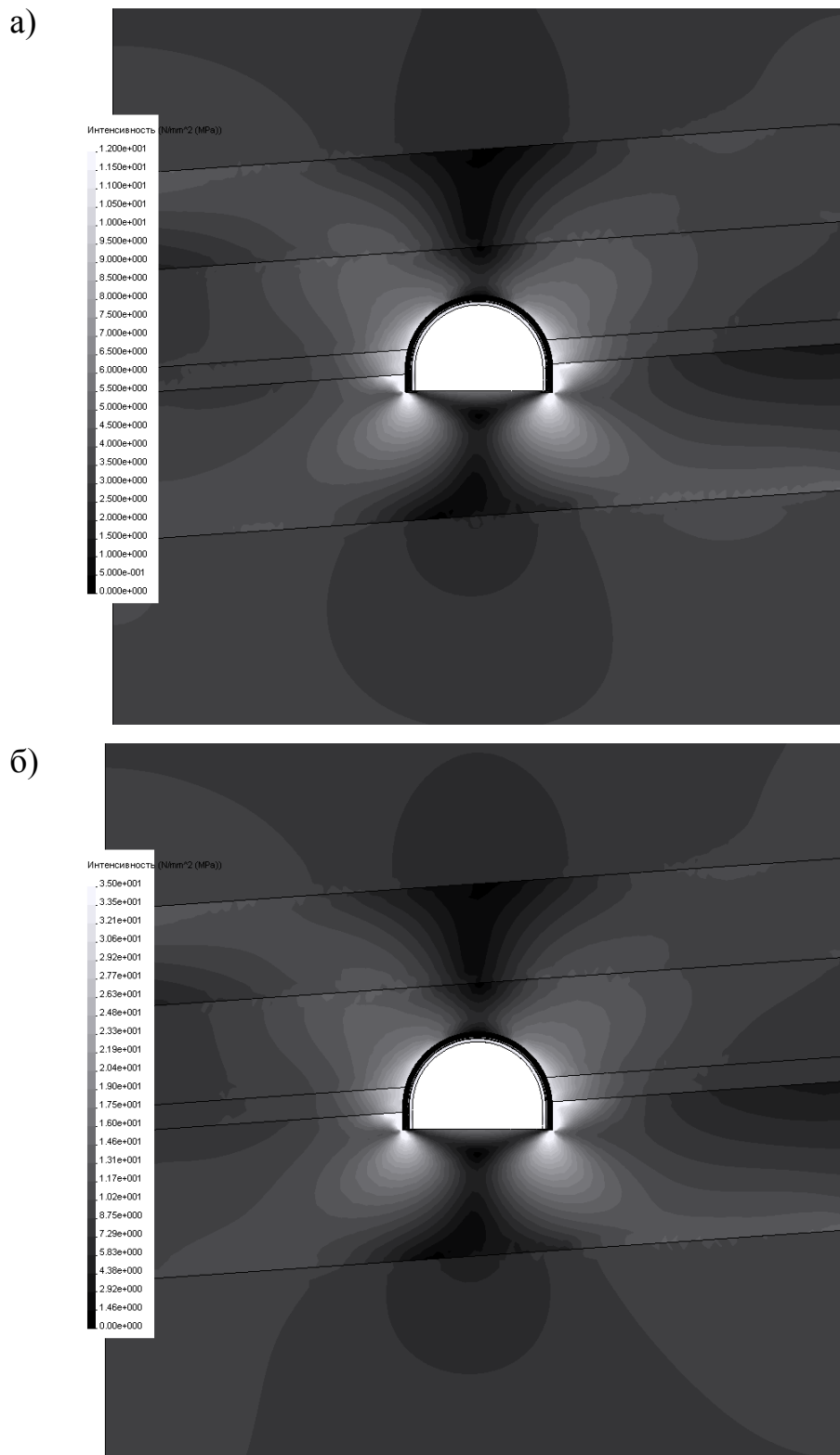
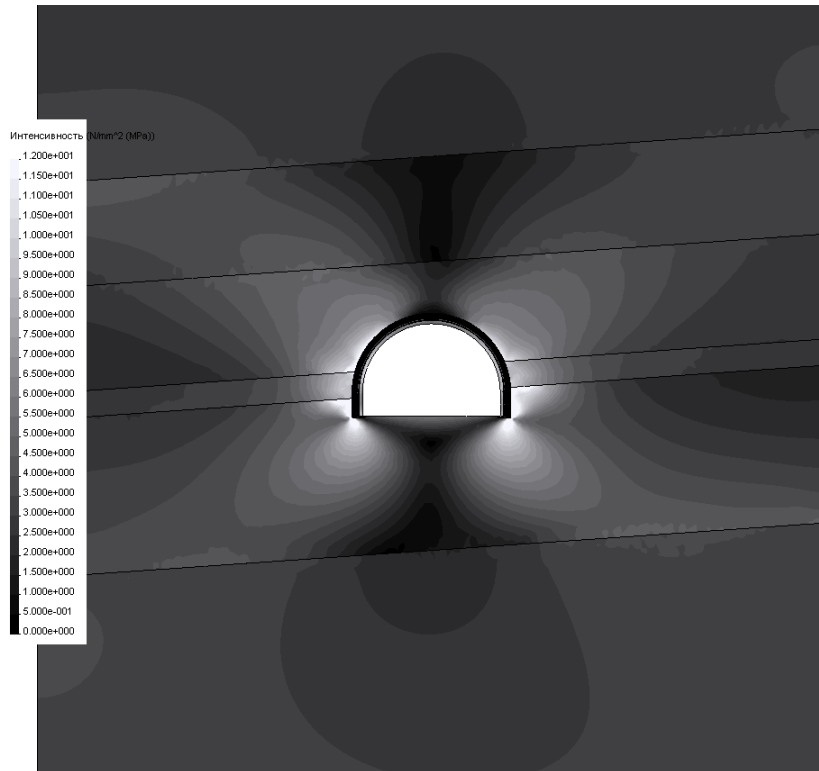
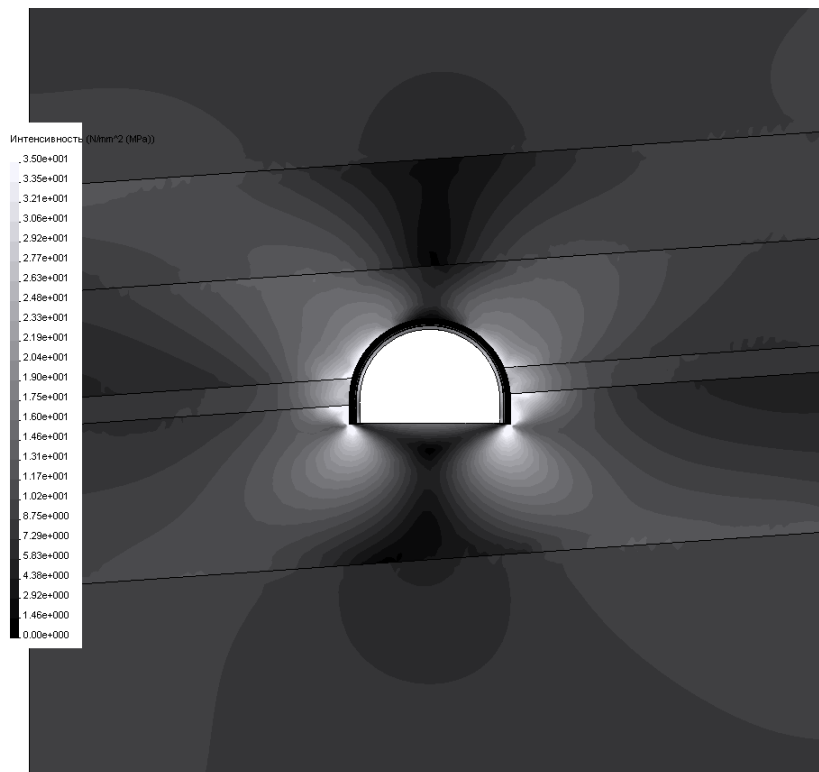


Рисунок 6.7 – Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  для варианта № 16  
при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

а)



б)

Рисунок 6.8 – Епюри приведенных напряжень  $\sigma$  для варианта № 18при: а)  $H = 200$  м; б)  $H = 600$  м

Аналіз виконаний з величини розрахункового опору стиску  $R_{сж} = 5$  МПа, результати якого дозволяють зробити наступні висновки.

По-перше, величина приведених напружень  $\sigma \leq 5$  МПа локалізується усередині моделі тільки при  $H = 200$  м; при  $H = 400$  м і  $H = 600$  м ширина зони граничного стану виходить за рамки моделі, тобто становить більше  $4,74 r_g$ . Це пояснюється низькою розрахунковою міцністю на стиск порід, що вміщують штрек, при відносно високому початковому гірському тиску: широко застосовуваний показник  $\frac{\gamma H}{R_{сж}} = 2$  при  $H = 400$  і  $\frac{\gamma H}{R_{сж}} = 3$  м при  $H = 600$  м, що по нормативних методиках [85, 85] призводить до високих зсувів породного контуру виробки й утворенню великої зони граничної рівноваги.

По-друге, при  $H = 200$  м  $\left( \frac{\gamma H}{R_{сж}} = 1 \right)$  спостерігається досить стабільна ширина зони граничного стану в боках виробки від  $1,30 r_g$  до  $1,53 r_g$  незалежно від співвідношення модулів деформації прилеглих породних шарів. Виняток становить варіант №7, де ширина зони по площинах нашарування з вугільним пластом поширюється до  $2,19 r_g$ ; однак цей варіант розташування породних шарів підвищеної жорсткості одночасно в безпосередній покрівлі й підшві не характерний для структури вуглевміщуючої товщі Західного Донбасу.

Коли міцність вуглевміщуючих порід збільшується до значення розрахункового показника  $R_{сж} = 10$  МПа ширина зони граничного стану зменшується й локалізується усередині моделі навіть при глибині розташування виробки  $H = 600$  м  $\left( \frac{\gamma H}{R_{сж}} = 1,5 \right)$ , що об'єктивно відображає існуючі результати геомеханічних досліджень. Звертають увагу наступні встановлені факти.

По-перше, при різних глибинах розташування виробки діапазон зміни ширини зони граничної рівноваги відносно невеликий (за винятком варіанта №7):  $(0,47...0,65) r_g$  при  $H = 200$  м,  $(1,26...1,67) r_g$  при  $H = 400$  м і  $(2,16...2,76) r_g$  при  $H = 600$  м. У зазначених діапазонах вплив величин співвідношень модулів

деформації породних шарів можна оцінити за відносним показником варіації ширини зони: 27,7% при  $H = 200$  м, 24,6% при  $H = 400$  м і 21,7% при  $H = 600$  м.

По-друге, якщо аналізувати ширину зони щодо показника  $\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}}$ , то при

$H = 400$  м і  $R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} = 10$  і  $\left(\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}} = 1\right)$ , а також при  $H = 200$  м і

$R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} = 5$  і  $\left(\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}} = 1\right)$  практично спостерігається збіг розмірів зони: відхилен-

ня становить від 1,4 до 15,7%. Це вказує на досить тісний зв'язок ширини зони

граничного стану з параметром  $\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}}$ .

Збільшення міцності бічних порід до розрахункового значення  $R_{\text{сж}} = 20$  МПа ще більшу звужує зону граничного стану порід у боках виробки.

При  $H = 200$  м ширина зони невелика, порядком  $(0,13...0,20)r_{\tilde{e}}$ , і зачіпає тільки породи на контакті з контуром виробки. Ці дані якісно відповідають аналітико-експериментальному методу проф. Ю.З. Заславського [86], що вказує на доста-

тню стійкість виробки при  $\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}} = 0,25$  ( $H = 200$  м,  $R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} = 20$  МПа).

Максимальна ширина зони граничного стану спостерігається при  $H = 600$  м і становить  $(0,88...1,12)r_{\tilde{e}}$  за винятком варіанта №7. При цьому вплив співвідношення модулів деформації породних шарів оцінюється до 21,4%. Та-

кож підтверджується раніше відзначений факт тісного зв'язку ширини зони

граничного стану з параметром  $\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}}$ . Так, при  $H = 400$  м і

$R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} = 20$  і  $\left(\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}} = 0,5\right)$  інтервал зміни ширини зони становить

$(0,51...0,65)r_{\tilde{e}}$ ; при  $H = 200$  м і  $R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} = 10$  і  $\left(\frac{\gamma H}{R_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}}} = 0,5\right)$  ширина зони зміню-

ється незначно –  $(0,47...0,65)r_g$ . При різних співвідношеннях модулів деформації породних шарів відхилення не перевищують 16,1% (варіант №1).

Оцінка ширини зони граничного стану в боках виробки зроблена на ділянці по висоті стояків рамного кріплення. Якщо брати всю висоту виробки, то геометрія зони буде мати більш складну форму. Крім того, на форму зони граничного стану порід буде впливати врахування різних міцнісних характеристик для окремих шарів порід по висоті виробки. Врахувати ці фактори можливо при моделюванні геомеханічних процесів навколо пластової виробки із застосуванням повної діаграми деформування породи [59], тобто з урахуванням стадій її знеміцнення й розпушення, тому що в зоні граничного стану механічні властивості породи міняються.

## 7 ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ НА ПОЛЕ НАПРУЖЕНЬ У РАМНОМУ КРІПЛЕННІ ПЛАСТОВОЇ ВИРОБКИ

Рамне кріплення має максимуми приведених напружень  $\sigma$  у замку склепіння й стояках, причому останні, як правило, більші. Загальна тенденція з ростом глибини розташування виробки – це практично лінійне збільшення приведених напружень. Виняток становлять варіанти №7 і №8, які характеризуються загальною закономірністю різкого зниження інтенсивності росту  $\sigma$  при  $H > 400$  м. Очевидно, це пов'язано з підвищеною жорсткістю першого породного шару покрівлі стосовно другого шару, коли підвищення деформацій у масиві (з ростом  $H$ ) реалізуються в основному за рахунок піддатливості другого шару, а перший жорсткий шар обмежує деформації, що передаються на рамне кріплення, і вона сприймає менше навантаження.

Співвідношення модулів деформації прилеглих породних шарів відіграють досить істотне значення в плані розподілу епюри напружень  $\sigma$  і величини їхнього максимуму. Найбільше навантаження на раму передається при зниженій жорсткості всіх шарів (варіант №1) і величина  $\sigma$  перевищує розрахункову границю текучості для сталі Ст5 ( $\sigma_T = 270$  МПа). Менше на 4,5%, але також перевищуючу величину  $\sigma_T$ , приведені напруження спостерігається для варіанта №10 розташування в безпосередній покрівлі й підшві породних шарів зниженої жорсткості. При наявності хоча б одного породного шару підвищеної жорсткості в безпосередній покрівлі або підшві величина максимуму  $\sigma$  знижується на 26,9...44,8%. Найбільше зниження  $\sigma$  має місце при підвищеній жорсткості всіх прилеглих породних шарів (варіант №18): в 2,44 рази менше в порівнянні з варіантом №1.

Таким чином, виявлена істотна залежність максимумів приведених напружень, як від глибини розташування виробки, так і від співвідношення модулів деформації прилеглих породних шарів.



## 8 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗОНИ ГРАНИЧНОГО СТАНУ В ШАРУВАТОМУ МАСИВІ СЛАБКИХ ПОРІД І НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КРІПЛЕННЯ

На основі встановлених закономірностей визначені рівняння регресії розмірів зони граничного стану породного масиву поблизу пластової виробки від геомеханічних параметрів: глибини  $H$  розташування виробки, розрахункового опору порід стиску  $R_{сж}$ , співвідношення модулів деформації прилеглих породних шарів.

Для наочності аналізу побудований ряд графіків для «різнополюсних» варіантів співвідношень модулів деформації, а проміжні варіанти попадають в інтервал варіації досліджуваного параметра й використані для побудови рівнянь регресії. На рис. 8.1 наведені встановлені залежності відносної висоти  $\frac{h_k}{r_b}$  зони граничного стану порід покрівлі від глибини  $H$  розробки для різних варіантів співвідношень модулів деформації прилеглих породних шарів. Тут і далі варіант №7 розташування одночасно в безпосередній покрівлі й підшві породних шарів підвищеної жорсткості не врахований як нехарактерний для вуглевміщуючої товщі Західного Донбасу. Як видно, залежність параметра  $\frac{h_k}{r_b}$  від глибини  $H$  близька до лінійного, що й підтвердив критерій Фішера [89-91]. Застосування методів кореляційно-дисперсійного аналізу дозволило встановити наступну залежність (множинний коефіцієнт кореляції 0,733).

$$\frac{h_k}{r_{\hat{a}}} = 0,54 + 0,42 \cdot 10^{-4} \left( \hat{A}_2^{\hat{e}} - 0,3 \cdot 10^4 \right) + \hat{I} \left[ 2,03 \cdot 10^{-3} + 0,32 \cdot 10^{-7} \left( 0,9 \cdot 10^{-4} - \hat{A}_1^{\hat{i}} - \hat{A}_1^{\hat{e}} - \hat{A}_2^{\hat{e}} \right) \right]. \quad (5.1)$$

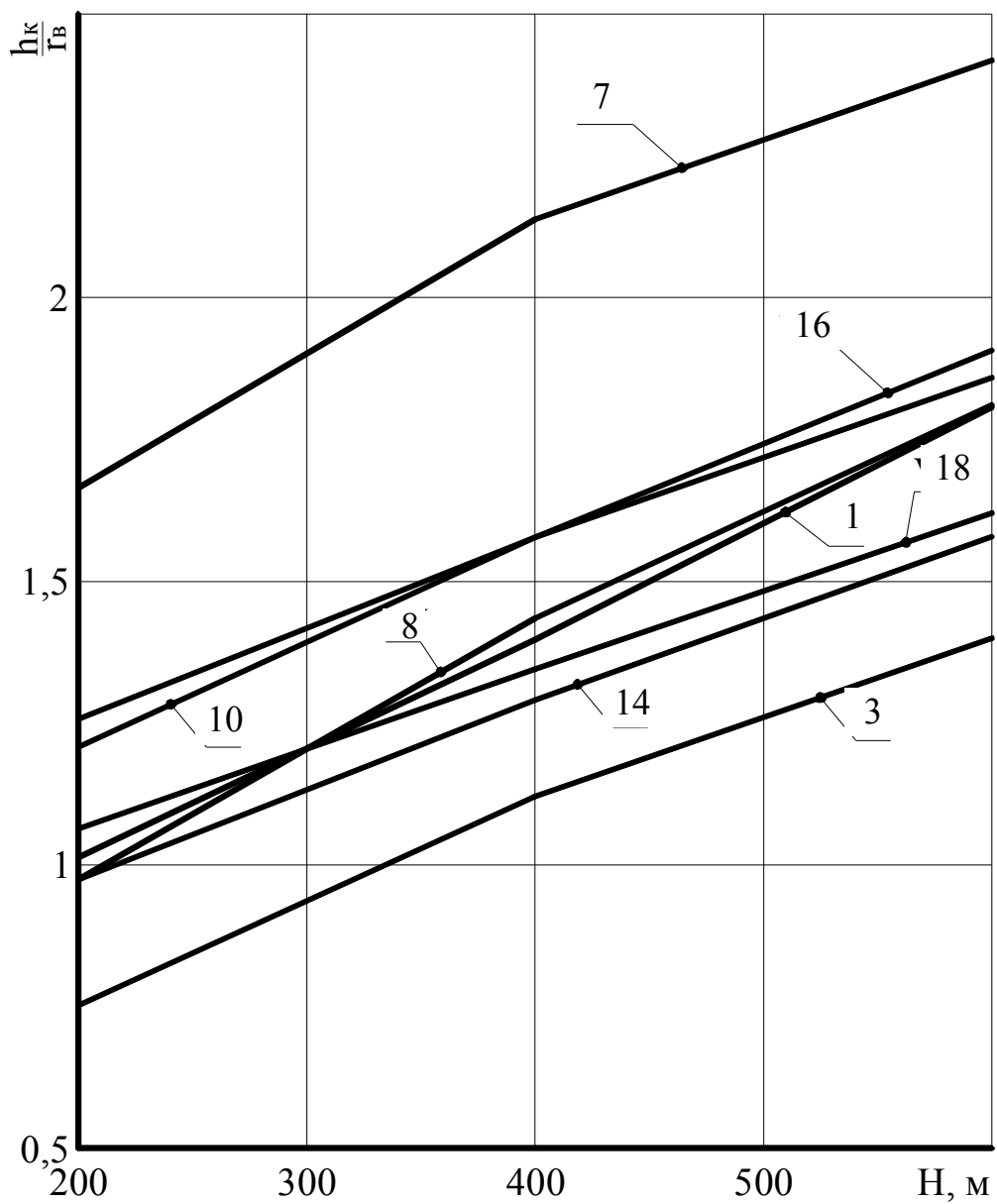


Рисунок 8.1 – Зміна відносної висоти  $\frac{h_k}{r_B}$  зони граничного стану

порід покрівлі з ростом глибини  $H$  розробки по варіантах (див. табл. 4.1): 1, 3, 7, 8, 10, 14, 16, 18

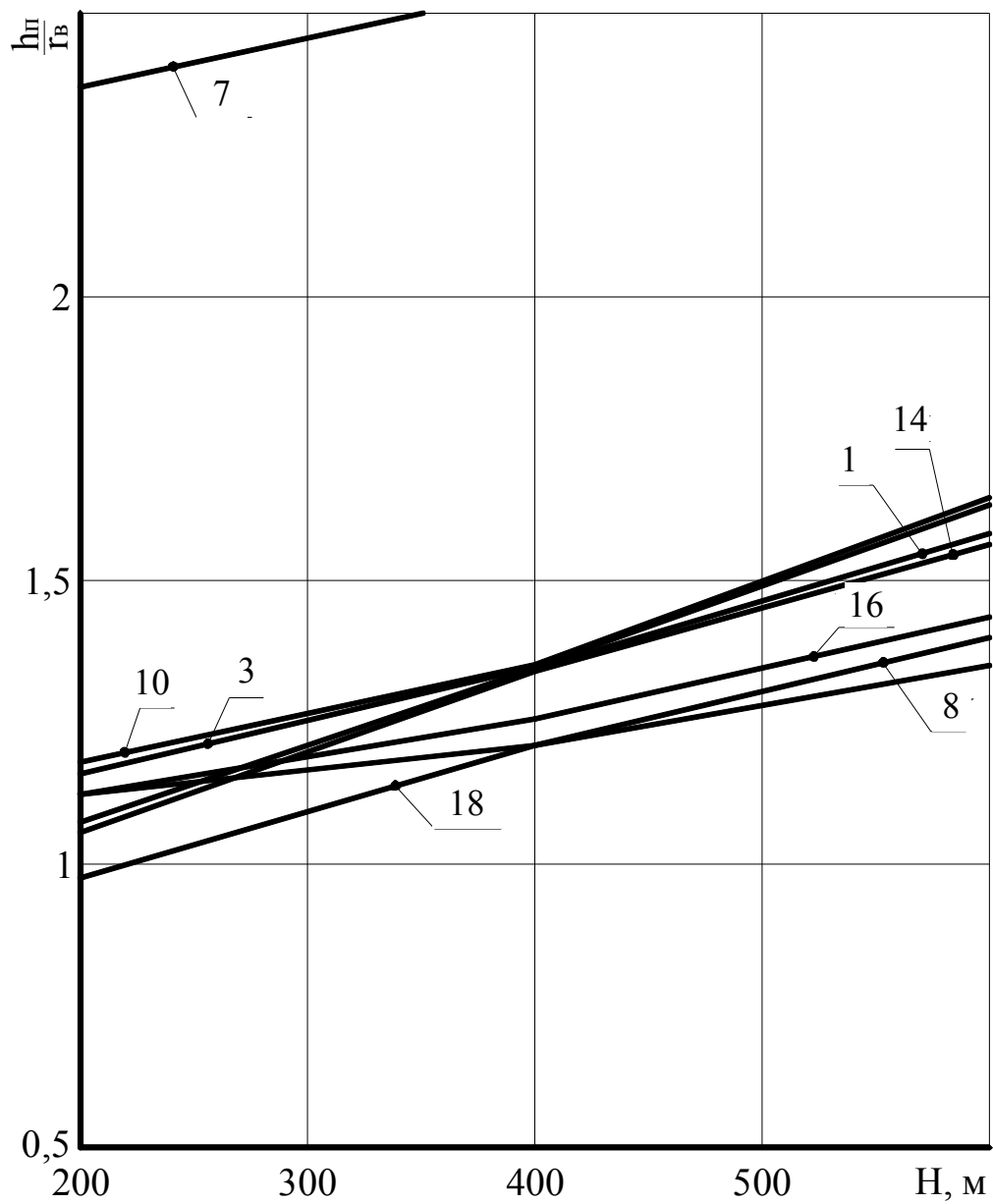


Рисунок 8.2 – Зміна відносної глибини  $\frac{h_i}{r_b}$  зони граничного стану

порід підосви з ростом глибини  $H$  розробки по варіантах  
(див. табл. 4.1): 1, 3, 7, 8, 10, 14, 16, 18

У формулі (8.1) і далі глибина розташування виробки змінюється в інтервалі  $H = 200 \dots 600$  м і підставляється в метрах; модулі деформації прилеглих породних шарів змінюються в діапазоні  $(0,3 \dots 1) \cdot 10^4$  МПа й підставляються в МПа.

У підшві виробки відносна глибина зони граничного стану  $\frac{h_{\bar{1}}}{r_{\bar{e}}}$  також має практично лінійний зв'язок із глибиною розробки (рис. 8.2). При цьому коливання глибини зони, викликані зміною модулів деформації породних шарів, помітно менше, ніж у покрівлі.

Для визначення глибини зони граничного стану порід підшви отримана наступна кореляційна залежність (множинний коефіцієнт кореляції – 0,881)

$$\frac{h_{\bar{1}}}{r_{\bar{a}}} = 0,88 + \bar{I} \left[ 1,23 \cdot 10^{-3} + 0,57 \cdot 10^{-7} \left( 0,3 \cdot 10^4 - A_1^{\bar{1}} \right) \right]. \quad (8.2)$$

Ширина зони  $\frac{h_{\bar{6}}}{r_{\bar{e}}}$  граничного стану порід у боках виробки крім зазначених раніше параметрів залежить також від розрахункового опору породи на стиск  $R_{\text{СЖ}}$ . Дослідження показали практично лінійний зв'язок  $\frac{h_{\bar{6}}}{r_{\bar{e}}}$  з параметром

$\frac{\gamma H}{R_{\text{СЖ}}}$  (рис. 8.3). Причому (за винятком варіанта №7) величина модулів деформації прилеглих породних шарів робить відносно невеликий вплив на ширину зони граничного стану порід боків виробки й закономірностей зв'язку  $\frac{h_{\bar{6}}}{r_{\bar{e}}}$  з мо-

дулями деформації породних шарів не простежується. Тому за результатами аналізу епюр приведених напружень прийняті усереднені значення  $\frac{h_{\bar{6}}}{r_{\bar{e}}}$  при фік-

сованому показнику  $\frac{\gamma H}{R_{\text{СЖ}}}$ . У підсумку отримане наступне рівняння регресії

(множинний коефіцієнт кореляції – 0,907)

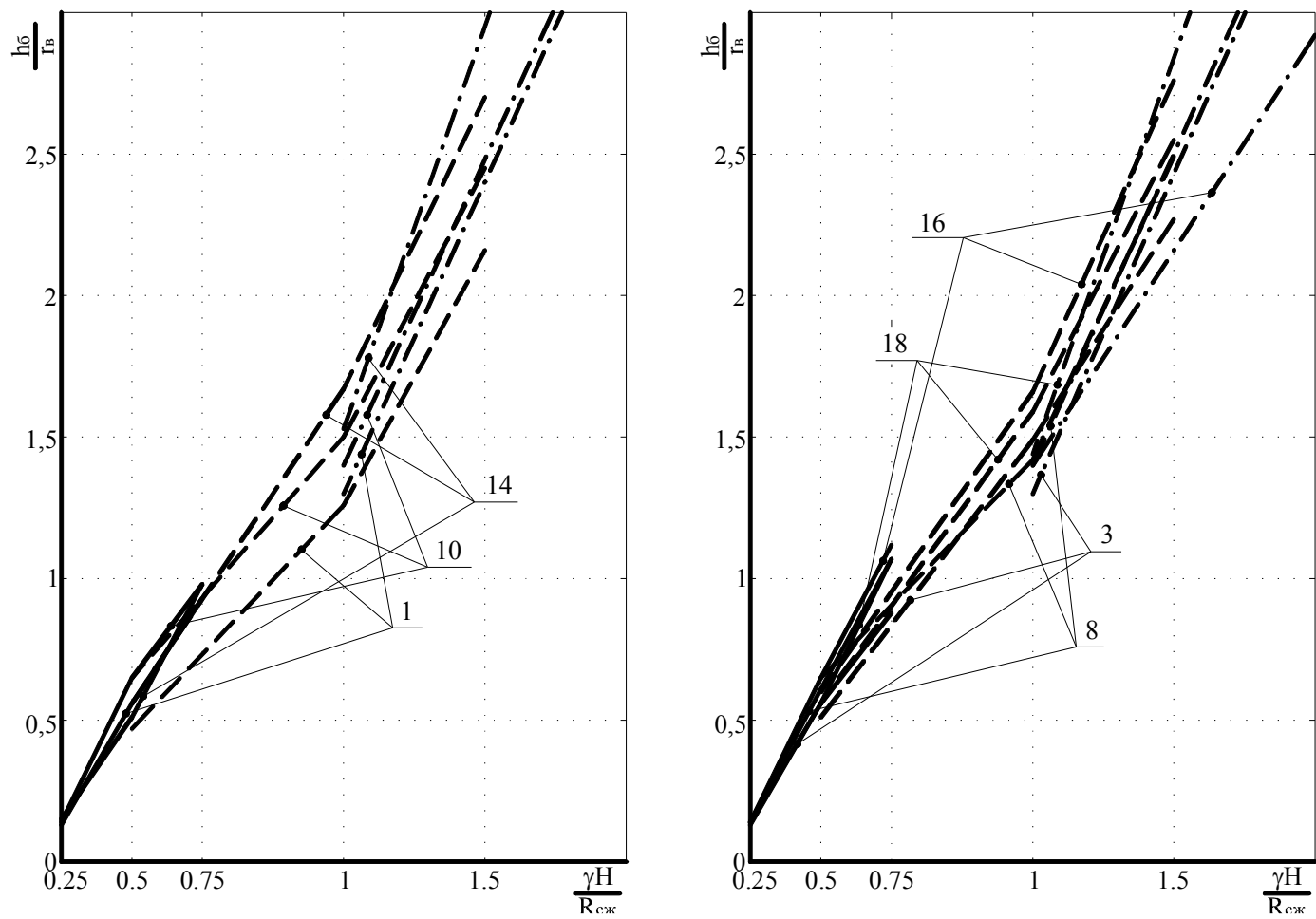


Рисунок 8.3 – Зміна відносної ширини  $\frac{h\sigma}{r_b}$  зони граничного стану порід боків виробки

з ростом параметра  $\frac{\gamma H}{R_{сж}}$  при  $R_{сж}=5, 10, 20$  МПа по варіантах (див. табл. 4.1): 1, 3, 8, 10, 14, 16, 18

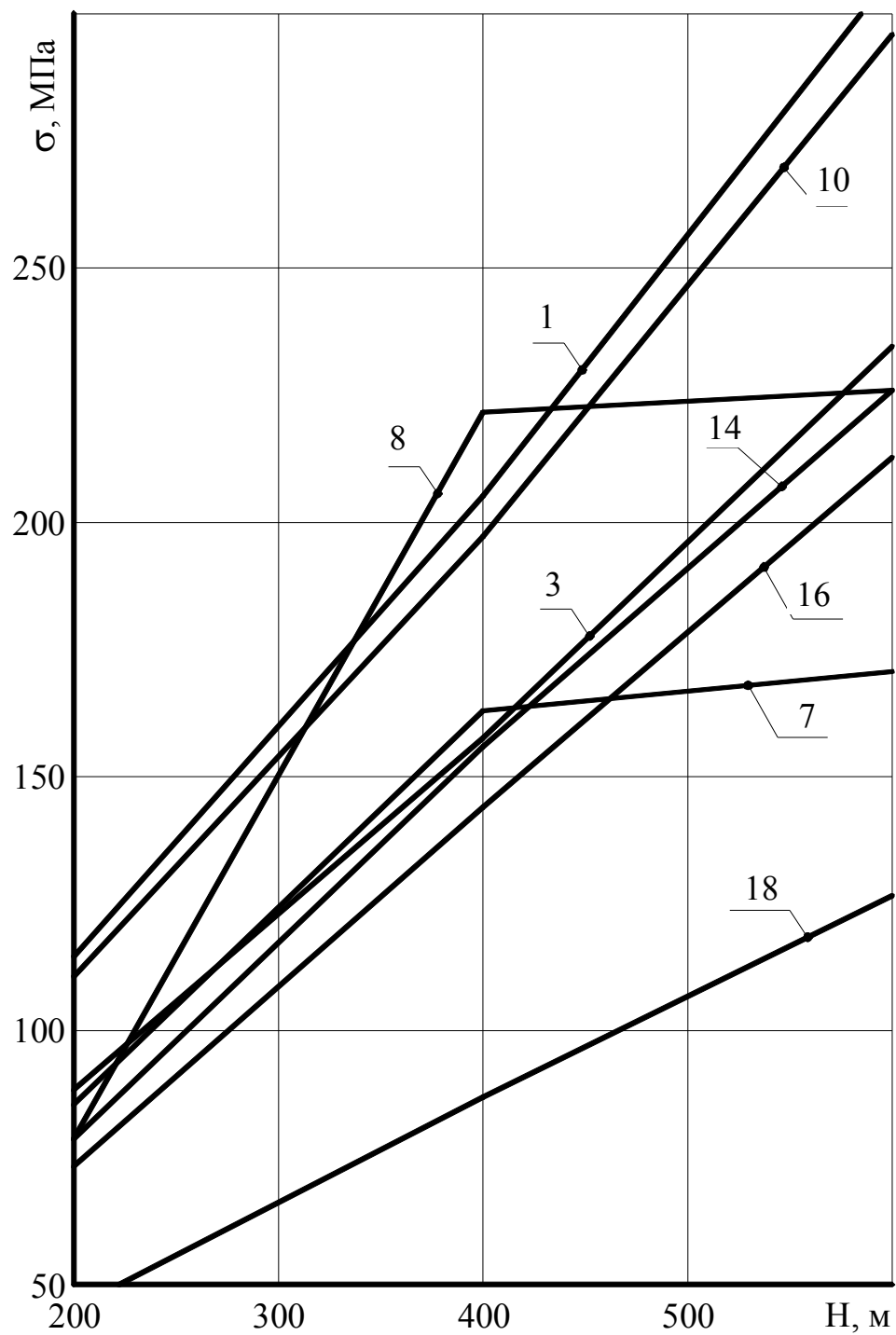


Рисунок 8.4 – Зміна максимуму приведених напружень  $\sigma$  у рамному кріпленні з ростом глибини  $H$  розробки по варіантом (див. табл. 4.1): 1, 3, 7, 8, 10, 14, 16, 18

$$\frac{h_{\hat{a}}}{r_{\hat{a}}} = -0,34 + 1,92 \frac{\gamma H}{R_{\tilde{\text{нæ}}}}. \quad (8.3)$$

Таким чином, визначені закономірності зміни розмірів зони граничного стану порід навколо пластової виробки, пройденої в слабкому шаруватому масиві в умовах Західного Донбасу. Форма цієї зони залежить від глибини розробки  $H$  і розрахункової межі міцності породи на стиск  $R_{\tilde{\text{нæ}}}$ : при глибині  $H \leq 400\text{ м}$  і  $R_{\tilde{\text{нæ}}} \geq 10$  МПа форма зони витягнута по вертикальній осі  $Y$ ; при  $H > 400\text{ м}$  і  $R_{\tilde{\text{нæ}}} < 10$  МПа форма зони витягнута по горизонтальній осі  $X$ .

Що стосується рамного кріплення, то закономірності зміни максимумів приведених напружень з ростом глибини розробки показані на рис. 8.4 і мають загальну тенденцію до збільшення  $\sigma$ .

## ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень сформульована низка висновків

Для умов Західного Донбасу обґрунтований весь комплекс вихідних геомеханічних і гірничотехнічних параметрів для максимально достовірного моделювання процесів деформування неоднорідного вуглевміщуючого дрібношаруватого породного масиву навколо пластової виробки. Розміри моделі обрані з урахуванням несуттєвого впливу виробки на її границях, де виконуються вихідні негідростатичні умови розподілу вертикальних  $\sigma_y$  і горизонтальних  $\sigma_x$  компонентів напружень. Доведено, що при слабких зв'язках між сусідніми шарами діючі дотичні напруження  $\tau_{xy}$  їх руйнують, і породні шари деформуються по площинах нашарування як незалежна друг від друга система. Цей фактор істотно змінює поле напружень і врахований у розроблювальній моделі. Проведене тестування моделі на предмет відповідності результатів розрахунку класичним уявленням про механізм зрушення шаруватого масиву навколо виробки підтвердили можливість її використання для вивчення геомеханічних процесів.

Для умов Західного Донбасу за стратиграфічними колонками робочих вугільних пластів побудовано три найбільш характерні структури вуглевміщуючої товщі, аналіз поля напружень у яких дозволив з достатньою для гірничотехнічних розрахунків точністю обґрунтувати єдину усереднену структуру, погрішність якої не перевищує 10% у всьому діапазоні зміни геомеханічних параметрів вуглевміщуючого масиву.

Оцінено вплив деформаційних характеристик прилеглих до пластової виробки породних шарів на напружено-деформований стан системи «шаруватий масив-кріплення штреку». Встановлено, що незважаючи на різні співвідношення деформаційних характеристик прилеглих породних шарів у покрівлі й підошві пластової виробки розміри зон граничного стану (в основному від дії розтягальних напружень  $\sigma_x$  і  $\sigma_y$ ) досить стабільні й охоплюють два породних шари в покрівлі й один шар у підошві. У боках штреку спостерігається яскраво



виражена область опорного тиску, що сприяє розвитку зони граничного стану від дії стискаючих напружень.

Максимуми приведенного напруження  $\sigma$  в рамному кріпленні, що визначають її несучу здатність, істотно залежать від співвідношення модулів деформації прилеглих породних шарів: зниження  $\sigma$  відбувається у випадку залягання в безпосередній покрівлі хоча б одного породного шару підвищеної жорсткості.

Установлено закономірності й уперше отримані рівняння регресії зв'язку розмірів зони граничного стану неоднорідного шаруватого масиву навколо пластової виробки з глибиною її розташування, розрахунковою міцністю породи на стиск і модулями деформації породних шарів. Установлено, що вплив модулів деформації породних шарів на розміри зони граничного стану поширюється до 20...25% при діапазоні зміни, характерному для умов Західного Донбасу.

На напружений стан рамного кріплення деформаційні характеристики породних шарів роблять більш істотний вплив, що перевищує іноді 100%.

Розміри зони граничного стану порід підосви виробки вказують на те, що вибір раціональних параметрів анкерного зміцнення повинен утворюватись за схемою спільного їх деформування на основі аналізу й оптимізації НДС системи «шаруватий масив-кріплення штреку».

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тулуб С.Б. Підвищення стійкості підготовчих виробок з підошвою, що здимається, в умовах шахт Західного Донбасу //Науковий вісник НГУ. – 2003. – №1. – С.49-50.
2. Кириченко В.Я. Геолого-геомеханическое обоснование параметров способов повышения устойчивости подготовительных выработок на глубоких горизонтах шахт Западного Донбасса: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск: ДГИ, 1990. –25 с.
3. Выгодин М.А. Обоснование параметров армопородных грузонесущих конструкций на базе рамно-анкерных крепей и технология их сооружения в выработках шахт Западного Донбасса: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск: ДГИ, 1990. – 25 с.
4. Тулуб С.Б., Панишко А.И., Мартыненко С.В. Оптимизация геометрических параметров металлической арочной крепи и оценка прочности полученной конструкции // Горн. информ.-аналит. бюллетень. – М.: Изд-во МГТУ, 2000. – №12. – С. 170-173.
5. Тулуб С.Б., Татаринов А.А., Костогрыз В.И. Шахтные испытания экспериментальной конструкции арочной податливой крепи // Уголь України. – 1999. – №4. – С. 11-13.
6. Тулуб С.Б. Вероятностно-статистическая оценка устойчивости магистральных выработок шахт Западного Донбасса //Науковий вісник НГА України. – 1998. – №2. – С.22-26.
7. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива близи горных выработок. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
8. Кужель С.В. Проблемы устойчивости вскрывающих и подготовительных выработок на шахте «Белозерская» ГК «Добропольеуголь» //Науковий вісник НГУ. – 2003. – №5. – С.3-4.
9. Тулуб С.Б.; Панишко А.И. Влияние несимметрии загрузки на несущую способность металлической крепи //Науковий вісник НГУ. – 1999. – №4. – С.7-8.

10. А.С. 926305 СССР. Крепь сопряжения выемочных штреков /Г.А. Симанович // Оpubл. в Бюл. № 12. Открытия. Изобретения, 1982.

11. А.С. 1216356 СССР. Крепь сопряжения выемочных штреков /Г.А. Симанович, А.М. Симанович // Оpubл. в Бюл. № 9. Открытия. Изобретения, 1986.

12. А.С. 1362841 СССР. Опорная плита для крепи из спецпрофиля /Г.А. Симанович // Оpubл. в Бюл. №48. Открытия. Изобретения, 1987.

13. А.С. 1435790 СССР. Способ изготовления опорных плит крепи из спецпрофиля / Г.А.Симанович // Оpubл. в Бюл. № 41. Открытия. Изобретения, 1988.

14. А.С. 1209885 СССР. Крепь горных выработок /А.М. Симанович, Г.А. Симанович // Оpubл. в Бюл. №5. Открытия. Изобретения, 1986.

15. А.С. 1214934 СССР. Крепь капитальных горных выработок /А.М. Симанович, С.В. Зиньковский, Г.А. Симанович // Оpubл. в Бюл. №8. Открытия. Изобретения, 1986.

16. А.С. 1301979 СССР. Крепь горных выработок из набрызг-бетона /Г.А. Симанович, И.А.Симанович, // Оpubл. в Бюл. №13. Открытия. Изобретения, 1987.

17. А.С. 1337523 СССР. Крепь капитальных горных выработок /Г.А. Симанович // Оpubл. в Бюл. №34. Открытия. Изобретения, 1987.

18. А.С. 1467168 СССР. Крепь капитальных горных выработок /Г.А. Симанович, А.М. Симанович, С.В. Зиньковский // Оpubл. В Бюл. №11. Открытия. Изобретения, 1989.

19. Симанович Г.А. Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристикой: Дис... д-ра техн. наук. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 1993. – 408 с.

20. Ковалевская И.А. Теория применения анкерной крепи. Днепропетровск: ГНПП Системные технологии. – 2001. – 247 с.

21. Ковалевская И.А. Теоретические основы взаимодействия системы

«массив упрочненные породы-крепь» на угольных шахтах Украины: Дис: д-ра техн. наук. Днепропетровск: ИГУ, 2004. – 340 с.

22. Симанович Г.А., Симанович И.А. Метод снижения напряженного состояния материала рамной крепи и оптимизация ее параметров //Известия вузов. Горный журнал. – 1989. – №7. – С.34-37.

23. Расчет параметров тампонажа закрепного пространства горных выработок /В.И.Бондаренко, Г.А.Симанович, И.А.Ковалевская, И.В.Бугаев //Днепропетровск: ГНПП Системные технологии, 1998. – 180 с.

24. Симанович Г.А. О взаимодействии несущих элементов металлобетонной крепи горных выработок // Шахтное строительство. – 1989. – №12. – С.27-29.

25. Ковалевская И.А. Геомеханика взаимодействия элементов системы «горный массив-упрочненные породы-крепь подземных выработок». – Днепропетровск: ГНПП Системные технологии, 2002. – 234 с.

26. Бугаев И.В. Обоснование параметров усовершенствованной технологии тампонажа закрепного пространства горных выработок: Дис. ... канд .техн. наук. – Днепропетровск: НГА Украины, 2000. – 134 с.

27. Охрана подготовительных выработок при бурошнековой выемке угольных пластов / В.И.Бондаренко, Г.А. Симанович, И.А. Ковалевская, А.Г. Дунаев. – Днепропетровск: Системные технологии, 2001. – 189 с.

28. Совершенствование конструктивно-технологической схемы возведения искусственных целиков / В.И.Бондаренко, И.А.Ковалевская, Г.А. Симанович, А.Г. Дунаев //Науковий вісник НГА України – 2001. – №4. – С. 3-5.

29. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механіка подземных сооружений и конструкции крепей. – М.: Недра, 1984. – 415 с.

30. Мусин Б.З. Геомеханические основы определения параметров расчета и автоматизированного проектирования крепи капитальных выработок угольных шахт: Дис. ... д-ра техн.. наук. – Л.: ЛГИ, 1989. – 468 с.

31. Сдвижкова Е.А. Математическое моделирование случайной загрузки на крепь горной выработки //Науковий вісник НГА України. – 2002. – №2. – С.22-25.
32. Брагинец И.Д. Способы борьбы с пучениями пород почвы транспортных горных выработок //Науковий вісник НГА України. – 2004. – №2. – С.13-18.
33. Пирский А.А., Стовпник С.Н. Опытные-промышленные испытания способа упрочнения пород для борьбы с пучением почвы //Уголь Украины. – 1990. – №4. – С.9-11.
34. Пирский А.А., Стовпник С.Н. Шахтные исследования пучения почвы в выработках Западного Донбасса // Уголь Украины. 1989. – №11 – С.2-3.
35. Рязанцев А.П. Определение параметров способа борьбы с пучением пород почвы для условий капитальных выработок шахты «Комсомолец Донбасса» //Науковий вісник МГУ. – 2004. – №2. – С.41-43.
36. Роечко А.Н. Об учете особенностей процесса пучения при оценке устойчивости почвы горных выработок //Науковий вісник НГА України. – 1999. – №5. – С.91-93.
37. Гапеев С.Н., Рязанцев А.Н. Учет слоистой структуры породного массива в задачах об устойчивости пород почвы одиночной выработки, расположенной вне зоны влияния лавы //Материалы международной конференции Форум горняков. – Днепропетровск: НГУ, 2005. – Том 1. – С. 179-185.
38. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. - Киев: Універ. вид-во «Пульсар», 2002. – 304 с.
39. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. – М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.
40. СНиП II-94-80. – М.: Стройиздат, 1982. – 30 с.
41. Руководство по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса. Спб.: ВНИМИ, 1992. – 51 с.

42. Гапеев С.Н. Исследование процесса пучения почвы протяженной выработки лабораторными и численными методами // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – №17. – Т. 1. – С.350-355.

43. Терещук Р.Н., Мартыненко С.В., Терещук А.Н. Исследование закономерностей проявлений горного давления в выработках с комбинированной крепью // Науковий вісник НГ'У. – 2006. – №10. – С.40-42.

44. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. Критерии оценки устойчивости пород почвы горных выработок // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №1. – С.44-49.

45. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецького басейна. – М.: Недра, 1966. – 180 с.

46. Шестаков Г.П. Влияние структурно-геологических особенностей на определение напряжений и устойчивости почвы горных выработок шахт Донбасса. // Сб. науч. тр.: Приложение результатов исследований полей напряжений к решению задач горного дела и инженерной геологии. – Апатиты. –1985. – С. 100-104.

47. Прогнозный каталог шахтопластов Донецького угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. – М: ИГД им. А.А. Скочинского, 1982. – 267 с.

48. Фесенко Э.В. Прогноз и закономерности пучения слоистых пород почвы горнах выработок: Дис...канд. техн. наук. – Днепропетровск: НГУ. – 187 с.

49. Терещук Р.М., Гапеев СМ., Терещук О.М. Дослідження впливу розмірів виробки на напружено-деформований стан породного масиву //Науковий вісник НГУ. – 2007. – №1. – С.60-62.

50. Амосин Б.З., Фадеев А.Б. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики. – М.: Недра, 1975. - 143 с.

51. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов и др. – М.: Недра, 1987. – 248 с.

52. Бахвалов Н.С. Численные методы. – М.: Наука, 1973. – 632 с.

53. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 197 с.
54. Д. Дэннис, Р. Шнабель Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. – М.: Мир, 1988. – 440 с.
55. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкций крепей. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
56. Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Стрельцов Е.В. Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. – М.: Недра, 1986. – 288 с.
57. Вылегжанин В.Н., Егоров П.В., Мурашев В.И. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов – Новосибирск: Наука, 1990. – 295 с.
58. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 236 с.
59. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
60. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерне кріплення гірничих ви-робіток вугільних шахт /Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дніпропет-ровськ, 2002. – 372 с.
61. Ержанов Ж.С., Каримбаев Т.Д. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород. – Алма-Ата: Наука, 1975. – 238 с.
62. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород. – Киев: Наукова думка, 1982. – 200 с.
63. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород. – М.: Углетехиздат, 1954. – 384 с.
64. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1982. – 272 с.
65. Сажин В.С. Упруго-пластическое распределение напряжений вокруг горных выработок различного очертания. – М.: Наука, 1968. – 94 с.
66. Перлин П.И. Упруго-пластическое распределение напряжений вокруг отверстий //Труды МФТИ. – 1960. – №5. – С. 117-134.

67. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 271 с.
68. Фотиева Н.Н. Расчет крепи подземных сооружений в сейсмически активных районах. – М.: Недра, 1980. – 222 с.
69. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Пучение пород почвы в выработках на шахтах Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1987. – №7. – С.12-13.
70. Литвинский Г.Г., Дружко Е.Б. Шахтные наблюдения за развитием зоны неупругих деформаций вокруг капитальных выработок // Проектирование и строительство угольных предприятий. – 1970. – №3. – С.34-38.
71. Глушко В.Т., Виноградов В.В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. – М.: Недра, 1982. – 192 с.
72. Яворский В.Н. Обоснование параметров технологии отработки угольных целиков камерами в условиях шахт Западного Донбасса: Дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск: НГУ, 2000. – 140 с.
73. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. – Киев: Наукова думка, 1979. – 136 с.
74. Усаченко Б.М., Чередниченко В.П., Головчанский И.Е. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизованных породах. – Киев: Наукова думка, 1990. – 144 с.
75. Руководство по размещению, выбору и расчету крепи и защите подземных горных выработок. – М.: Стройиздат, 1980. – 374 с.
76. Унифицированные типовые сечения горных выработок. Т.1. – Киев: Будивельник, 1971. – 416 с.
77. Сечения горных выработок, закрепленных металлической арочной шатровой крепью для условий шахт Западного Донбасса. – Днепропетровск: Фонды института «Днепрогипрошахт» (архивный №188406), 1988. – 274 с.
78. Сопротивление материалов /Под ред. Г.С.Писаренко. – Киев: Вища школа, 1979. – 696 с.
79. Гелескул М.Н., Каретников В.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. – М.: Недра, 1982. – 479 с.



80. Совершенствование способов охраны подготовительных выработок /А.М. Симанович, М.А. Сребный, В.И.Малов, И.Л.Белинский. – Донецк: Донбасс, 1973. – 121 с.

81. Симанович А.М., Сребный М.А. Охрана выработок на глубоких горизонтах. – М.: Недра, 1976. – 144 с.

82. Максимов А.П., Евтушенко В.В. Тампонаж горных пород. – М.: Недра, 1978. – 180 с.

83. Каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1982. – 268 с.

## ВИТЯГ

з протоколу №8/19 засідання кафедри підземної розробки родовищ  
Національного гірничого університету

м. Дніпропетровськ

10.12.2008 р.

**ПРИСУТНІ:** проф. Бондаренко В.І., проф. Кузьменко О.М., проф. Савостьянов О.В., проф. Табаченко М.М., проф. Ковалевська І.А., доц. Харченко В.В., доц. Сердюк В.П., доц. Хоменко О.Є., доц. Кошка О.Г., доц. Почепов В.М., асистенти: Доценко В.І., Фольштинський В.С. и др., Всього 19 чел.

**СЛУХАЛИ:** повідомлення керівника теми ГП-391 Бондаренка В.І. про результати виконання науково-дослідної роботи «Наукові основи прогнозу стійкості виробок у дрібношаруватому масиві з урахуванням прогресивних систем розробки».

**ВИСТУПИЛИ:** д.т.н., проф. Кузьменко О.М., д.т.н., проф. Табаченко М.М., к.т.н., доц. Почепов В.М.

У своїх виступах вони відзначили актуальність розв'язуваних у роботі задач, особливо для вугільної промисловості України, що спрямовані на підвищення стійкості виймальних штреків при виїмці вугільних пластів ресурсозбагачувальними технологіями. Підкреслили великий обсяг проведених досліджень у строгій відповідності з календарним планом і технічним завданням.

**УХВАЛИЛИ:**

1. Вважати, що робота виконана в повному обсязі відповідно до календарного плану і технічним завданням.

2. Робота виконана на високому рівні, має теоретичне і практичне значення, відповідає технічному рівню кращих вітчизняних і закордонних аналогів.

У теоретичному плані вперше розроблена, обґрунтована та досліджена геомеханічна модель граничного стану шаруватого масиву в зоні напружених деформацій, оцінка впливу механічних властивостей порід.

У практичному плані використовуються при розробці нормативно-технічної документації з розрахунку раціональних параметрів системи «шаруватий масив-кріплення виробки».

3. Робота не містить матеріали, що можуть скласти предмет винаходу або конфіденційних зведень «ноу-хау» (ст. 30/31 Закону України «Про підприємства в Україні»), що виконавець самостійно може передати третім особам (тиражувати на договірній основі).

4. Упровадження роботи буде здійснено в проектно-конструкторській і нормативній документації.

5. Заключний звіт по темі ГП-391 схвалити і передати замовникові.

Завідуючий кафедрою

д-р техн. наук, професор

В.І. Бондаренко

Секретар кафедри

асистент

О.А. Долгий

**В ИТЯГ**

з протоколу №8 засідання наукової ради з напрямку «Гірництво»  
Національного гірничого університету

м. Дніпропетровськ

10 грудня 2008 р.

**ПОРЯДОК ДЕННИЙ:** розгляд звітів за результатами науково-дослідних робіт у 2008 році за рахунок бюджетного фінансування.

**ПРИСУТНІ:** голова ради д.т.н., проф. Пілов П.І., заступник голови ради д.т.н., проф. Бондаренко В.І., вчений секретар ради к.т.н. Тюрю Ю.І., члени ради: д.т.н., проф. Бузило В.І., д.т.н., проф. Голінько В.І., д.т.н., проф. Зберовський О.В., д.т.н., проф. Шашенко О.М., д.т.н., проф. Симоненко В.І.

**СЛУХАЛИ:** повідомлення наукового керівника професора Бондаренка В.І. про результати виконання теми ГП-391 «Наукові основи прогнозу стійкості виробок у дрібно шаруватому масиві з урахуванням прогресивних систем розробки».

**ВИСТУПИЛИ:** проф. Зберовський О.В. і проф. Голінько В.І.

У виступах підкреслена актуальність напрямку підвищення стійкості підземних гірничих виробок шляхом визначення раціональних параметрів системи «шаруватий масив-кріплення виробок». Відзначено новизну роботи, що встановлює закономірності взаємозв'язку і взаємозалежності елементів системи.

**УХВАЛИЛИ:**

1. Вважати, що робота виконана в повному обсязі відповідно до календарного плану і технічним завданням.

2. Запропонований для виконання робіт колектив має високу кваліфікацію з даного наукового напрямку.

Робота виконана на високому рівні, має теоретичне і практичне значення, відповідає технічному рівневі кращих вітчизняних і закордонних аналогів.

У теоретичному плані встановлені і досліджені закономірності впливу структури та деформаційних характеристик порід вуглевміщуючої товщі на НДС системи.

У практичному плані – використовуються при розробці методики вибору раціональних параметрів кріплення.

3. У роботі брали участь проф. Ковалевська І.А, здобувач Коваль О.І., аспіранти: Мальцев Д.В., Кононенко М.М., Гайдай О.А., студенти: Лопатіна О.С, Джепа С.А., Книжник Є.І.

4. Технічний рівень НДР відповідає сучасному рівню науки і техніки.

5. Заключний звіт по темі ГП-391 схвалити та рекомендувати до затвердження.

Голова ради  
д.т.н., професор

П.І. Пілов

Учений секретар  
к.т.н.

Ю.І. Тюрю

**РЕЦЕНЗІЯ**

на науково-дослідну роботу по темі ГП-391

**«Наукові основи прогнозу стійкості виробок у дрібношаруватому масиві  
з урахуванням прогресивних систем розробки»**

У роботі обґрунтована просторова геомеханічна модель зрушення навколо пластової виробки тонкошаруватого масиву слабких порід з урахуванням кінцево-елементної побудови реальних геометричних параметрів рамного кріплення, підп'ятників, затування і закріпного простору з відповідними умовами їхнього контакту і реальними механічними характеристиками. Модель реалізована за допомогою методу кінцевих елементів на базі сучасних комп'ютерних програм і їх додатків.

Встановлення закономірностей взаємозв'язку основних елементів системи «шаруватий масив-кріплення виробки» становить наукову основу при розробці конструктивно-технологічних схем управління гірським тиском.

Практичним виходом роботи є визначення параметрів зон граничного стану порід навколо пластового виробки.

Рецензент,  
докт. техн. наук, професор,  
декан гірничого факультету НГУ

В.І. Бузило

**РЕЦЕНЗИЯ**

на науково-дослідну роботу по темі ГП-391

«Наукові основи прогнозу стійкості виробок у дрібношаруватому масиві з урахуванням прогресивних систем розробки»

Стійкість підготовчих виробок і схоронність кріплення визначаються розмірами й інтенсивністю утворення зон підвищених і знижених напружень у породному масиві, що вміщає виробку У роботі досліджені ці зони й установлені закономірності зміни НДС системи «шаруватий масив-кріплення штреку», викликані варіацією деформаційних характеристик породних шарів і врахуванням структури вуглевміщуючої товщі слабких порід. Це дозволяє визначити умови, при яких пластова виробка буде перебувати в задовільному стані.

Практичне значення роботи полягає у використанні отриманих закономірностей деформування шаруватого масиву слабких порід при розробці методу прогнозу переміщень породного контуру пластової виробки й розрахунку параметрів її кріплення.

Рецензент,  
доктор технічних наук,  
зав. відділом ІГТМ НАН України

В.П. Надутий