

УДК 622.272.001.57
№ держреєстрації 0109U002815
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВНЗ «НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19
тел./факс: (0562) 47-32-09, телекс 14-34-57 AGAT SU
E-mail: Shevchsergey@gmail.com

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з наукової роботи,
д-р техн. наук, професор
_____ О.С. Бешта

«___» _____ 2011 р.

ЗВІТ
З НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

НАУКОВІ ОСНОВИ КЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВОЮ СИСТЕМОЮ
«МАСИВ-КРІПЛЕННЯ» З УРАХУВАННЯМ ГРАНИЧНОГО І
ПОЗАМЕЖНОГО СТАНУ ТА УНІФІКОВАНИМИ ЗАСОБАМИ
КОНТРОЛЮ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ

по темі ГП-422
(заключний)

Начальник НДЧ,
канд. техн. наук, доц.

Р.О. Дичковський

Завідувач кафедри ПРР,
науковий керівник,
д-р техн. наук, проф.

В.І. Бондаренко

2011

Рукопис закінчений 15 грудня 2011 р.

Результати роботи розглянуто науково-технічною радою Державного ВНЗ «НГУ» №4 від 23 грудня 2011 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник,
гол. наук. співр.,
д-р техн. наук, проф.

В.І. Бондаренко
(розділи 1-4, висновки)

Відповідальний виконавець,
гол. наук. співр.,
д-р техн. наук, проф.

І.А. Ковалевська
(розділи 1-4, висновки)

Д-р техн. наук, проф.

Г.А. Симанович
(розділи 1-4, висновки)

Старший науковий співробітник

В.М. Почепов
(розділи 2, 3)

Старший науковий співробітник

В.В. Фомичов
(розділи 2, 3)

Науковий співробітник

О.К. Малова
(оформлення графічної частини)

Науковий співробітник

В.І. Мальченко
(вступ, розділ 1)

Молодший науковий співробітник

О.А. Долгий
(розділи 1, 3)

Молодший науковий співробітник

К.А. Ганушевич
(вступ, розділ 1)

Молодший науковий співробітник

К.С. Сай
(вступ, розділ 1)

Молодший науковий співробітник

Д.В. Мальцев
(оформлення графічної частини)

Інженер	Р.М. Свистун (вступ, розділ 1, висновки)
Інженер	О.В. Вівчаренко (вступ, розділ 2, висновки)
Інженер II категорії	Н.М. Марченко (оформлення звіту)
Інженер I категорії	Г.В. Ярошевська (оформлення звіту)
Лаборант	В.О. Соцков (оформлення звіту)
Лаборант	Р.В. Зубер (вступ, розділ 1)
Лаборант	Г.П. Сивак (вступ, розділ 1)
Науковий співробітник	О.С. Лопатіна (вступ, розділ 1)
Науковий керівник від кафедри аерології і охорони праці, головний науковий співробітник, д-р техн. наук	В.І. Голінько (постановка завдань, результати теоретично- го аналізу датчиків метану, розділи 2-3, аналіз результатів, загальні висновки)
Відповідальний виконавець, провідний науковий співробітник, д-р техн. наук	В.Є. Колесник (матеріали до розділів 1-4, висновки за розділами, рисунки, редагування звіту)

Молодший науковий співробітник

М.В. Левченко
(обробка результатів
експериментальних
досліджень датчиків
метану)

Провідний науковий співробітник,
канд. техн. наук

О.К. Котляров
(матеріали до розділів,
що отримані в результа-
ті експериментальних
досліджень на стендах
ВАТ «Червоний
металіст»)

Нормоконтролер

Л.С. Шломіна

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 184 с., 58 рис., 10 табл., 66 джерел, 4 додатка.

Об'єкт досліджень – підготовчі пластові виробки при прогресивних системах відпрацьовування пологих вугільних пластів, засоби контролю вибухонебезпечності газових сумішей.

Метою роботи є підвищення стійкості підземних виробок у дрібношаруватому масиві на базі встановлення закономірностей щодо оптимізації параметрів силової взаємодії системи «шаруватий масив-кріплення виробки», а також у підвищенні надійності контролю вмісту метану в широкому діапазоні змін його концентрацій в умовах аварійного загазування гірничих виробок.

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 «масив-кріплення виробки» – додаток Desain Star; врахування анізотропії матеріалів – програма Cosmos-M.

Встановлені закономірності елементів системи «масив-кріплення» в залежності від міцнісних та деформаційних характеристик породних шарів, обґрунтовані методи й запропонована розробка уніфікованих засобів контролю метану.

Різні сполучення розподілу міцнісних характеристик кожного із прилеглих породних шарів обумовлюють різний ступінь їхнього впливу на зміну поля напружень і переміщень навколо виробки. Визначальним фактором є вид стану прилеглих породних шарів: domeжовий, граничний, позамежний.

У НДР дана оцінка впливу деформаційних характеристик на поле зміщень та взаємозв'язку напруженого стану рамного кріплення з деформаційними характеристиками. Розглянуто вплив глибини розташування пластової виробки на НДС системи. У роботі обґрунтовані методи контролю високих концентрацій метану, можливість застосування двокамерного термокаталітичного датчика метану. Розроблені методи контролю вибухонебезпечності газових сумішей на ос-

нові уніфікованих датчиків. Також запропоновані умови створення універсальних аналізаторів метану.

Дослідження з даної тематики проводяться у НГУ з 1990 року і спрямовані на підвищення стійкості підземних виробок з урахуванням вибухонебезпечності газових сумішей.

Представлені в звіті результати досліджень отримані вперше й відрізняються більш повним урахуванням гірничотехнічних і гірничо-геологічних факторів при комп'ютерному моделюванні системи «масив-кріплення» з урахуванням вибухонебезпечності газових сумішей, 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 з урахуванням комплексного контролю умов праці в вугільних шахтах за пиловим фактором.

ПЛАСТОВА ВИРОБКА, ШАРУВАТИЙ МАСИВ, КРІПЛЕННЯ,
МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТОД МКЕ, НАПРУЖЕННЯ, РОЗРАХУНОК, ГАЗОВЕ
СЕРЕДОВИЩЕ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ, КОНЦЕНТРАЦІЯ МЕТАНУ,
ДИНАМІКА АВАРІЙНОГО ЗАГАЗУВАННЯ, ГАЗОАНАЛІЗАТОРИ,
ТЕРМОКАТАЛІТИЧНІ ДАТЧИКИ МЕТАНУ

ЗМІСТ

ВСТУП		9
1	Дослідження закономірностей зміни поля напружень з ростом глибини розробки та особливостей формування вибухонебезпечного середовища в дегазаційних трубопроводах	11
1.1	Дослідження і аналіз напруженого стану шаруватого масиву приконтурних порід пластових підготовчих виробок	11
1.2	Умови ефективної роботи систем дегазації вугільних пластів	29
1.3	Особливості контролю вибухонебезпечності у дегазаційних системах	33
1.4	Обґрунтування вимог до засобів контролю вибухонебезпечності газових сумішей у дегазаційних трубопроводах	36
	Висновки	42
2	Дослідження зміни поля повних зміщень навколо пластової виробки з ростом глибини розробки та обґрунтування термокондуктометричного способу виміру з використанням неізолюваних порівняльних елементів	43
2.1	Дослідження і аналіз переміщень приконтурних порід навколо пластової виробки	43
2.2	Оцінка погрішностей аналізаторів метану від невимірюваних компонентів суміші в дегазаційних трубопроводах	57
2.3	Обґрунтування термокондуктометричного методу контролю з використанням різних теплових режимів чутливих елементів в однокамерних датчиках	64
2.4	Розробка й дослідження термокондуктометричних датчиків з неізолюваним порівняльним елементом	78
	Висновки	84
3	Дослідження впливу на НДС рамного кріплення зі зростанням глибини розробки	86
3.1	Аналіз напруженого стану рамного кріплення	86
3.2	Вибір режиму живлення термокондуктометричних датчиків для контролю метану в трубопроводах	92
3.3	Вплив параметрів газового середовища на температурні режими термоелементів у мостових вимірювальних схемах термокондуктометричних газоаналізаторів	104

Висновки	111
4 Конструктивно-технологічні ресурсозберігаючі заходи з управління НДС системи «масив-кріплення». Лабораторні випробування двокамерних термокаталітичних (універсальних) аналізаторів вибухонебезпечності суміші в трубопроводах	113
4.1 Обґрунтування принципу управління НДС рамного кріплення за допомогою анкерів	113
4.2 Вдосконалення і обґрунтування механічних зв'язків анкерів і рам в єдиній вантажонесучій конструкції рамно-анкерного кріплення	118
4.3 Контроль складу газових сумішей у трубопроводах на основі універсальних широкодіапазонних аналізаторів метану	125
4.3.1 Шляхи реалізації широкодіапазонних аналізаторів метану	125
4.3.2 Особливості використання порівняльного елемента термокаталітичного датчика як датчика теплопровідності	127
4.3.3 Способи забезпечення різних теплових режимів чутливих елементів в універсальних датчиках метану	139
4.4 Лабораторні дослідження первинних перетворювачів для контролю метану в трубопроводах	144
4.5 Реалізація результатів досліджень і перспективи подальшого вдосконалювання засобів контролю метану	151
Висновки	153
ВИСНОВКИ	155
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	163
Додаток А Завдання на проведення патентних досліджень	170
Додаток Б Витяг із протоколу засідання кафедри підземної розробки родовищ	180
Додаток В Витяг із протоколу засідання ради з наукового напрямку «Гірнича справа» Державного ВНЗ «НГУ»	182
Додаток Г Рецензія доктора технічних наук, декана гірничого факультету Державного ВНЗ «НГУ»	184

ВСТУП

Проблема підтримки підземних гірничих виробок ресурсозберігаючими технологіями набуває для шахт Донбасу та інших вугільних родовищ України все більшу актуальність з ряду основних причин: по-перше, неухильна тенденція до ускладнення гірничо-геологічних умов розробки; по-друге, постійно зростаючі матеріальні й трудові витрати на кріплення і підтримку пластових підготовчих виробок; по-третє, необхідність жорсткості вимог безпечного ведення підземних робіт. У даній економічній ситуації найбільш перспективним залишається напрямок підвищення стійкості гірничих виробок за рахунок зміцнення приконтурних порід і залучення їх у роботу із протидії гірському тиску. Світовий досвід підтверджує високу ефективність методів зміцнення масиву анкерами з утворенням податливих кріпильних конструкцій підвищеної несучої здатності. Це відображено в рішеннях Міністерства палива й енергетики, наприклад, по широкомасштабному застосуванню анкерного кріплення.

Очевидно, що максимальний ефект від зміцнення приконтурного масиву досягається при встановленні раціональних параметрів його взаємодії з підтримуючим кріпленням і з знеміцненим масивом навколо виробки. Тому успішне рішення даної, безумовно, актуальної проблеми, повинне базуватися на принципах оптимізації режимів взаємодії й взаємовпливу елементів триєдиної системи «масив-зміцнені породи-кріплення» поряд з найбільш повним урахуванням особливостей зміцнюючого ефекту від дії анкерів. Ці особливості, як показує вітчизняна й світова практика, характеризуються істотною дискретністю зміцнюючої дії, що накладається на значну неоднорідність механічних і геометричних параметрів утвореної вантажонесучої конструкції в цілому. Це обумовлює появу збурювань її деформаційно-силової характеристики як у поперечному, так і поздовжньому перетинах виробки. Дані фактори генерують формування просторових змін розмірів зони нестійкої рівноваги порід навколо виробки й навантаження на кріплення від їхньої ваги. У сукупності відзначені причини викликають істотну непостійність режимів взаємодії системи «масив-зміцнені породи-кріплення» у поперечному й поздовжньому перетинах вироб-

ки, що негативно позначається на її стійкості.

Таким чином, інтенсифікація ресурсозберігаючих технологій забезпечення стійкості гірничих виробок на основі більш достовірного врахування особливостей спільної роботи елементів системи «масив-зміцнені породи-кріплення» повинна базуватися на просторовій оптимізації процесу їх взаємодії.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ПОЛЯ НАПРУЖЕНЬ З РОСТОМ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОГО СЕРЕДОВИЩА В ДЕГАЗАЦІЙНИХ ТРУБОПРОВОДАХ

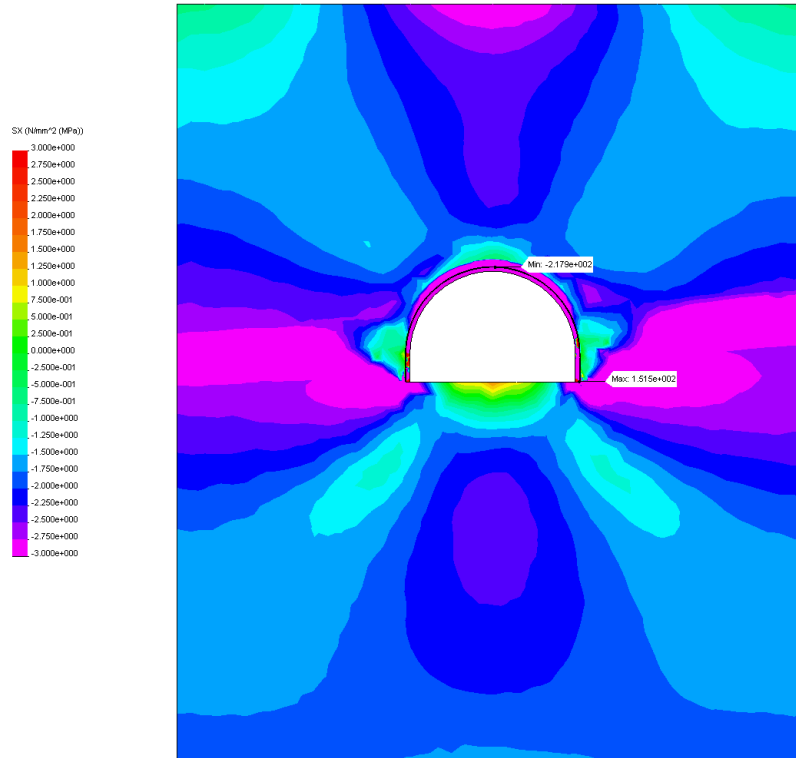
1.1 Дослідження і аналіз напруженого стану шаруватого масиву приконтурних порід пластових підготовчих виробок

Загальновідомо, що з ростом глибини розробки збільшується вихідне поле напружень шаруватої вуглевміщуючої товщі, яке з початкового негідростатичного стану переходить в окремих шарах (граничне деформування) у близьке до гідростатичного й на стадії позамежного деформування спостерігається збільшення гірської породи в об'ємі [1-6] за рахунок розпушення. Ці закономірності досліджені на прикладі шаруватого масиву слабких порід, що відображає умови експлуатації пластових виробок шахт Західного Донбасу. На першому етапі дослідженнями напруженого стану вуглевміщуючого породного масиву проаналізована зміна компоненти σ_x з ростом глибини розташування виробки.

Досліджено поле горизонтальних напружень при знижених міцнісних ($\sigma_{\text{не } i}^{K,I} = 5 \text{ МПа}$) і деформаційних ($E_i^{K,I} = 0,3 \cdot 10^4 \text{ МПа}$) характеристиках усіх прилеглих до виробки породних шарів (рис 1.1 і [7]). При $H = 200 \text{ м}$ більша частина вуглевміщуючої товщі (за винятком локальних областей навколо виробки) перебуває в domeжовому стані з відповідними особливостями розподілу σ_x (див. рис. 1.1, а):

- підвищене розвантаження в приконтурних породах підосви виробки (з появою розтягальних σ_x) в порівнянні з її покрівлею;
- підвищені стискаючі напруження на більш віддалених ділянках покрівлі й підосви, що свідчить про прогин шарів у порожнину виробки;
- підвищені стискаючі напруження в районі вугільного пласта за рахунок збільшеного коефіцієнта бокового розпору ($\mu^o > \mu_i^{K,I}$);
- на інших ділянках σ_x наближається до вихідного негідростатичного стану.

а)



б)

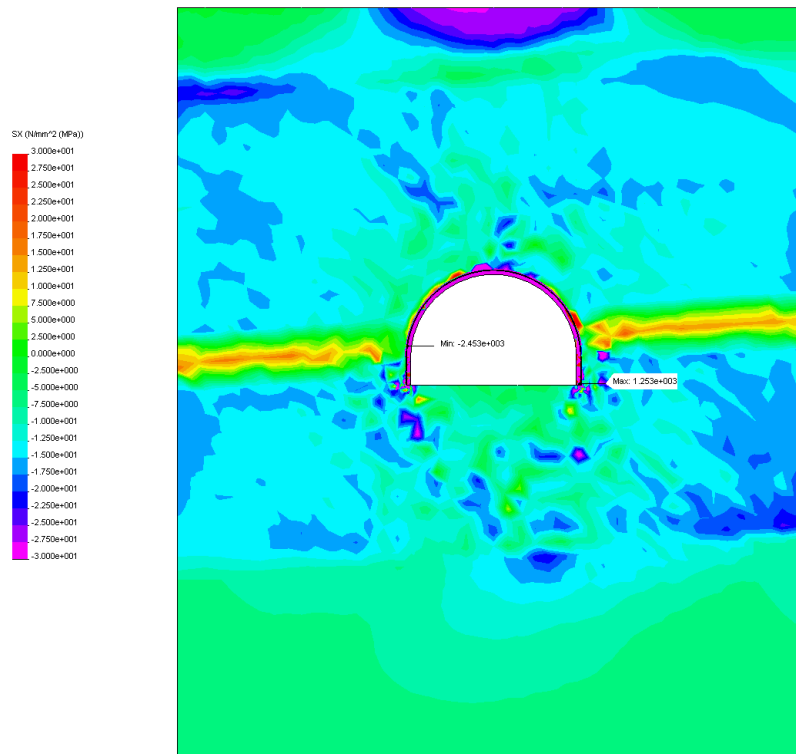
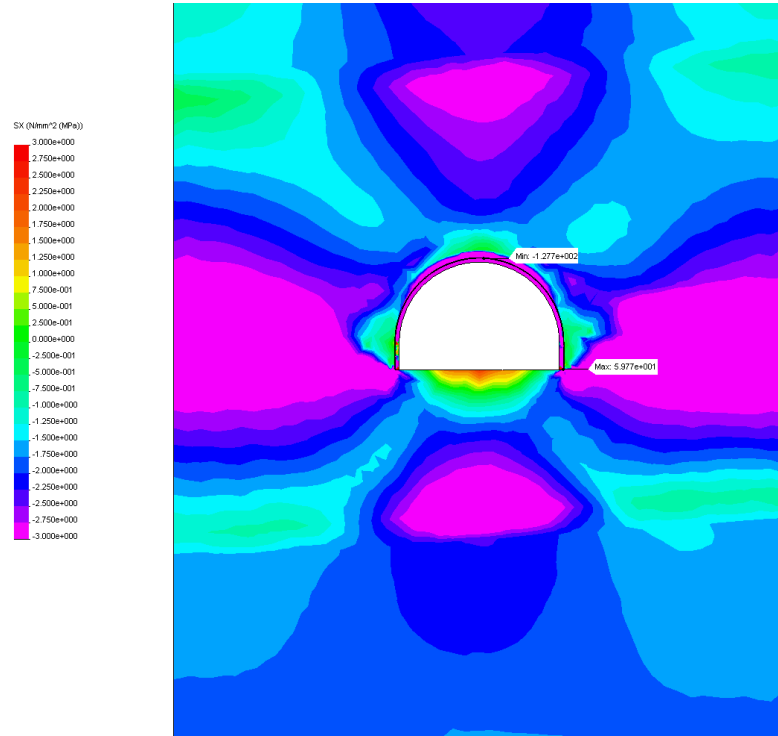


Рисунок 1.1 – Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при знижених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів:
 а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

а)



б)

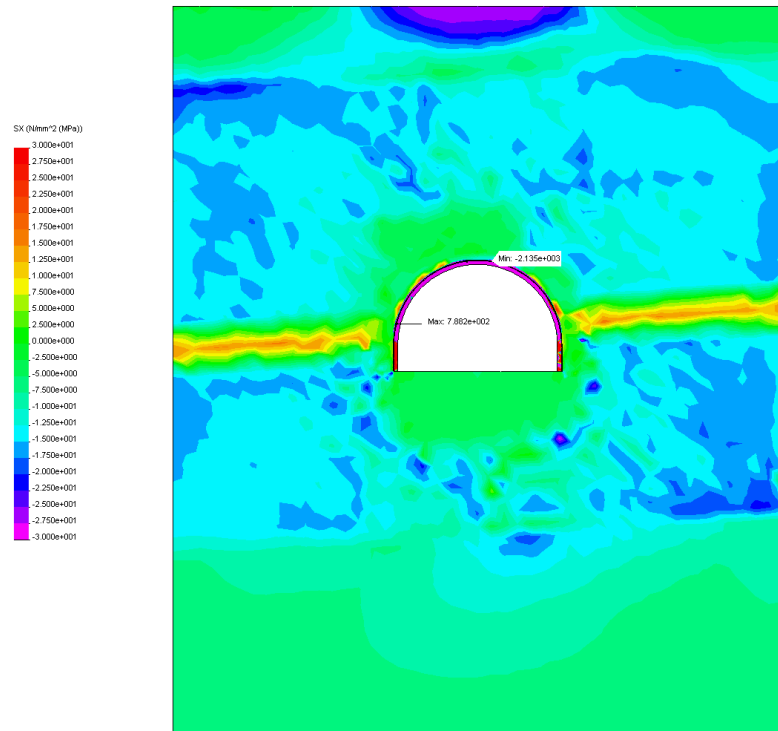


Рисунок 1.2 – Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при знижених міцнісних і підвищених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

Зі збільшенням глибини розробки до $H = 400$ м епюра σ_x докорінно змінюється, що пов'язано з переходом більшої частини прилеглих породних шарів у граничний стан (докладний опис наведений в [7]). При $H = 600$ м відбуваються подальші зміни епюри σ_x (див. рис. 1.1, б), обумовлені не стільки граничним (знеміцнення), скільки позамежним (розпушення) станом породних шарів:

- розвантажуються від σ_x більш віддалені породні шари (другий у підшві й третій у покрівлі), які починають у певній мірі брати участь у процесах руху вуглевміщуючої товщі в порожнину виробки;

- у приконтурних породах по всьому периметру виробки, де діють знижені σ_x , з'являються окремі області з $\sigma_x > \gamma H$, що вказує на активний процес розпушення породи;

- у більш віддалених ділянках прилеглих породних шарів величина $\sigma_x > \gamma H$, що характеризує їх практично повсюдний перехід не тільки в граничне, але й позамежний стан, що різко інтенсифікує зрушення вуглевміщуючого масиву в порожнину виробки;

- у більш міцному (у порівнянні з породою) вугільному пласті на всю прилеглу область по підняттю й падінню поширюються розтягальні σ_x за потужністю шару з максимумом у його серединній частині, що досягає 12...18 МПа; цей факт пояснюється істотним градієнтом переміщень породних шарів у порожнину виробки в граничному (позамежному) стані й вказує на те, що у вугільному пласті також порушується його цілісність, але вже від розтягальних напружень.

Таким чином, при знижених міцнісних характеристиках прилеглих породних шарів з ростом глибини розташування пластової виробки спостерігається різка зміна поля горизонтальних напружень не тільки в кількісному, але й у якісному плані.

Простежено також вплив підвищених деформаційних характеристик прилеглих породних шарів ($E_i^{K,I} = 1 \cdot 10^4$ МПа) при тих же знижених їх міцнісних властивостях ($\sigma_{\text{не } i}^{K,I} = 5$ МПа) на тенденції зміни поля σ_x з ростом глибини розробки (рис. 1.2 і [8]).

Порівнюючи дані епюри σ_x з попереднім варіантом ($E_i^{K,I} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа) можна відзначити, що з ростом H вони стають усе більш схожими один на одного як у якісному, так і кількісному відношеннях. Очевидно, це пояснюється тим, що в граничному й, особливо, у домажовому станах деформаційні властивості породних шарів багаторазово перевищують такі в домажовому стані й вплив $E_i^{K,I}$ стає несуттєвим.

Тільки на малій глибині ($H = 200$ м) є деякі відмінності (див. рис. 1.1, а й рис. 1.2, а) у частині більш великих зон розвантаження в приконтурній області й підвищених σ_x на віддалених ділянках масиву, що обумовлено підвищеною жорсткістю породних шарів.

Проміжні варіанти $E_1^{K,I} = 1 \cdot 10^4$ МПа, $E_2^K = 0,3 \cdot 10^4$ МПа (рис. 1.3) і $E_1^{K,I} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа, $E_2^K = 1 \cdot 10^4$ МПа (рис. 1.4) розподілу деформаційних характеристик прилеглих породних шарів остаточно підтверджують відзначені вище закономірності зміни поля σ_x з ростом глибини розробки.

Підвищені міцнісні характеристики ($\sigma_{\text{нзе } i}^{K,I} = 20$ МПа) всіх прилеглих породних шарів докорінно перетворюють тенденцію зміни поля компоненти σ_x при збільшенні глибини розташування виробки. Це обумовлено тим, що основний об'єм вуглевміщуючої товщі перебуває ще в домажовому стані за винятком локальних областей в основному в приконтурних породах. Як при знижених (рис. 1.5 і [7]), так і при підвищених (рис. 1.6 і [8]) деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів спостерігається досить стабільна якісна картина поля напружень σ_x , мало пов'язана з величиною H . У кількісному відношенні компонента σ_x монотонно зростає зі збільшенням H по залежності, близької до лінійної. Це обумовлено лінійними співвідношеннями між напруженнями й деформаціями в домажовому стані елементарного породного об'єму. Чередування знижених і підвищених деформаційних характеристик у прилеглих породних шарах (рис. 1.7 і рис. 1.8) не вносять значимих змін у тенденції зв'язку поля σ_x й глибини розташування виробки.

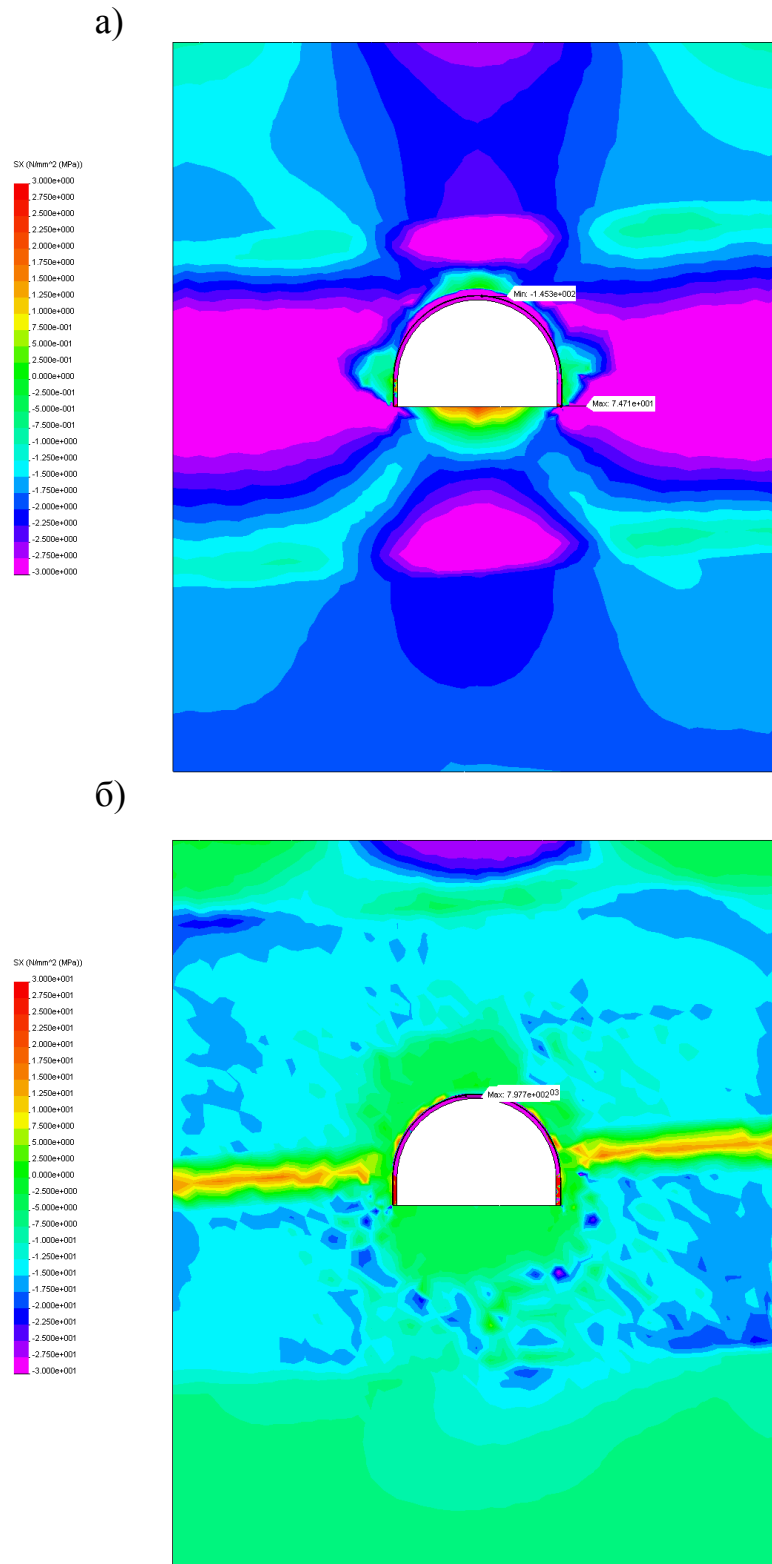
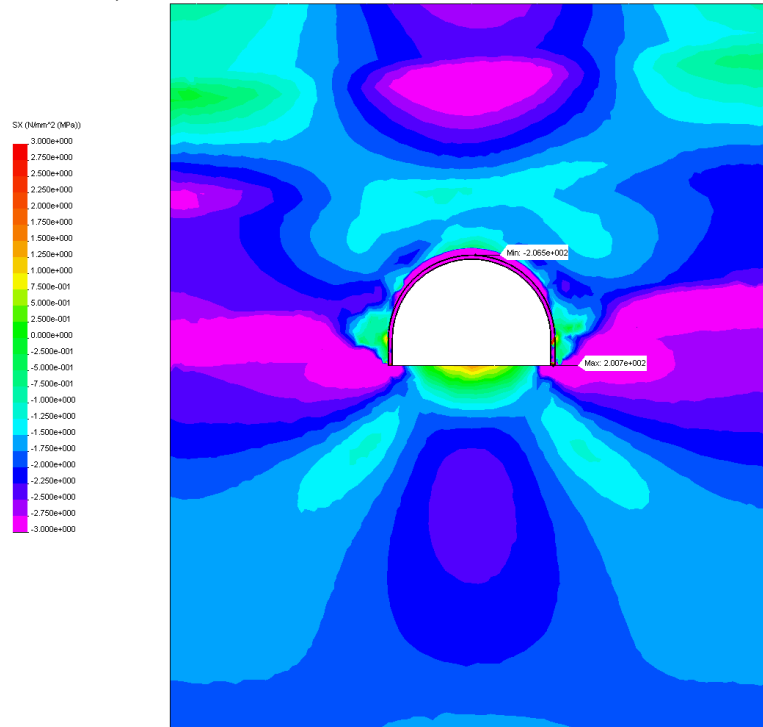


Рисунок 1.3 – Елюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при знижених міцнісних характеристиках усіх прилеглих породних шарів і варіанта $E_1^{K,i} = 1 \cdot 10^4$ МПа, $E_2^K = 0,3 \cdot 10$ МПа розподілу їх деформаційних властивостей: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

а)



б)

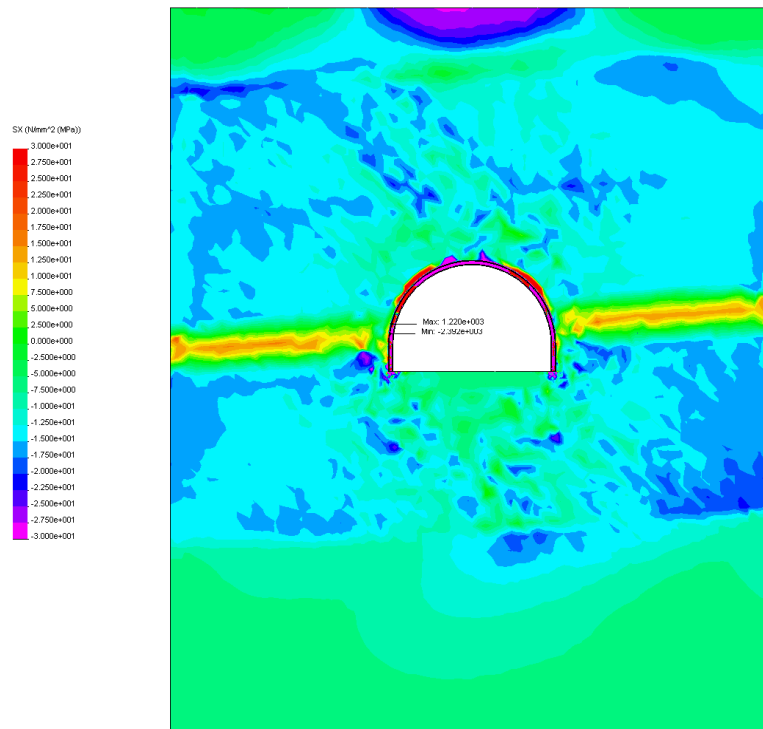


Рисунок 1.4 – Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_δ при знижених міцнісних характеристиках усіх прилеглих породних шарів і варіанта $E_1^{K,I} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа, $E_2^K = 1 \cdot 10^4$ МПа розподілу їх деформаційних властивостей: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

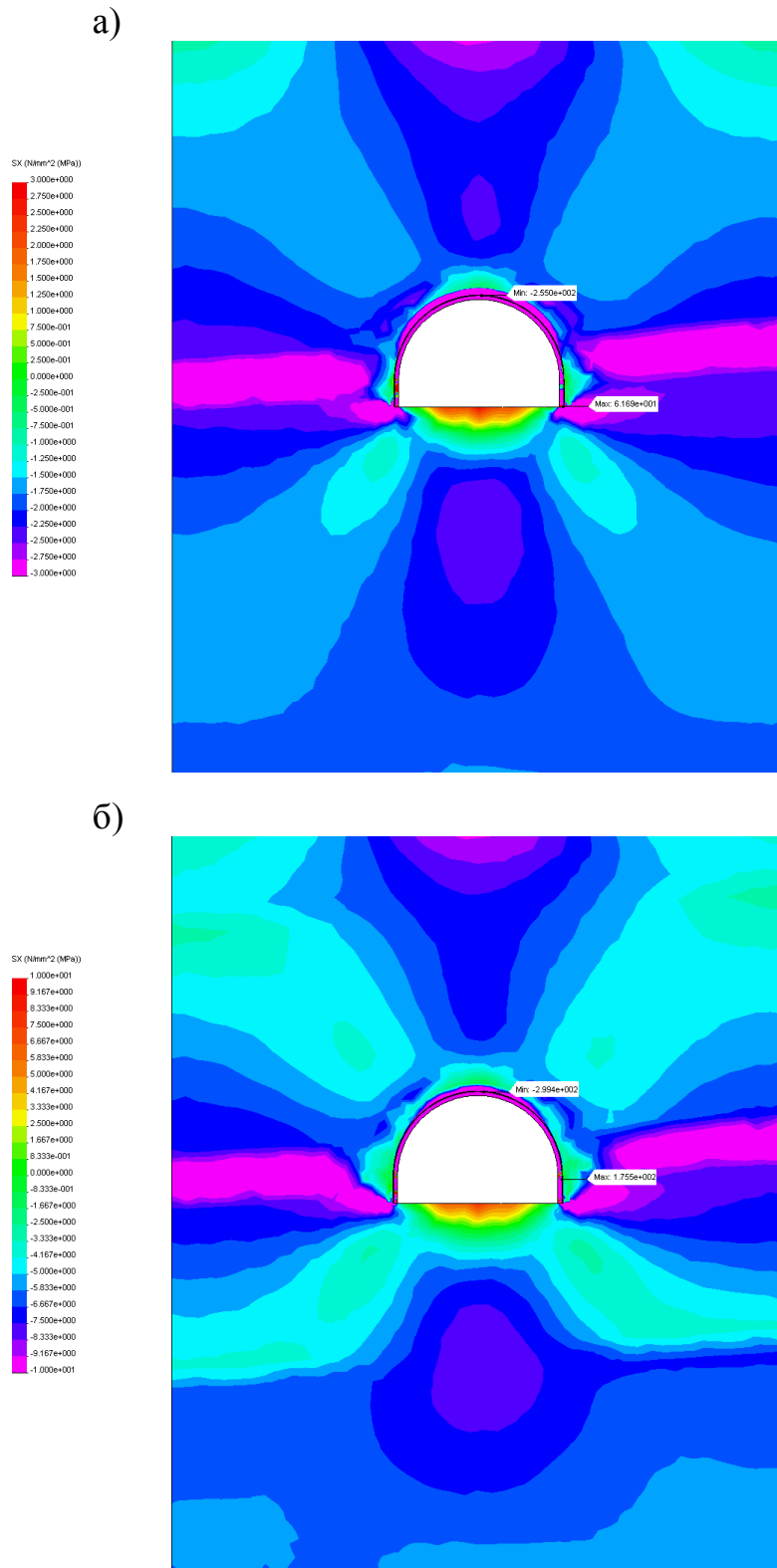


Рисунок 1.5 – Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_{δ} при підвищених міцнісних і знижених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

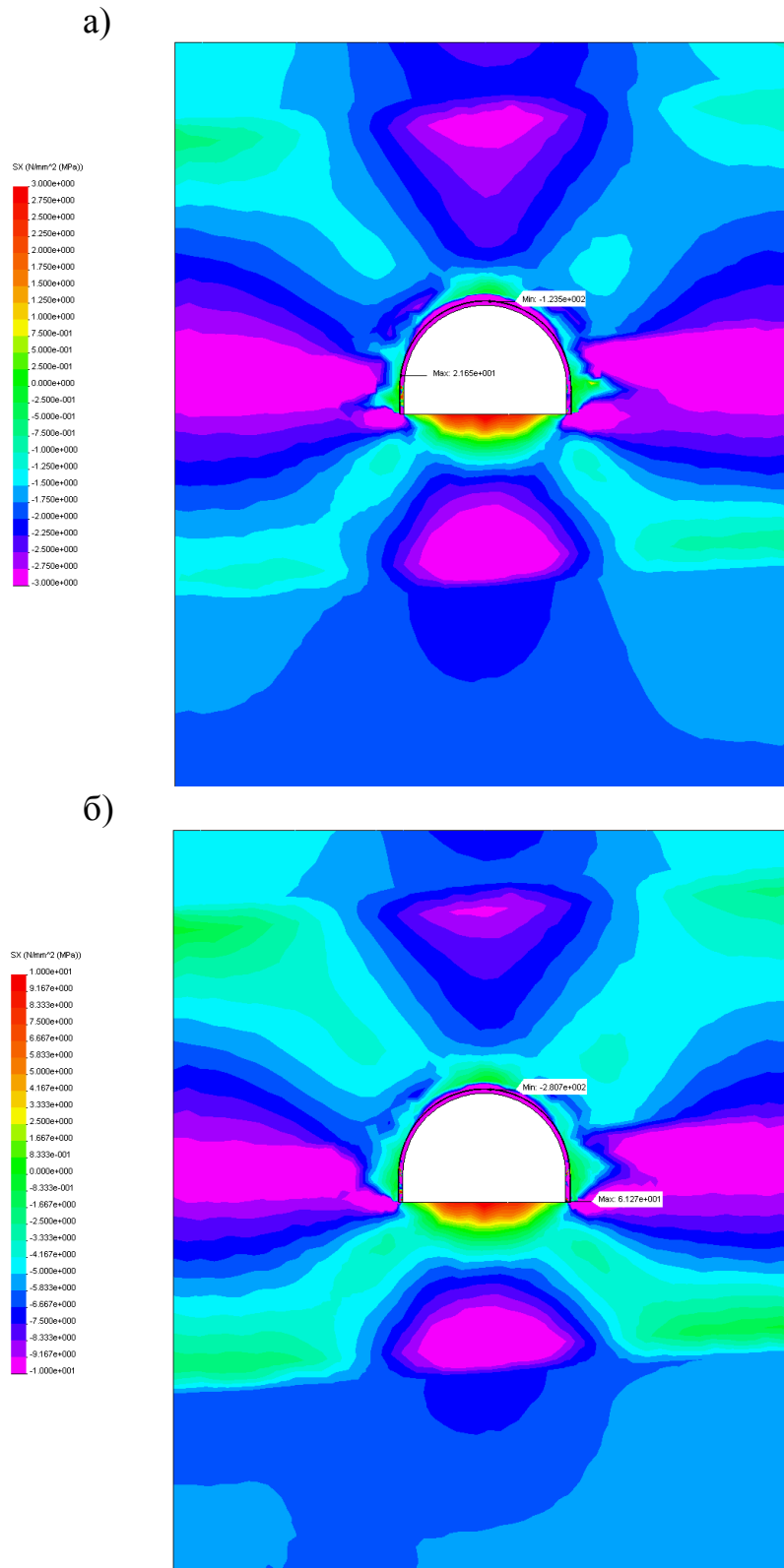


Рисунок 1.6 – Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при підвищених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів:
 а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

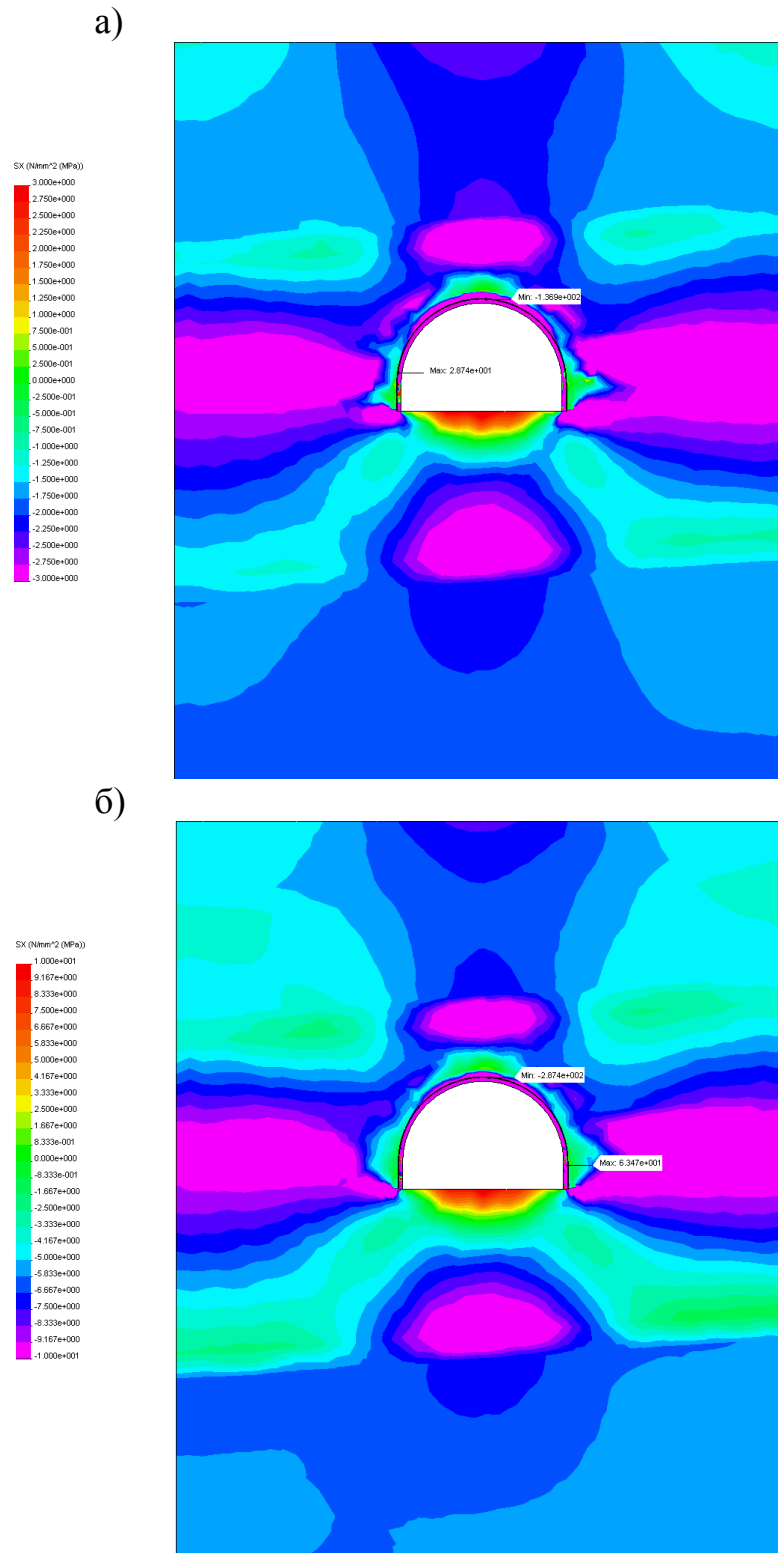


Рисунок 1.7 – Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при підвищених міцнісних характеристиках усіх прилеглих породних шарів (див. табл. 2.2 [7]) за варіантом №7 (див. табл. 2.1 [7]) їх деформаційних властивостей: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

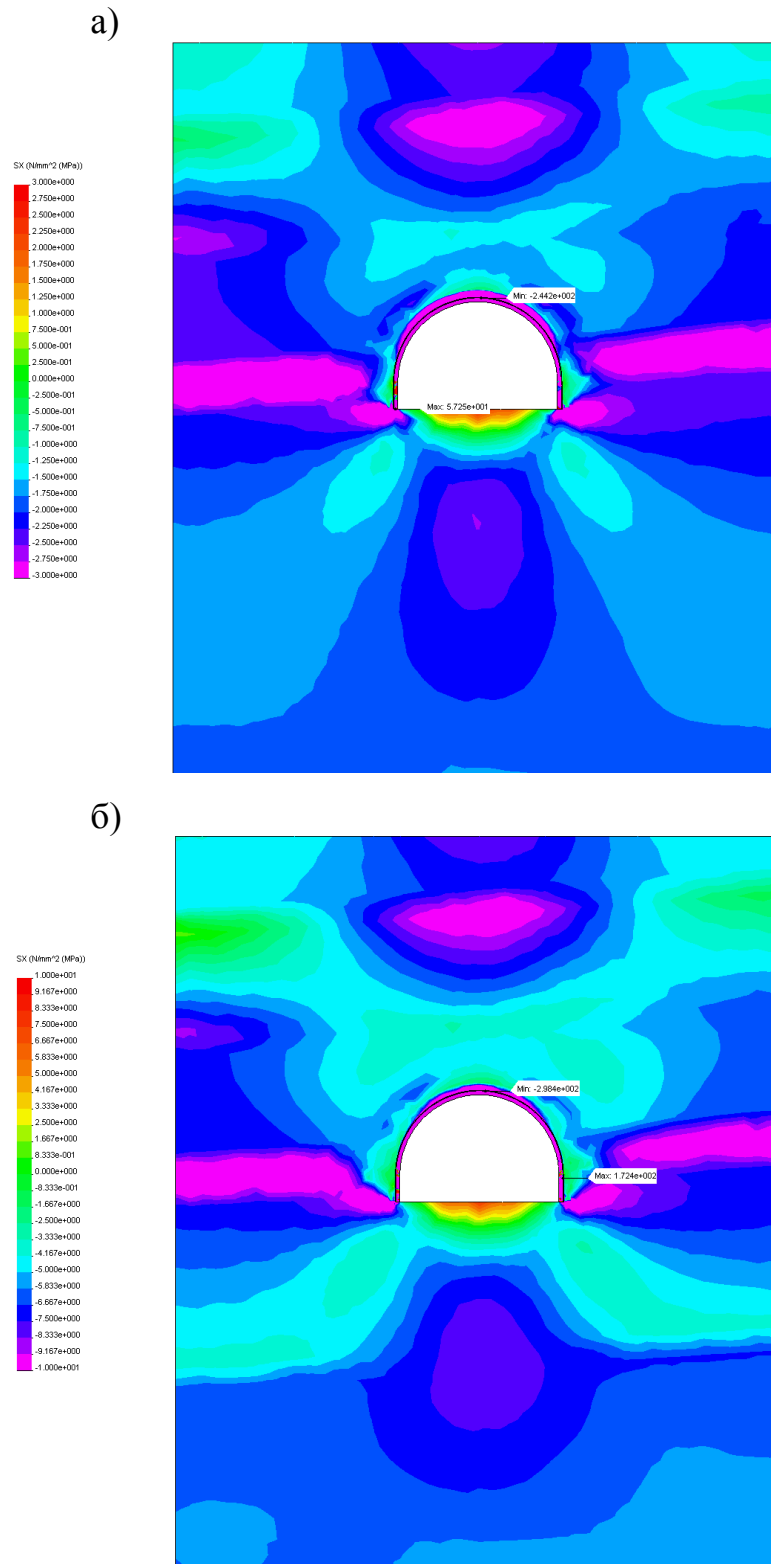


Рисунок 1.8 – Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при підвищених міцнісних характеристиках усіх прилеглих породних шарів (див. табл. 2.2 [7]) за варіантом №10 (див. табл. 2.1 [7]) їх деформаційних властивостей:
а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

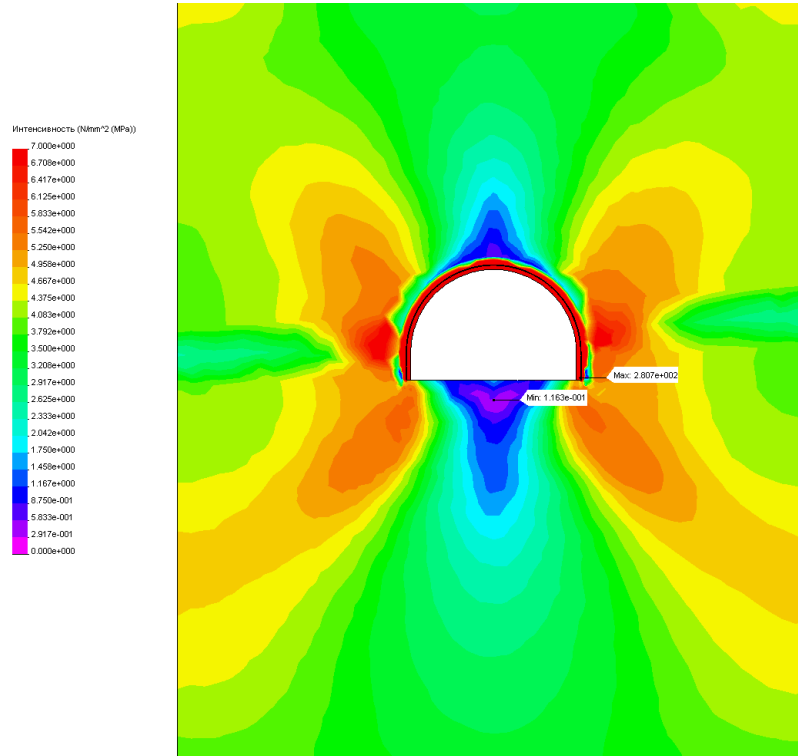
Найбільш інформативний параметр – епіюра приведених напружень σ має схожі з компонентом σ_x тенденції зв'язку із глибиною розташування виробки.

При знижених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів (рис. 1.9 і [7]) спостерігається їх перехід із часткового domeжового стану ($H = 200$ м) в граничний ($H = 400$ м), а при $H = 600$ м у граничному (поза domeжовому) стані перебуває й більша частина другого шару підосви, третього шару покрівлі й сам вугільний пласт. При $H = 400$ м у покрівлі й підосві на деякій відстані від виробки утворюються еліпсоїдальні області, де має місце domeжовий стан породи, хоча величина σ вже наближається до руйнівного. При $H = 600$ м ці області практично зникають у першому шарі підосви та другому шарі покрівлі й переходять у більш віддалені породні шари. Відносно розвантажена приконтурна зона в покрівлі й боках виробки на глибину $(0,2...0,4)r_g$ перебуває у стані, близькому до граничного ($H \geq 400$ м), що провокує розвиток значних навантажень на рамне кріплення. На глибині 600 м вугільний пласт уже перестає бути стримуючим фактором при розвитку зрушень вміщуючого масиву, оскільки більша його частина перебуває в граничному стані.

Підвищені деформаційні характеристики прилеглих породних шарів (рис. 1.10 і [8]) практично не змінюють якісної й кількісної картини зв'язку параметрів σ і H .

Підвищені міцнісні характеристики прилеглих породних шарів забезпечують domeжовий стан більшої їхньої частини (рис. 1.11 і [7]). У цих областях приведені напруження зростають прямо пропорційно глибині розробки. Однак при $H = 600$ м деяка частина другого шару підосви й третього шару покрівлі переходять у граничний стан, тому що їх міцнісні характеристики нижче, ніж у прилеглих породних шарів. Але, оскільки в межах ширини виробки є відносно розвантажена область, що перебуває в domeжовому стані, вона дозволяє зберегти зв'язок σ і H , близьку до лінійного, для більшої частини вуглевміщуючої товщі. Тут також спостерігається незначний вплив підвищених деформаційних характеристик прилеглих породних шарів у частині деякого збільшення розмірів області концентрації σ в боках і підосві (під опорами стояків рами) з одночасним невеликим зниженням їхнього максимуму (рис. 1.12 і [8]).

а)



б)

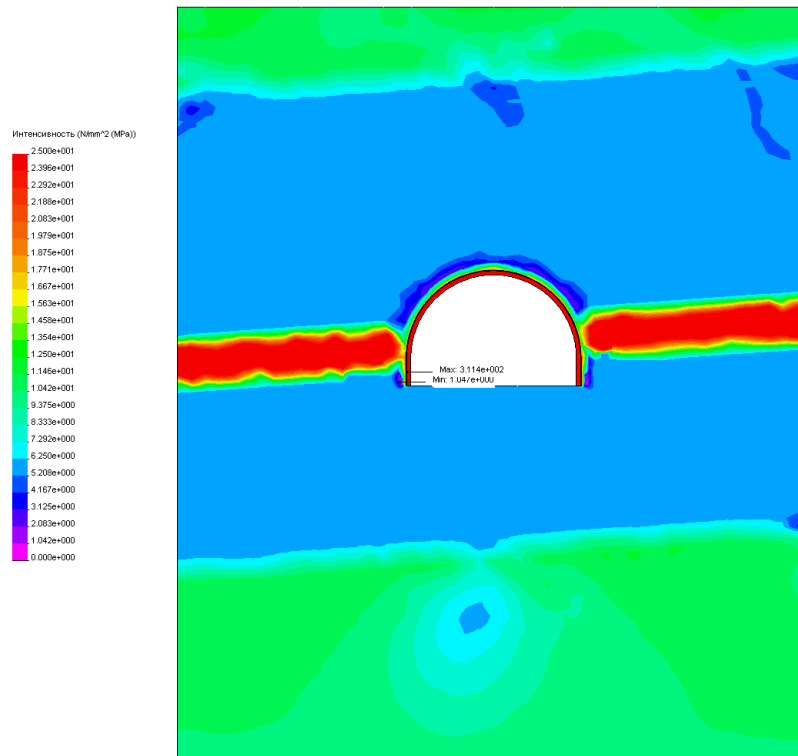
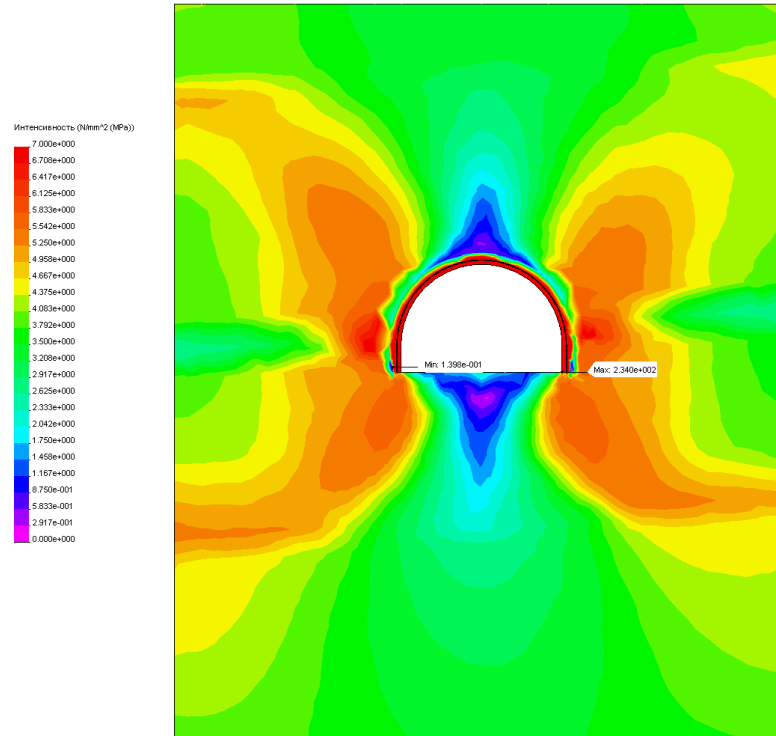


Рисунок 1.9 – Епюри розподілу приведених напружень σ при знижених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів:
а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

а)



б)

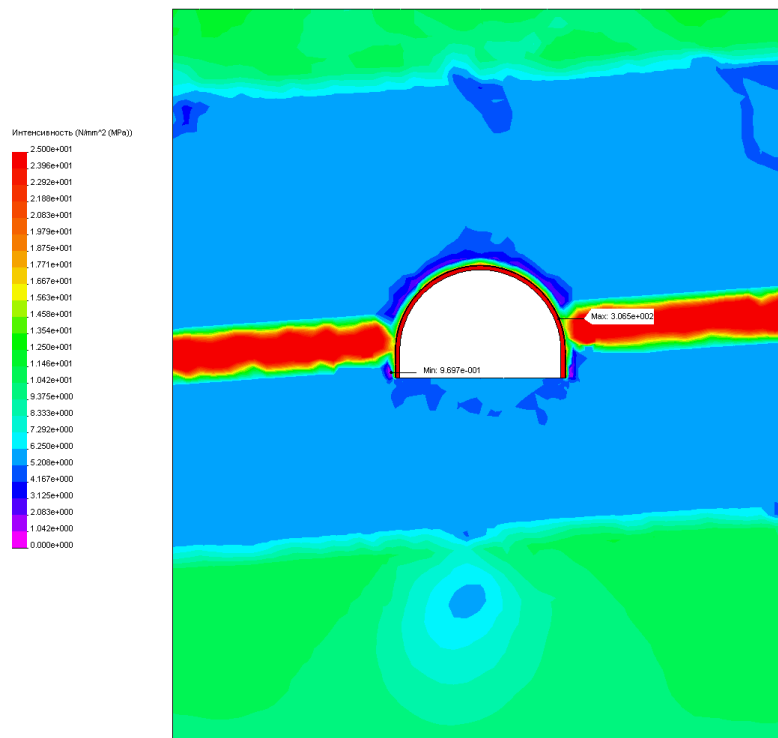
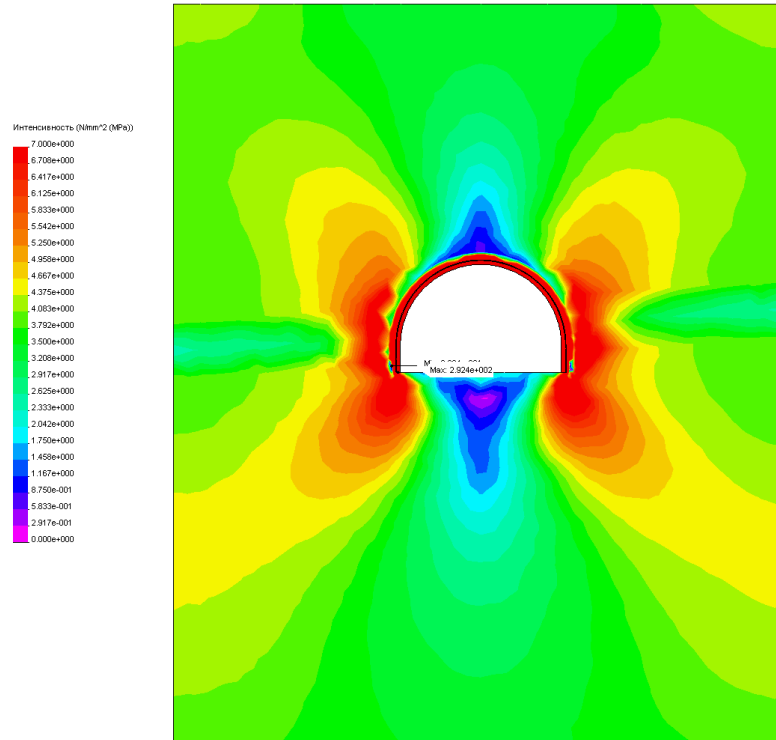


Рисунок 1.10 – Епюри розподілу приведених напружень σ при знижених міцнісних і підвищених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

а)



б)

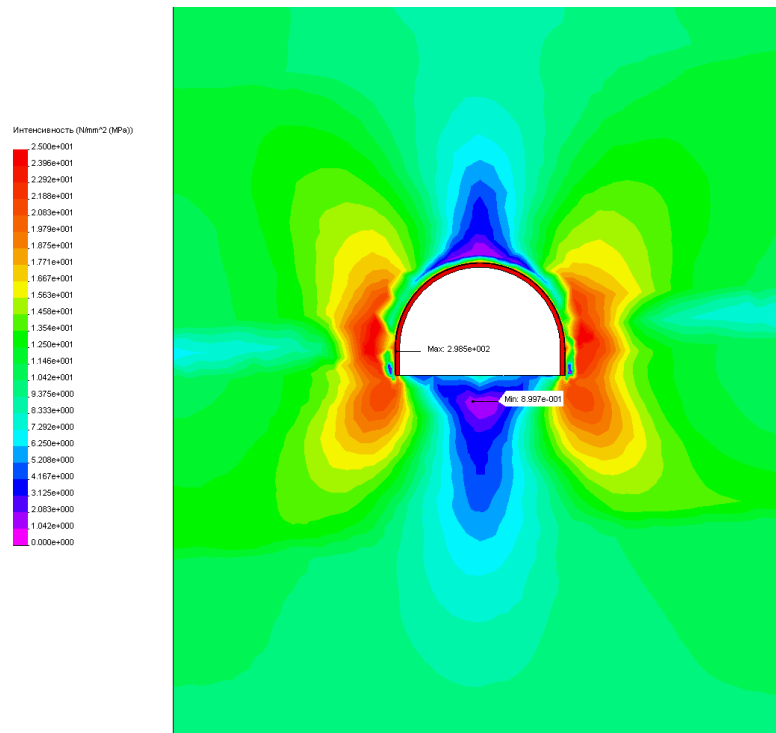
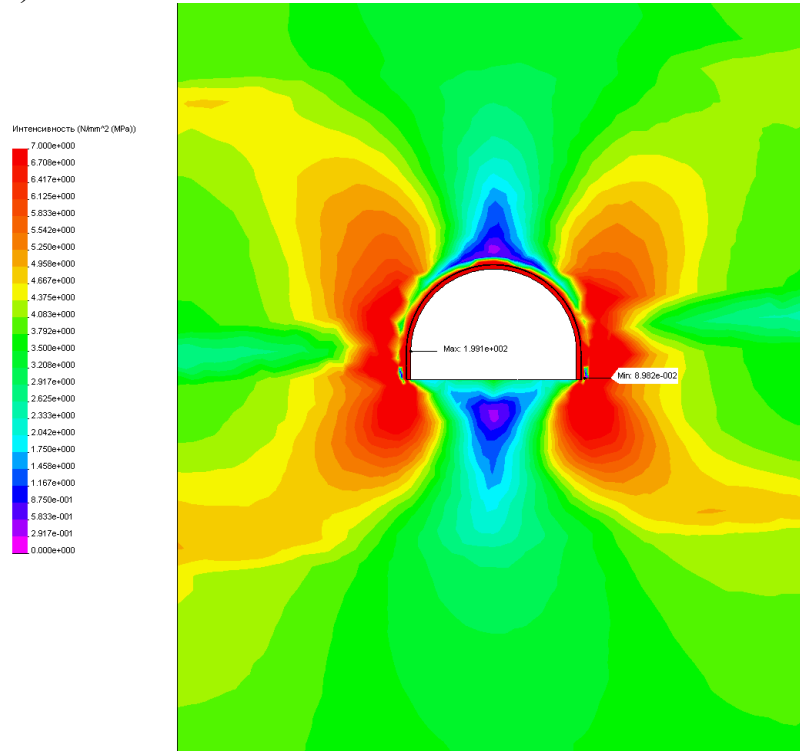


Рисунок 1.11 – Епюри розподілу приведених напружень σ при підвищених міцнісних і знизених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

а)



б)

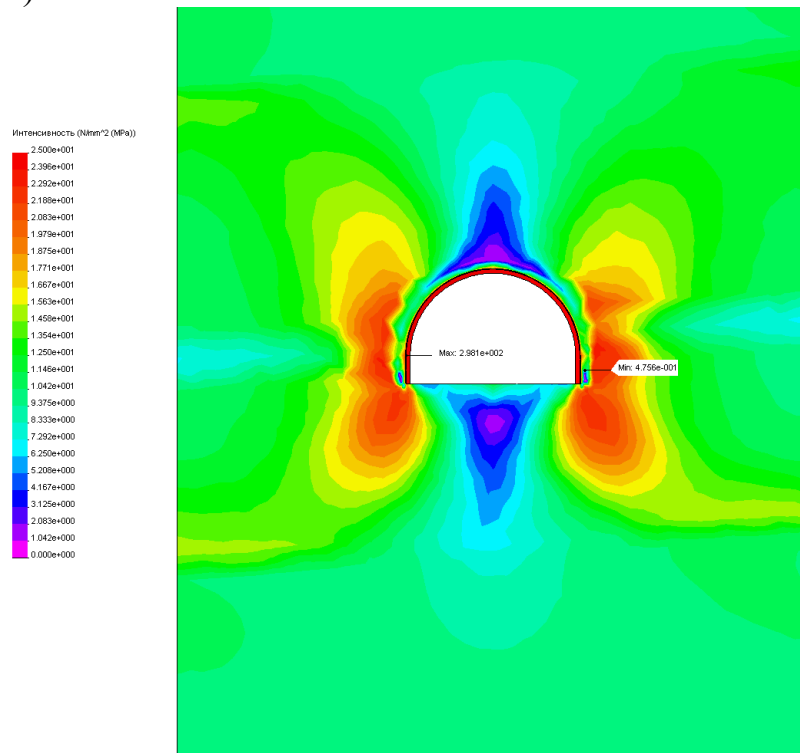


Рисунок 1.12 – Епюри розподілу приведених напружень σ при підвищених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів:
 а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

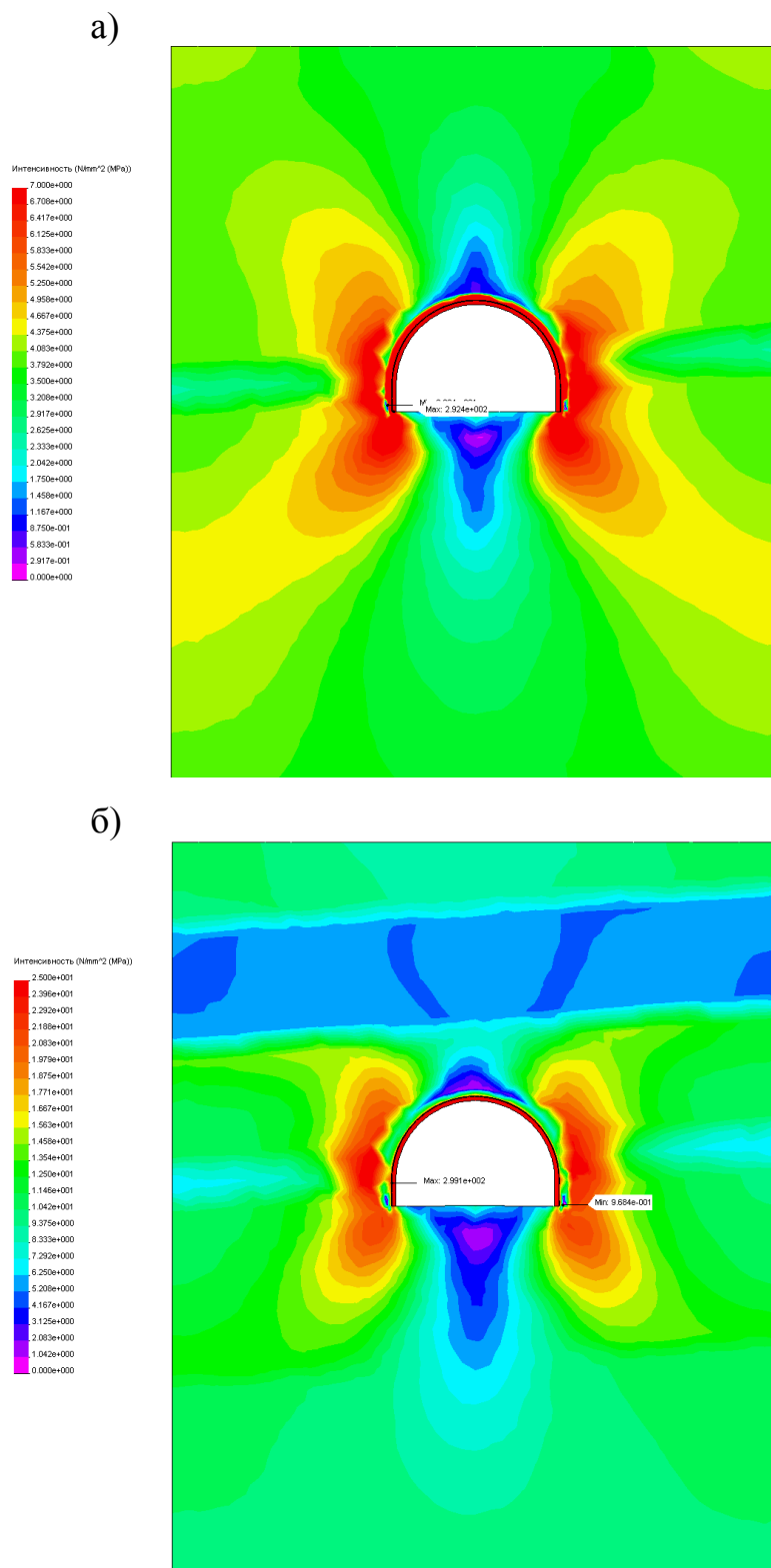
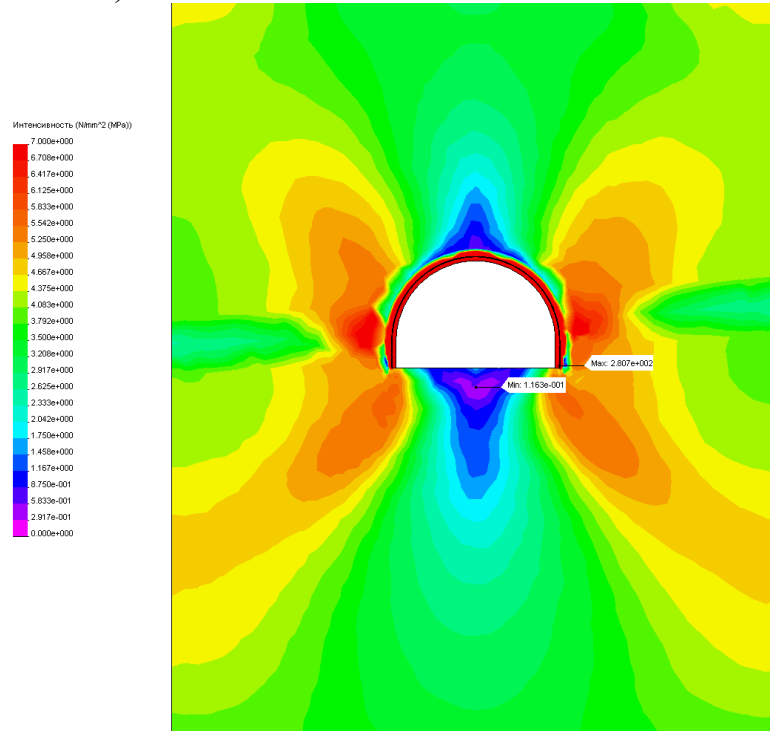


Рисунок 1.13 – Епюри розподілу приведених напружень σ при знижених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом №7 (див. табл. 2.2 [7]) їх міцнісних властивостей:
а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

а)



б)

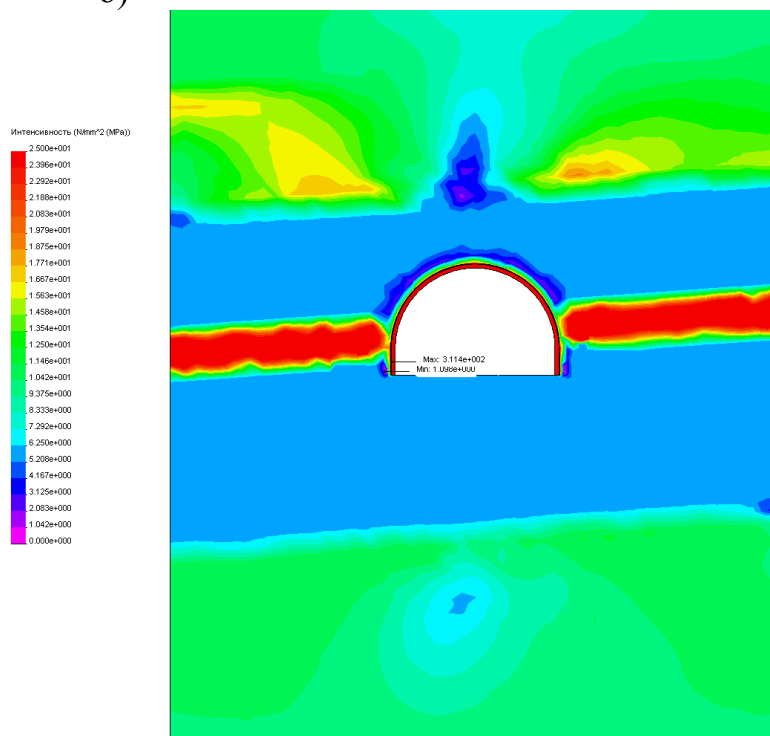


Рисунок 1.14 – Епюри розподілу приведених напружень σ при знижених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом №10 (див. табл. 2.2 [7]) їх міцнісних властивостей:
а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

У рамках досліджуваного діапазону $E_i^{K,I} = (0,3...1) \cdot 10^4$ МПа різні сполучення деформаційних характеристик окремих прилеглих породних шарів дають результати, аналогічні вищенаведеним.

Підсумовуючи результати виконаного аналізу епюр розподілу компонент напружень по мірі збільшення глибини розташування виробки можна сказати, що визначальними параметрами стану масиву є міцнісні характеристики. У цьому випадку показовим є епюри σ варіантів №7 (рис. 1.13 і [7]) і №10 (рис. 1.14 і [7]) розподілу міцнісних характеристик прилеглих породних шарів (див. табл. 2.2 [7]):

- породні шари зниженої міцності з ростом H переходять у граничний (поза межний) стан практично незалежно від міцнісних характеристик сусідніх більш міцних породних шарів;

- епюра σ в породних шарах з більш високими міцнісними характеристиками в малому ступені залежить від переходу сусіднього шару в граничний стан;

- розподіл σ у вугільному пласті, другому шарі підшви й третьому шарі покрівлі досить стабільно стосовно виду стану якого-небудь прилеглого породного шару.

1.2 Умови ефективної роботи систем дегазації вугільних пластів

Однією з перешкод невпинної й інтенсивної виїмки вугілля у вибої шахти є змушена зупинка технологічного процесу видобутку через зростаючу загазованості виробок і збільшення ризику вибуху метану, і як наслідок – необхідність збільшення часу провітрювання виробок. Це підтверджує недостатню ефективність дегазації джерел метановиділення й у першу чергу – роботи дегазаційних систем [16]. Низька ефективність роботи систем дегазації значною мірою зв'язана з погрішностями вузлів і елементів систем дегазації, в тому числі відсутністю засобів неперервного контролю вмісту метану у каптованій газовій суміші.

Незадовільна робота дегазаційних установок шахт обумовлена значною

мірою нераціональними режимами роботи дегазаційної системи, що виникають через зниження герметичності усть дегазаційних свердловин і з'єднань ланок труб підземного вакуумного газопроводу, що приводить до збільшених підсмоктувань повітря з атмосфери гірничих виробок усередину системи, а також скупченнями в знижених місцях дегазаційного трубопроводу конденсату, вугільного і породного пилу, а також продуктів корозії. Це приводить до істотного росту опору трубопровідної мережі, а отже, і необхідності включення в роботу додаткового числа вакуум-насосів [16, 17].

Таким чином, ефективність використання дегазаційних систем в основному залежить від ефективності роботи підземного вакуумного дегазаційного трубопроводу: його пропускної здатності і герметичності, оскільки найбільше зниження концентрації каптованого метану в суміші, внаслідок підсмоктувань повітря в дегазаційну систему і втрат створюваного розрідження, відбуваються саме на етапі транспортування метаноповітряної суміші від свердловин на поверхню.

В даний час застосування ефективних способів дегазації джерел газовиділення дозволяє одержувати метаноповітряну суміш на виході з дегазаційних свердловин з високою концентрацією метану. Але зберегти досягнутий рівень якості каптованої метаноповітряної суміші при її транспортуванні від свердловин до вакуум-насосної станції для наступної утилізації не уявляється можливим.

Герметизація усть дегазаційних свердловин є одним з найбільш важливих елементів, що впливають на ефективність роботи дегазаційної установки, оскільки від її якості залежить ступінь розрідження наприкінці непорушеної частини свердловини. При недостатній герметизації свердловин відбувається підсмоктування повітря в дегазаційну систему з навколишньої атмосфери гірничих виробок через устя свердловин і прилягаючий до них гірський масив, що приводить до зниження показника концентрації метану в газоповітряній суміші, що витягається.

Неоднакова якість герметизації свердловин, а також різні величини пара-

метрів джерела газонасності, тріщинуватості й ін. – є причиною того, що характеристики дегазаційних свердловин різні. В результаті, концентрація метану у газоповітряної суміші, що відсмоктується зі свердловин, буде неоднакова і змінювана в часі зі зменшенням газовиділення метану з джерела, що дегазується. За увесь час функціонування однієї свердловини величина витрати метану, що відсмоктується з неї, може змінитися більш ніж у 10 разів [18].

Ефективність дегазації шахти залежить також і від ефективності роботи вакуум-насосної станції. Вакуум-насосна станція являє собою систему, що створює необхідне розрідження в дегазаційній установці, і повинна експлуатуватися в умовах і режимах, що забезпечують її вибухонебезпечність. Порушенням роботи вакуум-насосної станції є припинення транспортування метаноповітряної суміші по трубопроводу, а також зміна встановленого технологією режиму подачі суміші споживачу. Причинами несправності роботи вакуум-насосної станції є збої в роботі її складових частин або несприятливі зовнішні фактори, основними з яких є [19]:

- закупорка вогняних бар'єрів компонентами газу, що транспортується, (51%);
- відсутність напруги живлення (23,8%);
- вихід з ладу насосів і електроприводів (17%);
- несправності клапанів, що відсікають (8,2%).

Також до порушення роботи вакуум-насосної станції призводить зниження показника концентрації метану нижче 25%, що являє небезпеку вибуху газової суміші.

Таким чином, можна зробити висновок, що самою слабкою ланкою дегазаційної установки є шахтний підземний вакуумний трубопровід, по якому каптований шахтний метан транспортується від свердловин на поверхню чи до споживача.

До основних особливостей експлуатації дегазаційної установки відносяться:

- необхідність створення і підтримки необхідної величини розрідження

газової суміші в дегазаційній системі;

- необхідність підтримки величини концентрації метану в каптованій суміші (при транспортуванні останньої вакуумним газопроводом) не нижче встановлених норм;

- необхідність оперативного контролю за параметрами метаноповітряної суміші у вакуум-насосах і проведення діагностики функціонування всієї дегазаційної системи для запобігання аварій і неефективної роботи установки;

- прокладка рівнобіжних ділянок газопроводу для забезпечення необхідної величини дебіту метану з дегазаційних свердловин;

- для зливу води з газопроводу дегазаційна установка зупиняється, як правило, на 1,0-1,5 години раз на добу;

- визначення й усунення нещільності з'єднань дегазаційного трубопроводу і розгерметизації устя дегазаційних свердловин, що є причиною ненормованих підсмоктувань повітря в дегазаційну систему;

- застосування встановленого устаткування у вибухонебезпечному виконанні.

Експлуатація дегазаційних систем здійснюється за вимогами правил безпеки у вугільних шахтах, згідно яким концентрація каптованого метану у вакуумному підземному дегазаційному трубопроводі повинна бути не менше 25%. Вміст метану менш 25% у газовій суміші допускається лише в окремих випадках, із прийняттям і дотриманням мір, погоджених з МакНДІ. При використанні каптованого газу споживачем концентрація метану на вході у вакуум-насосну станцію повинна бути не менше 25%, а для побутових споживачів – 50%. Усе вище сказане, крім вимог до конструктивних параметрів дегазаційної установки, що враховуються при проектуванні, до технології витягу і транспортування метаноповітряної суміші від свердловин на поверхню чи до споживача, потребує передбачати оперативний контроль вмісту метану в трубопроводах.

1.3 Особливості контролю вибухонебезпечності у дегазаційних системах

Як відомо, дегазаційна система складається з вакуум-насосної станції, газопроводів, свердловин, а також регулюючої запірної і запобіжної апаратури, що включає засоби контролю й управління [20]. Окремі ланки системи розміщуються на порівняно великих площах. Далекість деяких свердловин від вакуум-насосної станції складає до 5 км і більш. Число свердловин досягає іноді 50–60. Устя свердловин за допомогою відрізків трубопроводів приєднуються до дільничних трубопроводів, що, у свою чергу, з'єднані з магістральним трубопроводом, який транспортує метаноповітряну суміш до вакуум-насосів. Діаметр свердловинних трубопроводів складає 100-150 мм (труби менших діаметрів у даний час застосовуються рідко), діаметри дільничних трубопроводів 150-250 мм, а магістральних 200-400 мм. Свердловинні і дільничні трубопроводи мають запірну арматуру і штуцера для добору газових проб метаноповітряної суміші і контролю температури, тиску та витрати газової суміші. Місце виміру параметрів газової суміші вибирають за напрямком її руху за запірною чи регулюючою апаратурою [18, 20].

Відмінними рисами мереж дегазаційної системи є:

- можливість прокладки ділянок мережі в ряді випадків по важкодоступних місцях;
- відсутність найчастіше поблизу свердловин і ліній трубопроводів джерел електричної енергії;
- структура мережі змінюється в часі, що обумовлено швидкістю посування вибоїв.

За умовами експлуатації всі пристрої контролю й автоматизації ділять на підземні, що призначені для експлуатації в гірничих виробках, і поверхневі, що встановлювані в будівлях вакуум-насосні станції (ВНС) і приміщеннях загальношахтного диспетчера.

Для першої групи пристроїв, в тому числі і засобів контролю метану, за

аналогією з приладами і засобами автоматизації, що застосовуються в шахті, умови експлуатації характеризуються наступними величинами [18]:

- тиск шахтної атмосфери 840-1150 гПа;
- температура навколишнього середовища від -5 до +35°C (ця умова не поширюється на пристрої контролю й автоматизації, що використовуються на тих трубопроводах, де є вода; для цього випадку температура навколишнього середовища від +5 до +35°C);
- відносна вологість навколишнього середовища до 98 % (при температурі +35 °C); навколишнє середовище агресивне, вибухонебезпечне 1-ї категорії;
- швидкість повітряного струменя у виробках до 8 м/с; запиленість середовища, що оточує підземні пристрої дегазаційної системи, до 800 мг/дцм³.

Для засобів контролю й автоматизації, розміщених на поверхні, умови роботи наступні:

- барометричний тиск 840-1070 гПа;
- температура в приміщеннях від +10 до +35 °C;
- відносна вологість навколишнього середовища до 80 % при температурі +25 °C;
- вміст метану в атмосфері будинків ВНС до I об. %.

Суттєве значення для вибору необхідних засобів контролю й автоматизації дегазаційних систем мають відомості про режими роботи окремих ланок цієї системи і, у першу чергу, про межі зміни параметрів газової суміші в трубопроводах і в устях свердловин.

Параметри газової суміші у дегазаційних системах, що значною мірою визначають вимоги до датчиків метану в них, характеризуються наступним чином:

- розрідження в устях свердловин від 0 до 270 (рідко до 330) гПа, у дільничних і магістральних трубопроводах – від 0 до 530 гПа; відносна вологість газової суміші – до 100% (можливе присутність краплинної вологи);
- вміст метану в суміші від 0 до 100 об. %;
- вміст вуглекислого газу від 0 до 2 об. %;
- швидкість струменя газової суміші в трубопроводі від 0,5 до 20 м/с; те-

температура газової суміші від -5 до $+35$ °C (за винятком трубопроводів, у яких спостерігається краплинна волога; для таких газопроводів температура газової суміші змінюється від $+5$ до $+35$ °C);

– газова суміш – вибухонебезпечна, агресивна 1-ї категорії.

Газова суміш у нагнітальному трубопроводі ВНС має практично ті ж параметри, що і суміш у підземних трубопроводах, за винятком тиску суміші, що перевищує барометричний на величину від 0 до 250 гПа. При необхідності подачі газової суміші споживачам на значну відстань ця величина трохи збільшується.

Вакуумні насоси, що використовують в існуючих у даний час системах дегазації, мають такі характеристики, при яких забезпечується максимальний коефіцієнт корисної дії при величині розрідження, що складає 40–60 % атмосферного тиску. При розрахунках дегазаційної мережі ця величина приймається 465 гПа.

З погляду динаміки, шахтні дегазаційні системи мають дуже різноманітні характеристики. Так, наприклад, різка зміна вакууму внаслідок порушення герметизації свердловин, ушкодження газопроводів, перекриття перетину трубопроводів водяною пробкою викликає досить швидко (від декількох секунд до декількох хвилин) зміну величини концентрації метану поблизу місця ушкодження чи утворення водяної пробки. Разом з тим, зміна концентрації метану в устях свердловин при перерозподілі величин розрідження відбувається досить повільно. У цих випадках тривалість перехідного процесу (по концентрації метану) може складати від десятків хвилин до декількох годин, що необхідно враховувати при розробленні датчиків метану.

Статичні характеристики об'єктів дегазаційних установок, навіть однойменних, різні. Так, наприклад, з розташованих на одній ділянці свердловин надходить суміш з різною концентрацією метану. Крім того, ці характеристики можуть значно мінятися в часі в міру посування фронту гірничих робіт. Дуже непостійні також характеристики трубопроводів, конфігурація яких міняється в процесі ведення гірничих робіт.

1.4 Обґрунтування вимог до засобів контролю вибухонебезпечності газових сумішей у дегазаційних трубопроводах

Метрологічні, функціональні й експлуатаційні вимоги, що висуваються до засобів контролю вибухонебезпечності газових сумішей у дегазаційних трубопроводах, істотно відрізняються від вимог до засобів контролю, у гірничих виробок шахт, що визначено особливостями утворення, транспортування й утилізації газових сумішей.

Вимоги до діапазону виміру об'ємного вмісту метану значною мірою визначені встановленим нормативними актами [21] діапазоном неприпустимої об'ємної частки метану в каптованій суміші, що становить 3,5-25%. При цьому слід зазначити, що термін «неприпустима концентрація» у цьому випадку якоюсь мірою умовний, оскільки зазначений діапазон концентрацій тим же нормативним актом допускається за умови застосування заходів, що запобігають поширення горіння метану в трубопроводі, погоджених з МакНДІ [21]. Зазначена концентрація метану в цей час є типовою для більшої частини експлуатованих в Україні дегазаційних трубопроводів, через що каптований дегазаційними системами газ часто не використовується у вигляді палива, а викидається через свічі в атмосферу.

Засоби контролю метану в системах дегазації в першу чергу призначені для захисту теплоенергетичних об'єктів, на яких здійснюється утилізація метанових сумішей у вигляді палива, а також для контролю ефективності роботи дегазаційних систем і керування процесом дегазації. З урахуванням цього, всі аналізатори метану, що випускають за рубежом й в Україні для цих цілей [22], мають діапазон виміру 0-99,9%. З метою уніфікації засобів контролю наведений діапазон виміру варто вибирати й при розробці нових виробів.

Важливим метрологічним параметром є об'ємна частка метану, при зниженні до якої спрацьовує виконавчий пристрій захисту (уставки спрацьовування). Як правило, газоаналізатори мають трохи (два або більше) уставок спрацьовування, одна з яких вибирається рівню величині верхнього значення діапа-

зону неприпустимої концентрації й згідно [23] становить 25% об. Друга – відповідає трохи більшій величині концентрації, що дає можливість (шляхом завчасного включення попереджуючої сигналізації) вчасно оцінити ситуацію й запобігти небезпекам, що зв'язані зі зниженням вмісту метану в газових сумішах. Наявність уставки, що відповідає величині нижнього значення діапазону неприпустимої концентрації метану [23] не передбачається, оскільки саме нормування цієї величини й експлуатація дегазаційних систем при об'ємній частці метану менш 3,5% не має смислу.

При обґрунтуванні вимог до погрішності виміру засобів контролю метану в системах дегазації звичайно керуються не економічною доцільністю, а можливостями методу виміру, покладеного в основу газоаналізаторів, що випускаються. Як правило, газоаналізатори для контролю дегазаційних систем базуються на термокондуктометричному методі. Широкий діапазон вимірюваних концентрацій, вплив діоксиду вуглецю й вологості на теплопровідність середовища, відносно низька чутливість і нелінійна залежність вихідного сигналу мостових вимірювальних схем термокондуктометричних датчиків від концентрації метану спричиняє порівняно більшу основну й додаткові погрішності виміру. Так, газоаналізатори, що випускають серійно, у яких здійснена лінеаризація, мають межу наведеної допустимої погрішності 4% [22]. Крім того, у зазначених аналізаторах додатково нормуються межі наведеної допустимої погрішності пристрою керування захистом за показниками перетворювача, які становлять 2%.

При діапазоні вимірів об'ємної частки метану 0-99,9% забезпечити основну наведену погрішність менше 4% досить складно. Крім того, у діапазоні високих концентрацій (40-99,9%), з позиції безпеки, немає необхідності у високій точності виміру. При використанні таких сумішей у вигляді палива, керування процесом спалювання в котлоагрегатах звичайно здійснюється шляхом контролю складових продуктів спалювання й регулювання подачі повітря [24]. Тому й з позицій керування процесами утилізації таких сумішей високі вимоги до точності виміру не пред'являються.

У той же час в області верхнього діапазону неприпустимих концентрацій

метану така погрішність є досить істотною. При зазначеній основній наведеній погрішності виміру й погрішності пристрою спрацьовування за показниками перетворювача каптована газова суміш не надходить на спалювання, а викидається через свічі в атмосферу при фактичній об'ємній частці метану в суміші від 19 до 31%.

Викид суміші через свічі при фактичній об'ємній частці метану 31% веде до істотних економічних втрат через невикористання кондиційної суміші. Що стосується нижнього значення діапазону зазначених концентрацій, то вона перебуває досить близько до верхньої концентраційної межі вибуховості метано-повітряної суміші. За наявності істотних додаткових погрішностей виміру, наприклад при зміні умов експлуатації, зазначений діапазон концентрацій ще більше розширюється, що веде з однієї сторони до збільшення втрат, а з іншого боку – може призвести до виникнення вибухонебезпечної ситуації.

Величина додаткових погрішностей, викликаних дією впливових факторів, як правило, в експлуатаційній документації не приводиться, хоча, як показав виконаний нами попередній аналіз термокондуктометричного методу виміру, на показання аналізаторів помітно впливає вологість суміші, вміст діоксиду вуглецю, температура, а в деяких випадках тиск і рухливість середовища. Для оцінки величини цієї погрішності потрібне проведення комплексу теоретичних й експериментальних досліджень по вивченню впливу зазначених факторів на термокондуктометричні газоаналізатори.

З огляду на викладене, при розробці нових приладів контролю доцільно посилити вимоги до погрішності виміру в діапазоні близькому до верхньої величини неприпустимих концентрацій. У той же час вимоги до погрішності виміру при високій об'ємній частці метану (40-99,9%) доцільно зм'якшити. Це з однієї сторони дозволить знизити збитки, викликані втратою кондиційних сумішей, а з іншого боку – знизити витрати на розробку аналізаторів. Що стосується погрішності пристрою спрацьовування за показниками перетворювача, то при застосуванні сучасних мікропроцесорних засобів для перетворення й відображення інформації, така погрішність повинна бути зовсім виключена.

За аналогією із засобами контролю вибухонебезпечності газових сумішей у гірничих виробках шахт погрішність виміру доцільно нормувати роздільно в діапазоні виміру об'ємних часток від 0 до 25% й у діапазоні від 25 до 99,9%. При цьому необхідно забезпечити однозначність величини погрішності при об'ємній частці метану 25% незалежно від вибраного діапазону виміру. З огляду на викладене межу абсолютної допустимої погрішності аналізаторів у діапазоні вимірюваних об'ємних часток від 0 до 25% доцільно прийняти рівним 3%, а в діапазоні 25-99,9% величину цієї погрішності задавати у вигляді функції

$$\delta = 3 + 0,04(C - 25),$$

де C – дійсне значення вимірюваної величини, %.

Особливі вимоги до динамічних характеристик газоаналізаторів для дегазаційних систем не пред'являються. Це обумовлено особливостями формування, транспортування газових сумішей у дегазаційних трубопроводах й їх наступному використанні. Такий параметр, як допустиме значення часу спрацьовування виконавчого пристрою захисту, в експлуатаційній документації даних аналізаторів звичайно не приводиться. З метою уніфікації вимог до засобів контролю безпеки за допустимим значенням часу спрацьовування по об'ємній частці метану можна прийняти не більше 15 секунд [23].

З метою виключення частих відключень і повторних включень устаткування коефіцієнт повернення газоаналізаторів вибирають не менше 0,8. Узагальнена інформація з основних метрологічних вимог до аналізаторів метану для контролю дегазаційних мереж, наведена в табл. 3.1.

При розробці функціональних вимог до засобів контролю вибухонебезпечності сумішей у дегазаційних трубопроводах необхідно враховувати вимоги нормативно-правових актів [21, 25]. Виходячи із цього, аналізатори метану повинні забезпечувати:

- безперервний автоматичний вимір об'ємної частки метану із цифровою індикацією показань;
- формування вихідного уніфікованого сигналу, пропорційного величині

об'ємної частки метану, для передачі в лінію зв'язку;

– формування команд керування по першому й другому рівнях спрацьовування;

– забезпечення світлової й звукової сигналізації про спрацьовування виконавчого пристрою по першому й другому рівнях.

Таблиця 1.1 – Основні метрологічні параметри засобів контролю вибухонебезпечності газових сумішей у дегазаційних трубопроводах

№ п/п	Найменування показника	Значення показника
1	Діапазону вимірів об'ємної частки метану, %	0-99,9
2	Об'ємна частка метану, при якій спрацьовує виконавчий пристрій по першому рівні, %	30
3	Об'ємна частка метану, при якій спрацьовує виконавчий пристрій по другому рівні, %	25
4	Діапазон регулювання уставок спрацьовування по першому й другому рівнях в об'ємних частках метану, %	20-80
5	Межа абсолютної погрішності, що допускає основної, у діапазоні вимірюваних об'ємних часток метану 0-25 %	3
6	Межа абсолютної погрішності, що допускає, у діапазоні вимірюваних об'ємних часток метану 25-99, 9 %	$\delta = 3 + 0,04(C - 25)$
7	Межі абсолютної погрішності, що допускає, спрацьовування виконавчого пристрою за показниками перетворювача, %	0
8	Час спрацьовування аналізаторів по об'ємному змісті метану, секунд, не більше:	15
9	Коефіцієнт повернення, не менш	0,8

Умови експлуатації стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності дегазаційних систем, розглянуті нами раніше. Виключення становлять тільки термокондуктометричні первинні перетворювачі аналізаторів, які в цьому випадку встановлюються безпосередньо в трубопроводах. З урахуванням параметрів і властивостей газових сумішей, що транспортують, первинні перетворювачі аналізаторів, установлюваних у гірничих виробках шахт експлуатуються при наступних умовах:

- температура повітря від 5 до 35 °С;

- зміст метану в суміші від 5 до 60 % об.,
- відносна вологість повітря до 100% при температурі 35 °С;
- у місці установки первинних перетворювачів аналізаторів можуть бути також тверді й рідкі частки негорючих речовин (пил, краплинна волога, іржа та ін.)
- атмосферний тиск від 16 до 86 кПа;
- швидкість руху повітря до 30 м/с;
- зміна напруги живильної мережі від 0,85 до 1,1 його номінального значення;
- зміна просторового положення первинного перетворювача в будь-якому напрямку від горизонтальної осі не більше 30°;
- запиленість газової суміші не більше 1 г/м³.
- об'ємна частка вуглекислого газу не більше 2% об.

При дегазації вугільних родовищ свердловинами, пробуреними з поверхні, умови застосування аналізаторів метану відрізняються, насамперед, за таким параметром як температура середовища, а їхніх первинних перетворювачів і за таким параметром як об'ємна частка метану в каптованій суміші. Вони, відповідно, можуть перебувати в межах від мінус 20 до 45 °С і від 5 до 99%.

У випадку застосування датчиків метану для контролю газової суміші за вакуум-насосом тиск у місці установки первинних перетворювачів аналізаторів метану може змінюватися від атмосферного (при викиді метаноповітряної суміші в атмосферу через свічу) до 150 кПа (при наступному використанні суміші).

При експлуатації аналізаторів метану в підземних виробках вугільних шахт, згідно [21] вони повинні мати виконання РВ і РО. У випадку установки аналізаторів метану на поверхні даний вид виконання потрібний тільки для первинних перетворювачів аналізаторів метану, встановлюваних у дегазаційних трубопроводах.

Висновки

1. Ефективність використання дегазаційних систем в основному залежить від ефективності роботи підземного вакуумного дегазаційного трубопроводу. В даний час застосування ефективних способів дегазації джерел газовиділення дозволяє одержувати метаноповітряну суміш на виході з дегазаційних свердловин з високою концентрацією метану. Але зберегти досягнутий рівень якості каптованої метаноповітряної суміші при її транспортуванні від свердловин до вакуум-насосної станції для наступної утилізації не уявляється можливим, що може призвести до важко передбачуваного вибухонебезпечного рівня концентрації метану у трубопроводах.

2. Дегазаційні системи, що складаються з вакуум-насосної станції, газопроводів, свердловин, а також регулюючої запірної і запобіжної апаратури, в тому числі засобів контролю вмісту метану й управління, розміщуються на порівняно великих площах. Далекість деяких свердловин від вакуум-насосної станції складає до 5 км і більш, а кількість свердловин досягає іноді 50–60, що за рахунок нещільностей стає причиною підсмоктування в систему атмосферного повітря і зниження концентрації каптованого метану у трубопроводах. Діаметр свердловинних трубопроводів складає 100-150 мм (труби менших діаметрів у даний час застосовуються рідко), діаметри дільничних трубопроводів 150-250 мм, а магістральних 200-400 мм, що треба враховувати при конструюванні стаціонарних датчиків контролю газової суміші у дегазаційних системах.

3. Визначені загальні вимоги до дегазаційної системи та її вибухонебезпечності та виконане обґрунтування вимог до засобів контролю вибухонебезпечності газових сумішей у дегазаційних трубопроводах, з урахуванням особливостей їх функціонування.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОЛЯ ПОВНИХ ЗМІЩЕНЬ НАВКОЛО ПЛАСТОВОЇ ВИРОБКИ З РОСТОМ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕРМОКОНДУКТОМЕТРИЧНОГО СПОСОБУ ВИМІРУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕІЗОЛЬОВАНИХ ПОРІВНЯЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

2.1 Дослідження і аналіз переміщень приконтурних порід навколо пластової виробки

Поле переміщень вміщуючих виробку порід значно залежить від виду, стану навколишньої вуглевміщуючої товщі, що (як було встановлено) визначається співвідношенням міцнісних характеристик складових породних шарів і глибини розташування виробки.

Аналіз закономірностей зв'язку поля переміщень із глибиною розташування виробки виконаний за варіантом знижених міцнісних і деформаційних характеристик усіх прилеглих породних шарів (рис. 2.1 і [7]). При $H = 200$ м деяка частина вуглевміщуючої товщі перебуває в domeжовому стані, тому переміщення досить помірні (230-480 мм), а їх особливості розподілу докладно описані в [7, 8]. При $H = 400$ м більша частина прилеглих породних шарів переходить у граничний стан, що викликає ріст переміщень у масиві, у тому числі й на контурі виробки. Ця зміна стану частини масиву породжує явно виражений нелінійний зв'язок переміщень із глибиною розташування виробки. Наприклад, при збільшенні H у два рази (з 200 з до 400 м), зсуви в покрівлі штреку зростають в 2,7-2,9 рази, у боках і підшві – в 2,5-2,8 рази; у якісному плані трохи перетворюється епюра розподілу переміщень по контуру виробки з меншим градієнтом зміни зсувів у покрівлі й підшві. При $H = 600$ м поле переміщень ще більш змінюється як у якісному, так і кількісному плані, що пов'язано з переходом не тільки в граничний, але й позамежовий стан більшості приконтурної частини вуглевміщуючого масиву:

– епюра переміщень приймає більш асиметричний вигляд щодо вертикальної осі виробки – зсуви підшви й боків штреку трохи переважають із боку підняття пласта;

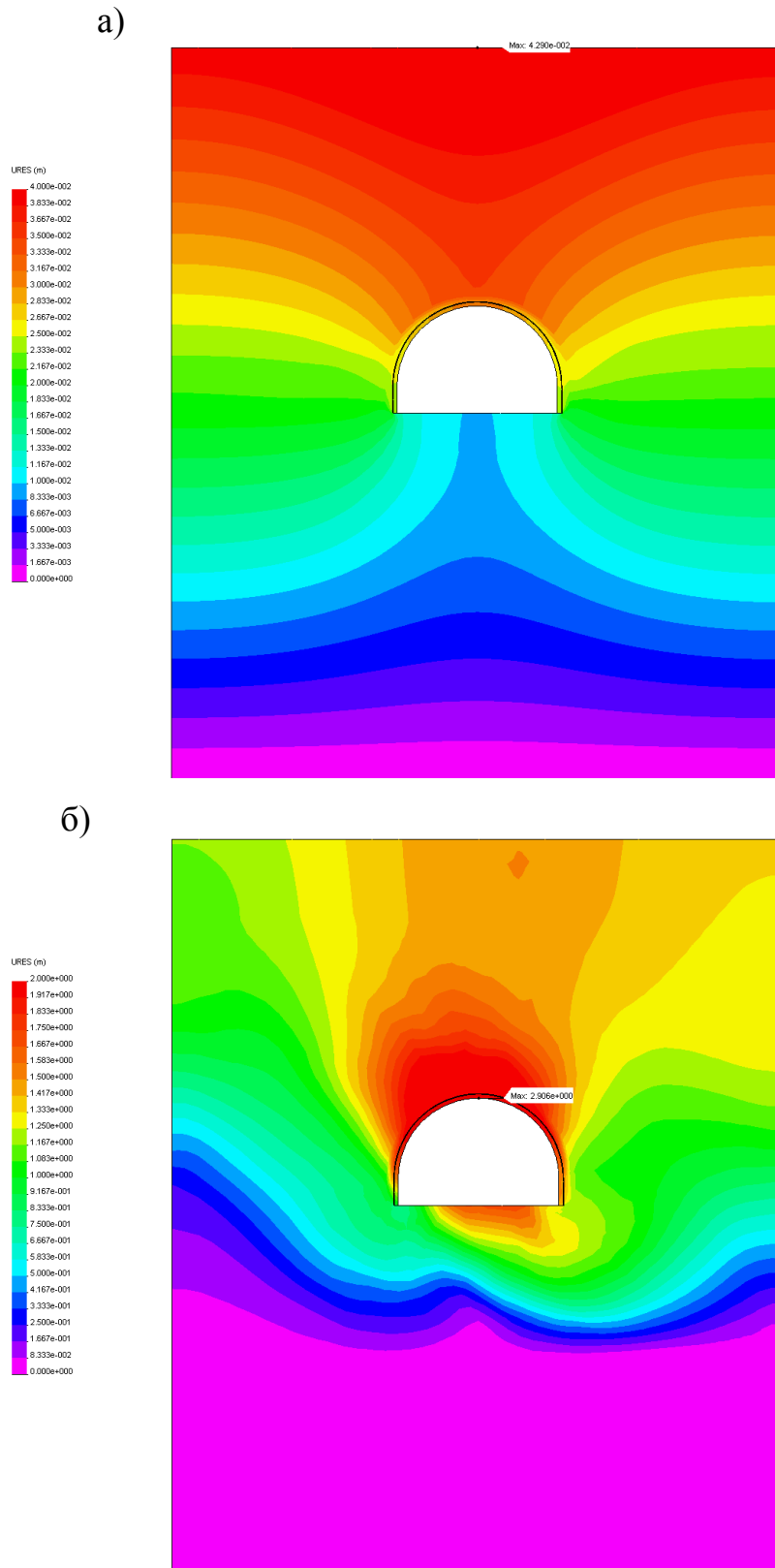


Рисунок 2.1 – Епюри переміщень у системі при знижених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

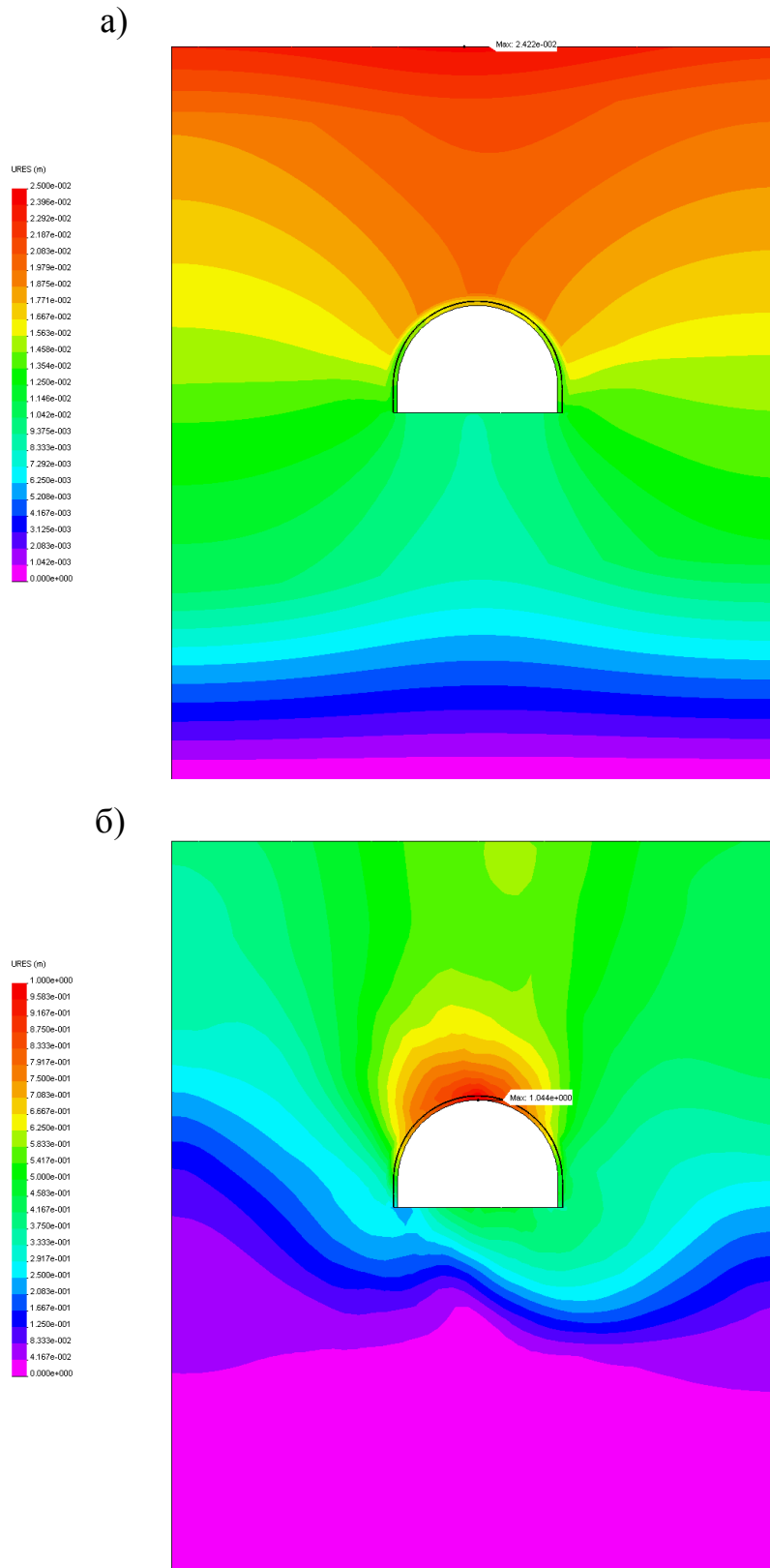


Рисунок 2.2 – Епюри переміщень у системі при знижених міцнісних і підвищених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів:
 а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

– зсуви покрівлі й підосви настільки великі (до 2,8 м у покрівлі й 1,8 м у підосві), що порода практично заповнює всю порожнину виробки, що пояснюється процесом розпушення значного об'єму масиву навколо неї;

– зсуву порід під опорами стояків рами досягають 0,7...1,2 м з кожної сторони, що також призводить до повної втрати стійкості кріплення і виробки в цілому.

Перелічені фактори свідчать про неможливість експлуатації виробки в розглянутій гірничо-геологічній ситуації без застосування відповідних технічних заходів щодо підвищення стійкості кріплення.

Збільшення модуля деформації усіх прилеглих породних шарів з $0,3 \cdot 10^4$ МПа до $1 \cdot 10^4$ МПа при пониженій їх міцності призводить до наступних результатів (рис. 2.2 і [8]). Загальна тенденція впливу збільшення $E_i^{K,i}$ така, що зсуви масиву в будь-якій точці знижуються при будь-якій глибині розташування виробки: при $H = 200$ м – в 1,5-1,7 рази в покрівлі й боках виробки (у підосві зсуви практично не змінюються); при $H = 400$ м – в 1,7-2,3 рази; при $H = 600$ м – в 2,1-2,2 рази в покрівлі, в 1,7-1,9 рази в боках і в 2,0-2,5 рази в підосві. Звідси випливає висновок, що в позамежному стані прилеглих породних шарів підсилюється вплив їх деформаційних характеристик, особливо в підосві виробки. Тут величина здимання становить усього 370-650 мм і дозволяє після відповідних ремонтно-відновлювальних робіт експлуатувати виробку.

Встановлений істотний вплив деформаційних характеристик всієї групи прилеглих шарів було проаналізовано пошарово й виявлений факт впливу, що E_1^K превуалює, E_1^P і на поле переміщень, у той час, як E_2^K вплив оцінюється в основному до 15-25% незалежно від стану вміщуючого масиву (рис. 2.3 і [8]).

Підвищені міцнісні характеристики всіх прилеглих породних шарів докорінно змінюють не тільки напружений, але й деформований стан вуглевміщуючої товщі.

При знижених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів установлені наступні особливості зміни поля переміщень із ростом H (рис. 2.4 і [7]):

– при різній глибині розташування виробки якісна епюра переміщень у масиві практично постійна;

– зсуви породного контуру виробки навіть при $H = 600$ м відносно невеликі (у покрівлі – до 490 мм, у підшві – до 430 мм, у боках – до 170 мм), що обумовлено переважно domeжовим станом вуглевміщуючої товщі;

– по цій же причині спостерігається близький до лінійного зв'язок величини переміщення в якій-небудь точці масиву із глибиною розташування виробки.

Підвищені деформаційні характеристики всіх прилеглих породних шарів (див. рис. 2.5 і [8]) не змінюють попередніх висновків з урахуванням того, що величина зсуву породного контуру виробки знижується в покрівлі й боках в 1,7-2,0 рази.

Зміна деформаційних характеристик другого шару покрівлі мало змінює поле переміщень із усіма його особливостями, виявленими раніше (рис. 2.6 і [8]).

У висновку даного етапу досліджень оцінений вплив міцнісних і деформаційних характеристик другого породного шару покрівлі на тенденції зміни поля переміщень із ростом глибини розташування виробки. Встановлено, що вплив деформаційних характеристик другого шару покрівлі при різних сполученнях міцнісних властивостей прилеглих породних шарів зі збільшенням параметра H аналогічний раніше описаним варіантам. Що стосується міцнісних характеристик другого шару покрівлі, то тут виявлений неоднозначний їх вплив залежно від виду стану перших породних шарів покрівлі й підшви. При підвищених міцнісних характеристиках перших шарів покрівлі й підшви (рис. 2.7 і [7]; рис. 2.8 і рис. 1.8, б) перехід другого породного шару покрівлі в граничний стан через знижену міцність сприяє росту переміщень породного контуру виробки лише до 20-28%. Це обумовлено частково domeжовим станом породних шарів, безпосередньо пов'язаним з виробкою, навіть на глибині 600 м. Коли ж перші шари покрівлі й підшви з ростом глибини розташування виробки переходять в граничний (позаomeжовий) стан (рис. 2.9 і [7]; рис. 2.10 і [8]), то підвищена міцність другого шару покрівлі дозволяє обмежити зсуви породного контуру виробки на 29-56%.

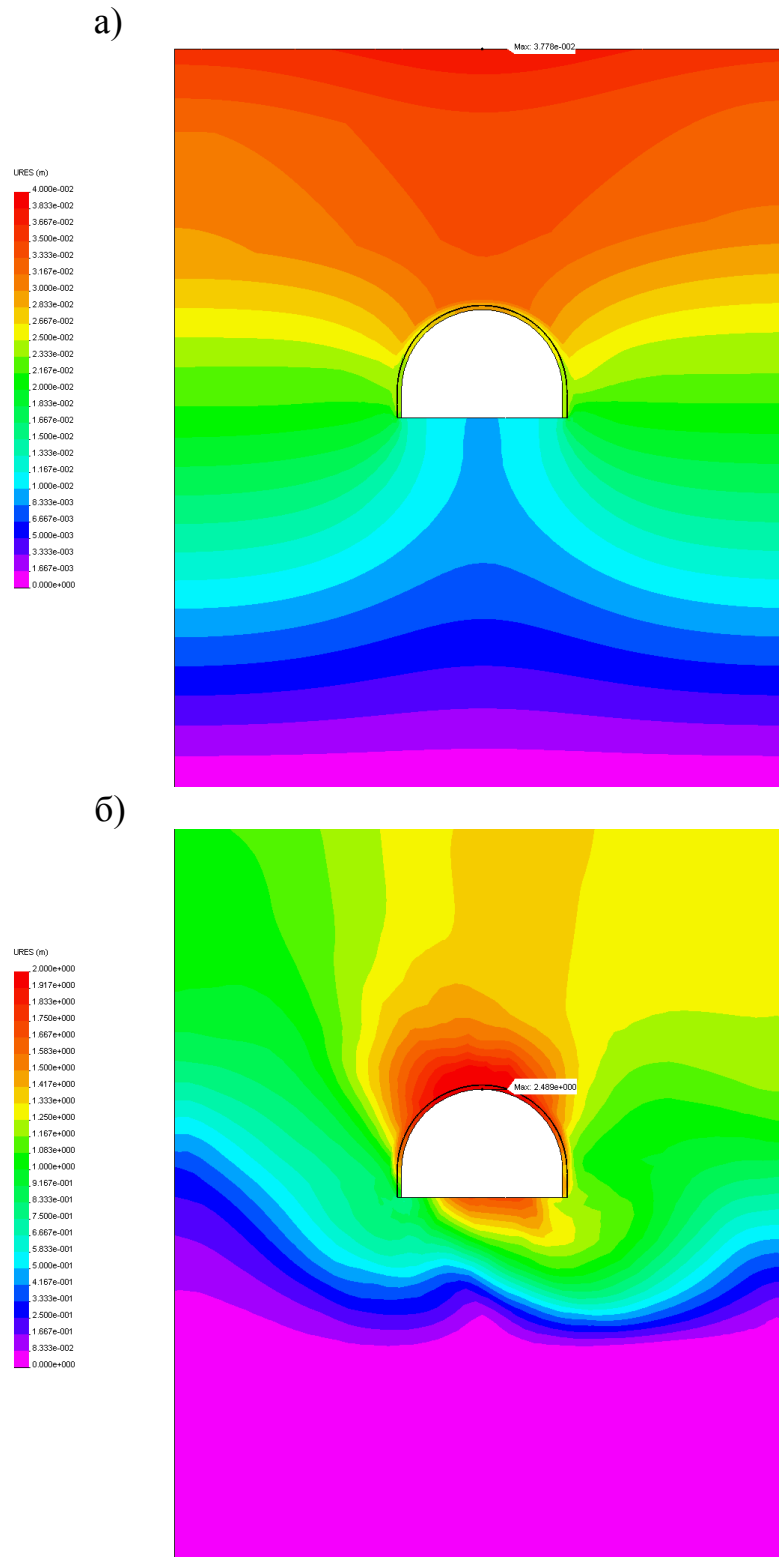


Рисунок 2.3 – Епюри переміщень у системі при знижених міцнісних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом №10 (див. табл. 2.1 [7]) їх деформаційних властивостей: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

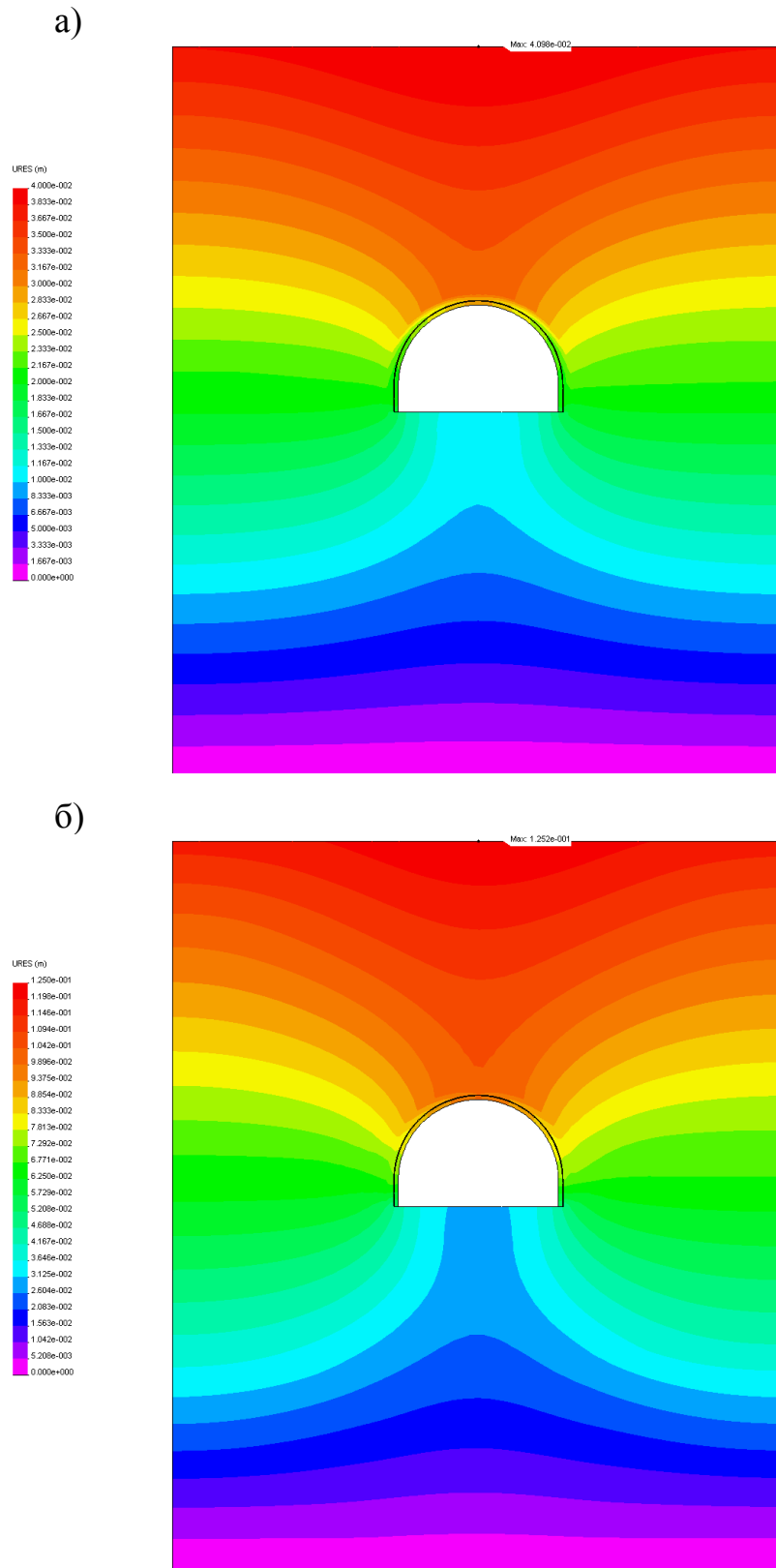


Рисунок 2.4 – Епюри переміщень у системі при підвищених
міцнісних і знижених деформаційних
характеристиках усіх прилеглих породних шарів:
а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

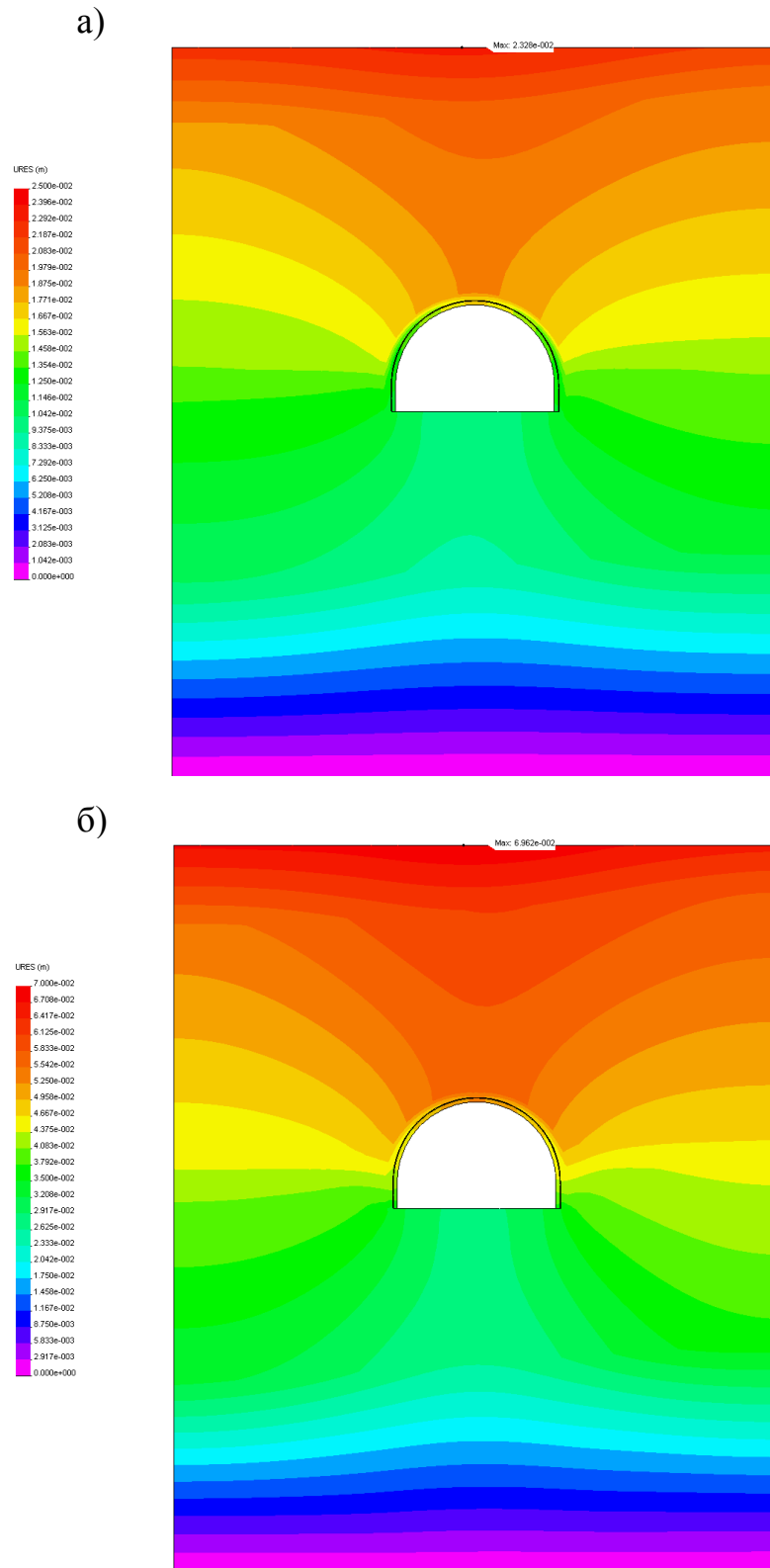


Рисунок 2.5 – Епюри переміщень у системі при підвищених міцнісних і деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів:

а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

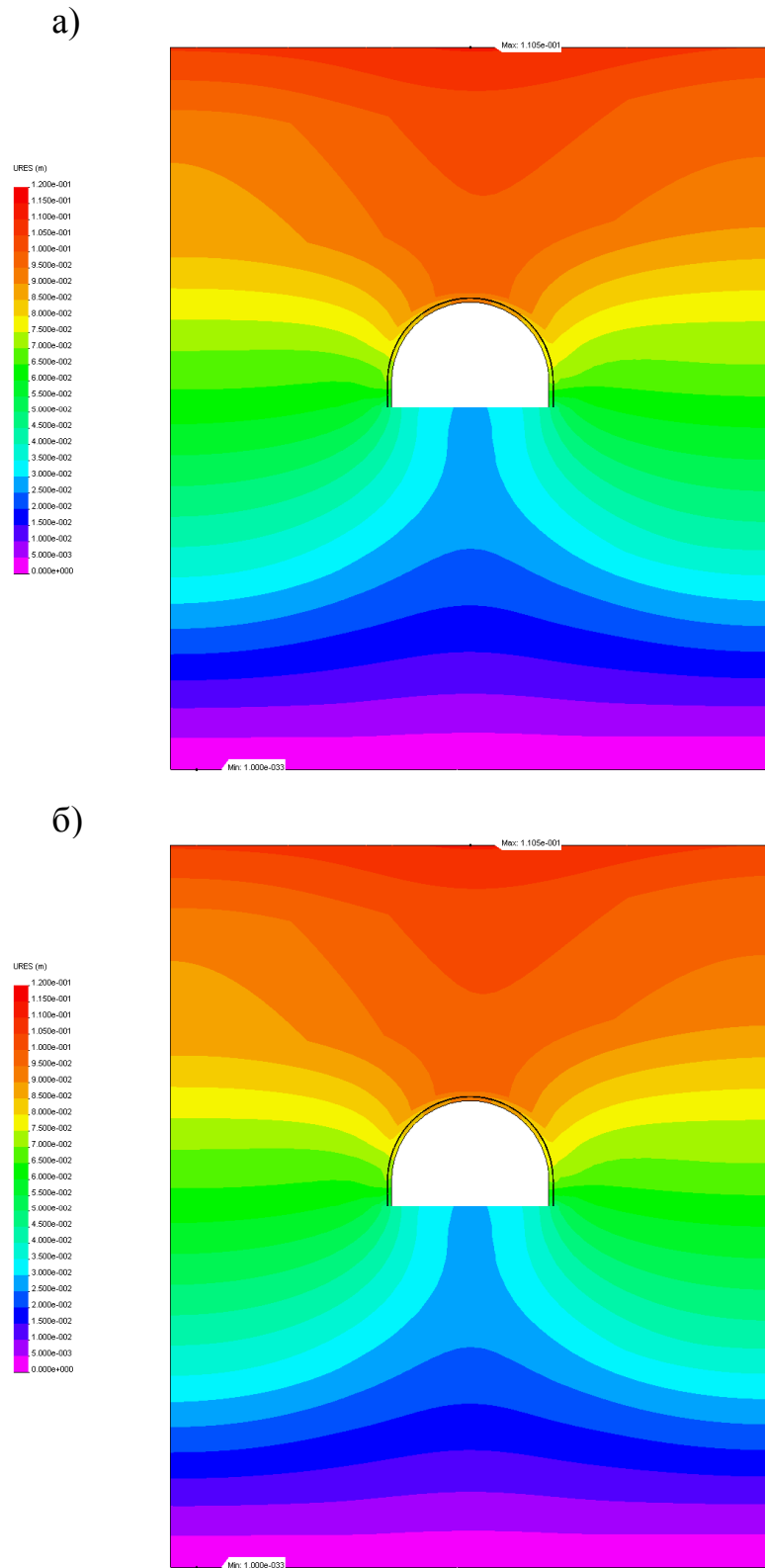


Рисунок 2.6 – Епюри переміщень у системі при підвищених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом №10 (див. табл. 2.1 [7]) їх деформаційних властивостей:
 а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

Результати проведених досліджень тенденцій росту переміщень породного масиву в порожнину виробки зі збільшенням глибини її розміщення дозволили сформулювати ряд висновків.

По-перше, різні варіанти розподілу міцнісних і деформаційних характеристик прилеглих породних шарів обумовлюють різний ступінь їхнього впливу на зсуви породного контуру виробки з ростом глибини розробки. Визначальним фактором є вид стану прилеглих породних шарів при конкретній величині параметра H : domeжовий, граничний, позаomeжовий.

По-друге, при підвищених міцнісних характеристиках прилеглих породних шарів їх частково domeжовий стан визначає близький до лінійного – зв'язок переміщень із параметром H , при якому коливання їхніх деформаційних властивостей у діапазоні $E_i^{K,I} = (0,3...1) \cdot 10^4$ МПа змінюють величину переміщень до 70-100%.

По-третє, при знижених міцнісних характеристиках породних шарів залежність переміщень контуру виробки від H стає нелінійною з настанням граничного стану хоча-би одного із шарів, а в позаomeжовому стані інтенсивність росту зсувів багаторазово збільшується, що виводить виробку з експлуатаційного стану. Відзначений сплеск розвитку зсувів породного контуру обумовлений деякими граничними співвідношеннями міцнісних і деформаційних характеристик прилеглих породних шарів, а також глибини розташування виробки, що вимагає проведення спеціальних досліджень щодо їх виявленню і розробці на цій основі рекомендацій із прогнозу процесів зрушення слабкого шаруватого масиву навколо пластової виробки.

Крім того необхідно більш поглиблене дослідження впливу параметрів позаomeжового стану $\frac{M}{E}$ й $\frac{\sigma_{\tilde{n}\tilde{o}}^0}{\sigma_{\tilde{n}\tilde{o}}}$ по ряду об'єктивно існуючих факторів:

– аналітичні дослідження [3] підтверджують досить тісний зв'язок між процесом розвитку зсувів породного контуру й параметрами $\frac{M}{E}$ й $\frac{\sigma_{\tilde{n}\tilde{o}}^0}{\sigma_{\tilde{n}\tilde{o}}}$ позаomeжним деформуванням породних шарів;

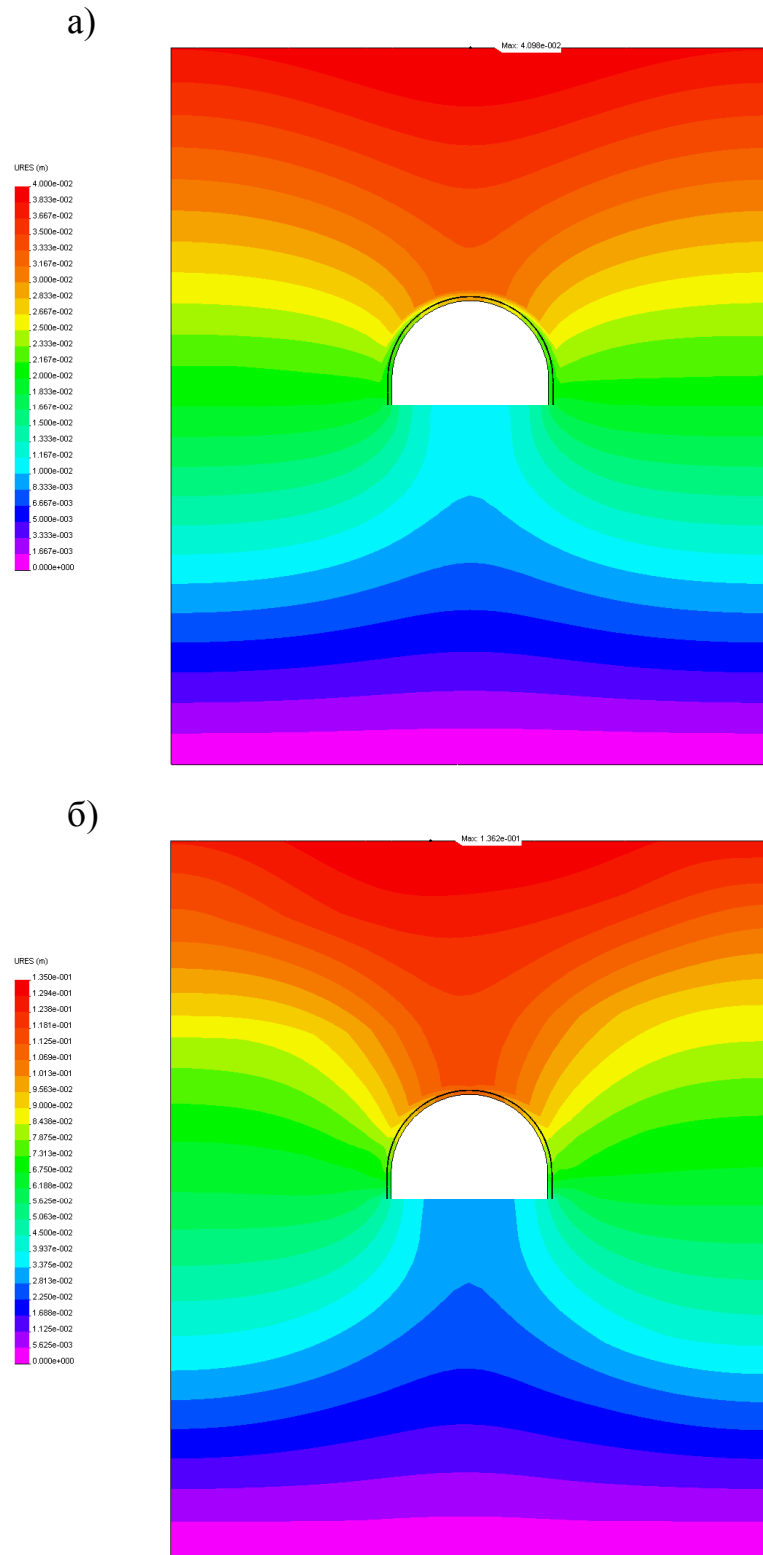


Рисунок 2.7 – Епюри переміщень у системі при знижених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом №7 (див. табл. 2.2 [7]) їх міцнісних властивостей:
а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

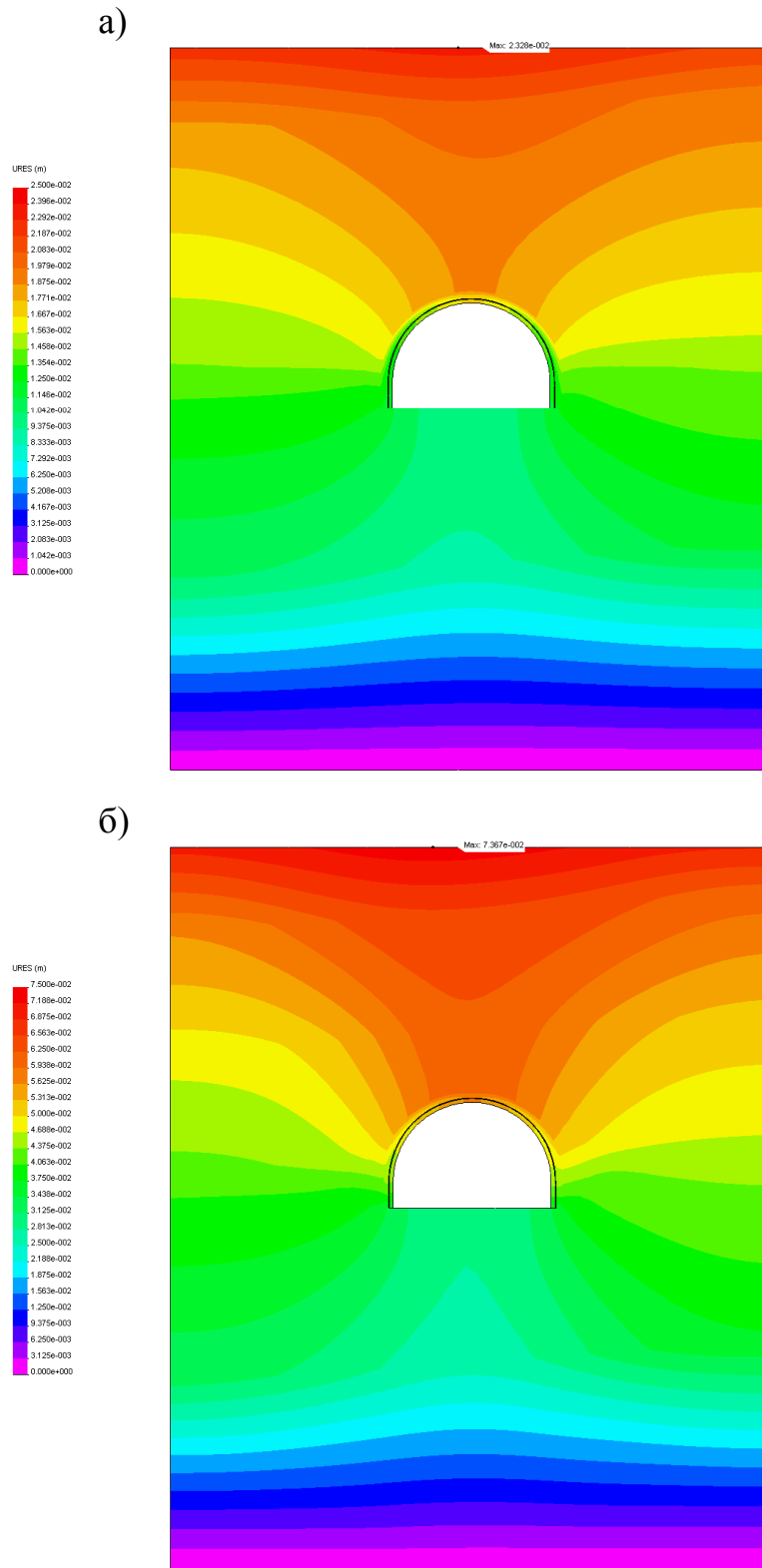


Рисунок 2.8 – Епюри переміщень у системі при підвищених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом №7 (див. табл. 2.2 [7]) їх міцнісних властивостей: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

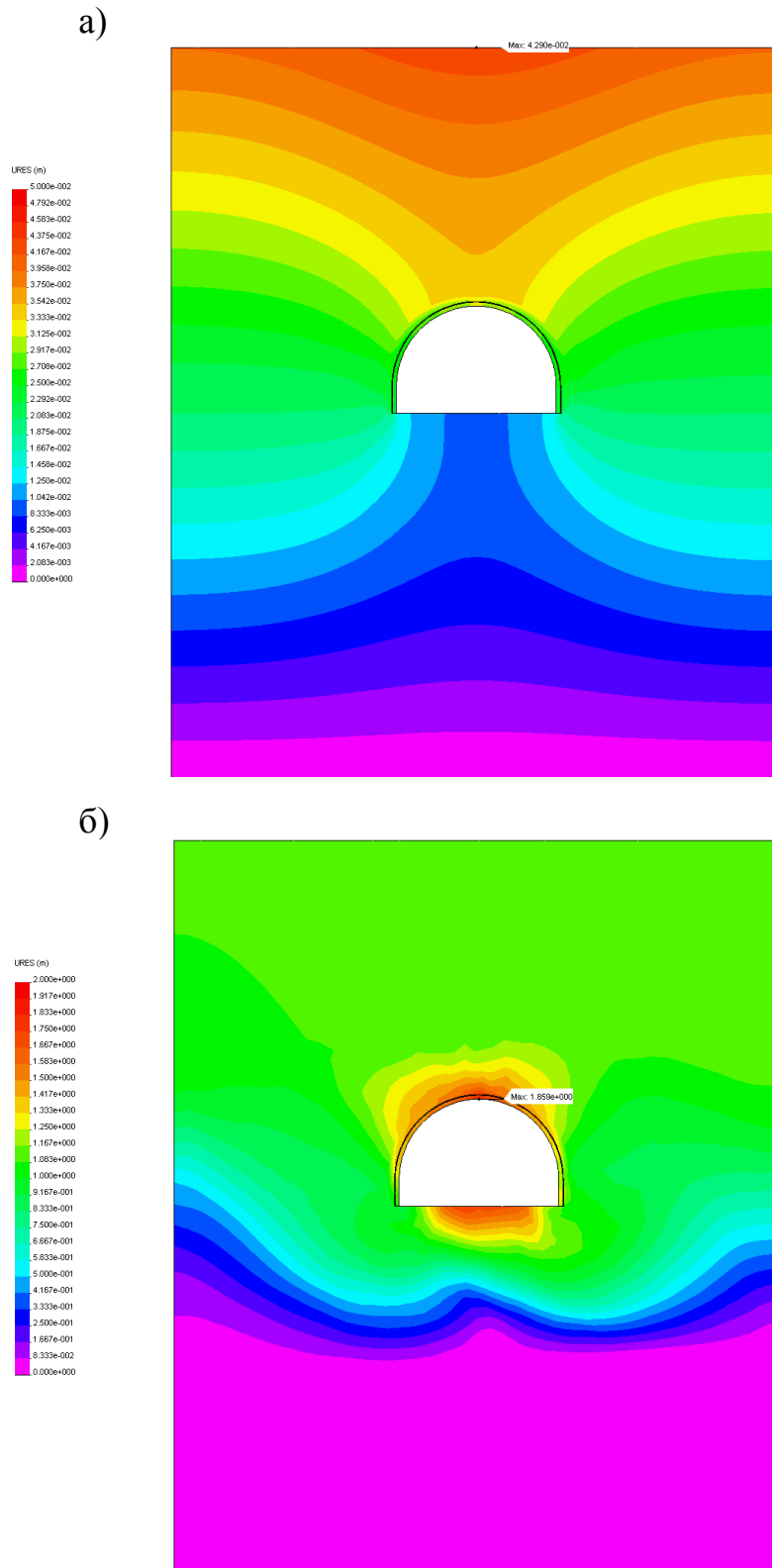


Рисунок 2.9 – Еплюри переміщень у системі при знижених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом №10 (див. табл. 2.2 [7]) їх міцнісних властивостей: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

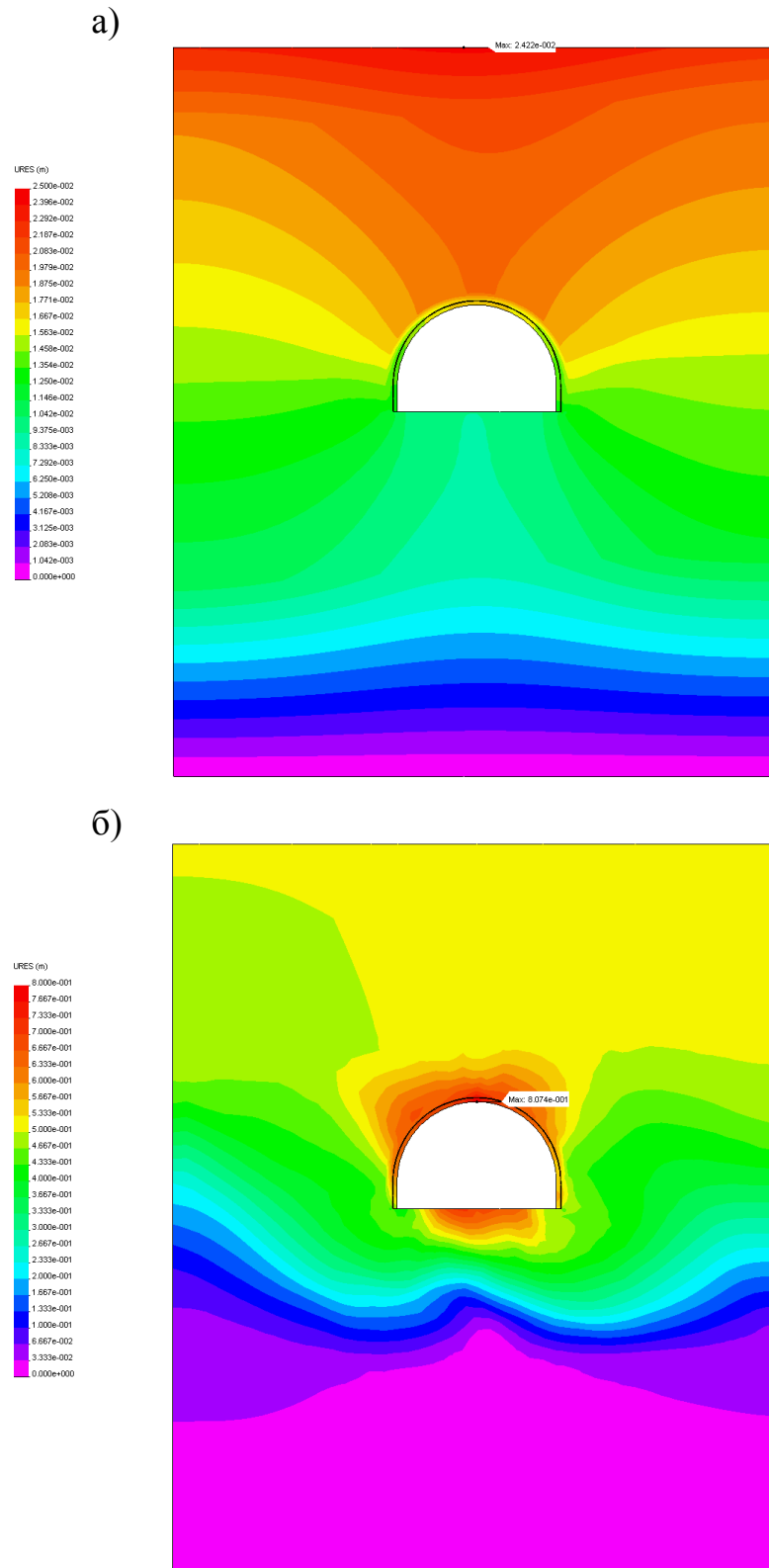


Рисунок 2.10 – Епюри переміщень у системі при підвищених деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів за варіантом № 10 (див. табл. 2.2 [7]) їх міцнісних властивостей: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

– експериментальні (лабораторні й шахтні) дослідження далеко не завжди відзначають «деяку» критичну область співвідношення геомеханічних параметрів, при яких різко зростають зсуви породного контуру виробки; поряд з наявністю зазначеного явища існують і випадки більш плавного процесу розвитку зсувів з ростом глибини розробки;

– власні вибіркові розрахунки НДС моделі вказують, що «сплеск» розвитку зсувів може бути практично відсутнім при певних сполученнях $\frac{M}{E}$ і $\frac{\sigma_{\dot{n}\dot{o}}^0}{\sigma_{\dot{n}\dot{o}}}$;

при цьому зв'язок $U(x, y)$ із H залишається нелінійним, але самі зсуви більш активно розвиваються в «докритичній» області й менш активно в «закритичній» області співвідношення геомеханічних параметрів.

Дані аспекти є предметом подальших досліджень НДС системи «шаруватий масив-кріплення виробки».

2.2 Оцінка погрішностей аналізаторів метану від невимірюваних компонентів суміші в дегазаційних трубопроводах

Обґрунтування термокондуктометричного способу виміру концентрації метану з використанням неізолюваного порівняльного елемента варто почати з попередньої оцінки погрішностей аналізаторів метану від невимірюваних компонентів суміші в дегазаційних трубопроводах. Так, серед компонентів суміші в трубопроводах, які впливають на показання аналізаторів метану, у першу чергу варто віднести пари води й вуглекислий газ. Ці гази істотно відрізняються за своїми теплофізичними властивостями від властивостей повітря. Це стосується теплопровідності газів, зміна якої здатне привести до значних погрішностей виміру термокондуктометричних аналізаторів метану й, особливо, з неізолюваним порівняльним елементом, оскільки ці гази будуть впливати одночасно на обидва елементи датчика.

У роботі [35] дана теоретична оцінка погрішностей датчика теплопровідності від невимірюваних компонентів для шахтних умов експлуатації. Зроблено

це, виходячи з того, що теплопровідність суміші підкоряється адитивному закону, а електричні властивості молекул і відмінність молекулярних мас компонентів не враховувалися. Явище теплопровідності в газовій суміші вивчено ще недостатньо, а відомі методи розрахунку недосконалі. Однак у роботах [36, 37] відмічається задовільна збіжність результатів теоретичних й експериментальних досліджень теплопровідності газової суміші. Установлено, що істотне відхилення теплопровідності від закону адитивності спостерігається для сумішей, компоненти яких значно відрізняються молекулярною масою (тобто містять водень або гелій) або полярності (тобто містять пари води). Для розрахунку теплопровідності суміші газів за теплопровідністю чистих газів, скористаємося формулою Васильєвої [36, 37]

$$\lambda_{\tilde{m}} = \frac{\lambda_1}{1 + A_{12} \frac{\tilde{\sigma}_2}{\tilde{\sigma}_1} + A_{13} \frac{\tilde{\sigma}_3}{\tilde{\sigma}_1} + \dots} + \frac{\lambda_2}{1 + A_{21} \frac{\tilde{\sigma}_1}{\tilde{\sigma}_2} + A_{23} \frac{\tilde{\sigma}_3}{\tilde{\sigma}_2} + \dots} + \dots, \quad (2.1)$$

де $\lambda_{\tilde{m}}$ – коефіцієнт теплопровідності суміші, Вт/м·°С; $\lambda_1, \lambda_2 \dots$ – коефіцієнти теплопровідності компонентів суміші, Вт/м·°С; $x_1, x_2 \dots$ – мольні (об'ємні) частки компонентів суміші; A_{12}, A_{13}, A_{21} – коефіцієнти, що залежать від природи газів, що утворять суміші.

Значення коефіцієнтів A визначимо за формулою Сатерленда, що скоректована Ліндсеєм і Бромлеєм:

$$A_{12} = \frac{1}{4} \left\{ 1 + \left[\frac{\mu_1}{\mu_2} \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{0.75} \frac{1 + \frac{\tilde{N}_1}{\tilde{O}}}{1 + \frac{\tilde{N}_2}{\tilde{O}}} \right]^{0.5} \right\}^2 \frac{1 + \frac{\tilde{N}_{12}}{\tilde{O}}}{1 + \frac{\tilde{N}_2}{\tilde{O}}}, \quad (2.2)$$

де μ_1, μ_2 – в'язкість чистих газових компонентів, м²/с; \tilde{I}_1, \tilde{I}_2 – молекулярні маси; \tilde{N}_1, \tilde{N}_2 – постійні в рівнянні Сатерленда (можна прийняти $\tilde{N} \approx 1,5\tilde{O}_{\tilde{e}\tilde{e}\tilde{i}}$, де $\tilde{O}_{\tilde{e}\tilde{e}\tilde{i}}$ – температура кипіння, К); $C_{12} = f\sqrt{C_1 C_2}$, причому обидва гази полярні або обоє неполярні й $f = 0,733$, якщо один газ складається з неполярних моле-

кул, а другий - із сильно полярних.

Підставимо довідкові дані з [36, 37] у рівняння (2.1) і (2.2). Визначимо значення коефіцієнтів теплопровідності сумішей: метан-повітря, повітря-пари води, метан-повітря-пара води, метан-повітря-вуглекислий газ при температурах дроту датчика 60, 120, 210, 320 й 400 °С. Результати розрахунку наведені в табл. 2.1-2.4. При розрахунку середня температура суміші в камері датчика визначалася за формулою

$$t_{\bar{n}} = \frac{t_{\bar{a}} + t_{\bar{n}}}{2}, \quad (2.3)$$

де t_e – температура термоелемента, °С; t_c – температура стінок камери, що при розрахунку приймаємо 20 °С.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку коефіцієнта теплопровідності суміші метан-повітря

Об'ємна частка компонента суміші	x_1 (CH ₄)	0,0	0,01	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	x_2 (повітря)	1,0	0,99	0,95	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
Коефіцієнт теплопровідності суміші $\lambda \cdot 10^3$ Вт/м·°С, при температурі термоелемента, °С	60	26,90	26,998	27,387	28,826	30,698	32,517	34,282	36,00
	120	29,20	29,319	29,796	31,559	33,857	36,095	38,276	40,40
	210	32,65	32,807	33,431	35,745	38,766	41,714	44,591	47,40
	320	36,60	36,810	37,646	40,757	44,839	48,848	52,784	56,65
	400	39,40	39,652	40,667	44,437	49,389	54,257	59,044	63,75

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку коефіцієнта теплопровідності суміші повітря-пари води

Об'ємна частка компонента суміші	x_1 (повітря)	0,97	0,94	0,9	0,7	0,6	0,4	0,0
	x_2 (пари води)	0,03	0,06	0,1	0,3	0,4	0,6	1,0
Коефіцієнт теплопровідності суміші $\lambda \cdot 10^3$ Вт/м·°С, при температурі термоелемента, °С	60	26,991	27,057	27,108	26,794	26,320	24,840	20,10
	120	29,303	29,381	29,447	29,194	28,737	27,244	22,30
	210	32,838	32,917	33,018	33,018	32,647	31,265	26,25
	320	36,859	37,090	37,356	37,999	37,920	37,030	32,60
	400	39,822	40,214	40,690	42,312	42,678	42,587	39,40

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку коефіцієнта теплопровідності суміші:
метан-повітря-пари води

Об'ємна частка компонента суміші	x_1 (CH_4)	0,01	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,9
	x_2 (повітря)	0,93	0,89	0,84	0,74	0,54	0,14	0,04
	x_3 (пари води)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Коефіцієнт теплопровідності суміші $\lambda \cdot 10^3$ Вт/м·°С, при температурі термоелемента, °С	60	27,164	27,541	28,021	28,970	30,829	34,389	35,248
	120	29,499	29,974	30,563	31,729	34,016	38,414	39,478
	210	33,073	33,695	34,469	36,003	39,015	44,822	46,230
	320	37,299	38,136	39,180	41,244	45,323	53,315	55,200
	400	40,468	41,481	42,889	45,25	50,201	59,852	62,214

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку коефіцієнта теплопровідності суміші:
метан-повітря-вуглекислий газ

Об'ємна частка компонента суміші	x_1 (CH_4)	0,01	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,9
	x_2 (повітря)	0,97	0,93	0,88	0,78	0,58	0,18.	0,08
	x_3 (C_2)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02'	0,02
Коефіцієнт теплопровідності суміші $\lambda \cdot 10^3$ Вт/м·°С, при температурі термоелемента, °С	60	26,769	27,155	27,627	28,583	30,439	33,997	34,854
	120	29,094	29,565	30,153	31,315	33,595	37,981	39,042
	210	32,584	33,204	33,972	35,501	38,499	44,283	45,686
	320	36,605	37,436	38,470	40,525	44,579	52,470	54,399
	400	39,465	40,472	41,725	44,216	49,135	58,728	61,076

Аналіз даних табл. 2.1 і 2.4 показує, що зі збільшенням температури дроту датчика коефіцієнти теплопровідності сумішей метан-повітря й метан-повітря-пари води не стають порівнянними. Навпаки, різниця коефіцієнтів теплопровідності збільшується. При цьому коефіцієнт теплопровідності суміші метан-повітря-пари води більше коефіцієнта теплопровідності суміші метан-повітря. З метою вибору раціонального температурного режиму роботи термокондуктометричного датчика, що забезпечує мінімальну погрішність виміру, зробимо кількісну оцінку впливу пари води й вуглекислого газу на вихідний сигнал вимірювального моста з термокондуктометричним датчиком метану.

Величина вихідного сигналу неврівноваженого вимірювального моста з термокондуктометричним датчиком метану залежить від режиму живлення моста, параметрів і температурного режиму датчика, температури й теплопровідності суміші, температурних коефіцієнтів опору термоелементів і теплопровідності газів, а також інших факторів. Зробимо оцінку впливу зазначених газів на вихідний сигнал вимірювального моста для випадку стабілізації напруги на робочому елементі датчика. При цьому вираз для визначення вихідного сигналу при даному варіанті живлення моста визначимо шляхом підстановки в рівняння значення відповідних величин напруг. Після перетворення одержимо

$$U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}^{\hat{a}} = \frac{U_i \cdot R_0 \beta}{4(b\lambda_{\hat{a}} - R_0 \beta)} \cdot \frac{\lambda_{\hat{m}} - \lambda_{\hat{a}}}{\lambda_{\hat{m}}}. \quad (2.4)$$

Представимо вираз (2.4) у вигляді

$$U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}^{\hat{a}} = \hat{E} \frac{\lambda_{\hat{m}} - \lambda_{\hat{A}}}{\lambda_{\hat{m}}}, \quad (2.5)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від конструктивних параметрів датчика, характеристик термоелемента й параметрів джерела живлення; $\lambda_{\hat{A}}$, $\lambda_{\hat{m}}$ – теплопровідність повітря й аналізованої суміші при температурі, визначеної за формулою (2.3).

Відносну погрішність датчика теплопровідності в загальному вигляді можна представити так:

$$\delta U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} = \frac{U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} - U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}0}}{U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}0}} 100\%, \quad (2.6)$$

де $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}$ - вихідний сигнал датчика метану з урахуванням впливового фактора;
 $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}0}$ - вихідний сигнал датчика в суміші метан-повітря.

Відносна й наведена погрішності виміру датчика теплопровідності з урахуванням рівнянь (2.5) і (2.6) відповідно будуть:

$$\delta U_{\text{àèö}} = \frac{\lambda_{\text{A}} (\lambda_{\text{ñi 2}} - \lambda_{\text{ñi 1}})}{\lambda_{\text{ñi 2}} (\lambda_{\text{ñi 1}} - \lambda_{\text{A}})} 100\%, \quad (2.7)$$

$$\delta U_{\text{rò}} = \frac{\lambda_{\text{A}} \lambda_{\text{ñi 4}} (\lambda_{\text{ñi 2}} - \lambda_{\text{ñi 1}})}{\lambda_{\text{ñi 1}} \lambda_{\text{ñi 2}} (\lambda_{\text{ñi 4}} - \lambda_{\text{A}})} 100\% \quad (2.8)$$

де λ_B , $\lambda_{\text{ñi 1}}$, $\lambda_{\text{ñi 2}}$, λ_{CH_4} – коефіцієнти теплопровідності повітря, суміші метан-повітря, суміші метан-повітря-невимірні компоненти і метану відповідно.

Підставляючи дані з табл. 2.1-2.4 у рівняння (2.8) бачимо, що теоретична відносна погрішність виміру метану датчиком теплопровідності при максимальній об'ємній частці пари води рівній 6% (виходячи з умов експлуатації рудничних газоаналізаторів) перебуває в межах від 0,86 до 3,86%, при цьому погрішність зростає зі збільшенням температури дроту датчика. При об'ємній частці CO_2 в аналізованій суміші 2% відносна погрішність виміру метану становить від 1,14 до 3,37% і зменшується зі збільшенням температури дроту датчика. Результати розрахунку зведені в табл. 2.5 і 2.6.

Таблиця 2.5 – Теоретична наведена погрішність виміру від пари води при її об'ємній частці 6%

Температура елемента, °C	Наведена погрішність виміру							
	0,01	0,02	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9
60	2,41	2,25	2,16	1,83	1,47	1,18	0,96	0,86
120	2,2	2,17	2,09	1,79	1,45	1,20	0,99	0,90
210	2,57	2,55	2,46	2,10	1,72	1,44	1,21	1,11
320	3,68	3,64	3,54	2,99	2,46	2,06	1,80	1,62

Таблиця 2.6 – Теоретична наведена погрішність виміру від вуглекислого газу при його об'ємній частці 2%

Температура елемента, °C	Наведена погрішність виміру при об'ємній частці метану, %							
	0,01	0,02	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9
60	-3,37	-3,34	-3,32	-3,15	-2,95	-2,78	-2,61	-2,55
120	-2,78	-2,77	-2,75	-2,60	-2,43	-2,26	-2,14	-2,08
210	-2,19	-2,17	-2,15	-2,02	-1,83	-1,75	-1,64	-1,61
320	-1,57	-1,57	-1,54	-1,45	-1,35	-1,26	-1,17	-1,14

Аналіз даних табл. 2.5 і 2.6 показує, що виключити вплив пари води й вуглекислого газу за рахунок вибору температури чутливих елементів термокондуктометричного датчика, як пропонується в роботі, неможливо, однак установити раціональний тепловий режим роботи датчика, що забезпечує мінімальну погрішність виміру від наявності пари води й вуглекислого газу в аналізованій суміші, можна.

Результати досліджень вибухових властивостей метаноповітряних сумішей, що наведені нами у звітах попередніх етапів роботи, показують, що зі збільшенням вологості метаноповітряної суміші нижній концентраційний поріг її вибуховості по метану підвищується, а верхній – знижується. Верхній поріг вибуховості при гранично можливій для умов експлуатації газоаналізаторів об'ємній частці пари води 6% знижується на 1,5%об. метану в порівнянні з порогом вибуховості сухих сумішей. Нижній поріг вибуховості за тих самих умов підвищується на 0,75%об. метану.

Зіставлення отриманих даних по зміні верхнього порога вибуховості метано-повітряної суміші й даних щодо впливу пари води на вихідний сигнал термокондуктометричних датчиків показує, що в області верхнього порога з ростом вологості суміші збільшується її теплопровідність й, відповідно, вихідний сигнал аналізатора, а величина верхнього порога вибуховості при цьому знижується. Як видно, через наявність погрішності виміру, що обумовлена впливом вологи на теплопровідність суміші, при максимальній об'ємній частці пар води 6% і спрацьовуванні захисту по верхній концентраційній межі фактична об'ємна частка метану в суміші буде становити близько 23%. У той же час, при такому вологовмісті відбувається зниження порога вибуховості на 1,5%об., а передбачений нормативними документами [21] резерв безпеки залишається при цьому практично незмінним.

Отже, з точки зору забезпечення безпеки процесу утилізації метаноповітряних сумішей з дегазаційних систем шахт, при контролі їх вибухонебезпечності термокондуктометричними газоаналізаторами погрішність виміру вмісту метану від вологовмісту суміші, може не враховуватися. Виключення цієї скла-

дової погрішності дозволяє знизити основну приведену погрішність виміру верхнього порога вибуховості метаноповітряної суміші й надалі переглянути вимоги нормативних документів [21] щодо верхнього значення неприпустимої об'ємної частки метану в сумішах при їх утилізації у бік зниження при збереженні існуючого резерву безпеки.

Як видно з табл. 2.6, термокондуктометричні датчики метану, які працюють при температурі чутливих елементів до 120 °С, мають більшу погрішність виміру від вуглекислого газу. Підвищення температури чутливих елементів датчика вище 300 °С, як показали експериментальні дослідження, небажано, оскільки при цьому спостерігається окислювання на них метану. На підставі цього, а також виходячи з необхідності забезпечення економічності термокондуктометричного датчика метану для контролю у трубопроводах, температуру чутливих його елементів доцільно прийняти в діапазоні 210-250 °С.

2.3 Обґрунтування термокондуктометричного методу контролю з використанням різних теплових режимів чутливих елементів в однокамерних датчиках

Як відзначалося у другому розділі, вітчизняні, так і закордонні кондуктометричні аналізатори метану мають дві камери з ідентичними термоелементами – робочу й порівняльну. У робочу камеру за рахунок вільної або примусової конвекції надходить аналізована газова суміш, а порівняльна камера виконується герметичною й заповнюється еталонним газом. Така конструкція аналізаторів забезпечує достатню стабільність нуля вимірювального моста при зміні температури навколишнього середовища й параметрів живлення, однак, не усуває вплив на результати виміру зміни вологості, тиску, вмісту вуглекислого газу й ін. компонентів, а також спричиняється відносно більшу тривалість перехідних процесів при зміні температури аналізованої суміші. Крім того, при експлуатації аналізаторів виникають труднощі із забезпеченням герметичності порівняльної камери, що приводить до зсуву нуля вимірювального моста. Це спричиняє нестабільність «нуля» аналізаторів, відносно більшу погрішність виміру,

необхідність регулювання й настроювання в місці установки, регулярного обслуговування й нагляду за роботою таких газоаналізаторів.

Частково усунути зазначені недоліки можна застосуванням запропонованого однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів [38, 39]. Однак питання вибору параметрів термоелементів, конструкції й режимів роботи такого датчика дотепер у достатній мері не обґрунтовані.

У загальному випадку, розходження теплових режимів чутливих елементів можна досягти різними способами, зокрема виконанням елементів з різним опором або різними розмірами, шунтуванням одного з елементів й ін. Розглянемо варіант однокамерного датчика із чутливими елементами, що мають приблизно однаковий опір, але істотно відрізняються між собою своїми розмірами. Це забезпечується, наприклад, застосуванням для виготовлення спіралей термоелементів пелісторного типу платиного мікродроту різного діаметра. Зважаючи на те, що при робочій температурі менш нагрітий елемент буде мати істотно менший опір, для симетрування вимірювального моста послідовно з ним доцільне введення додаткового опору R_0 . Схема такого моста наведена на рис. 2.11.

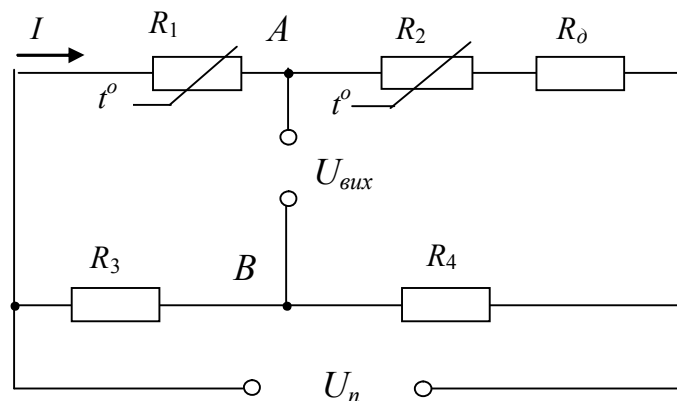


Рисунок 2.11 – Схема моста з термоелементами, що істотно відрізняються розмірами: R_1 , R_2 – термоелементи; R_0 – додатковий резистор; R_3 , R_4 – баластові резистори

Теоретична залежність величини напруги на термоелементі датчика від величини струму, що отримана в [33], має вигляд

$$U_{\dot{a}} = I_{\dot{a}} R_{0\dot{a}} (1 + \beta t_{\dot{a}}) + \beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}} I_{\dot{a}}^3, \quad (2.9)$$

Виходячи з виразу (2.9), величина напруги на термоелементі датчика R_1 з більш високою температурою первісного розігріву буде

$$U_1 = IR_{01} (1 + \beta t_{\dot{a}}) + \beta b_1 R_{01} I^3. \quad (2.10)$$

Відповідно напруга на другому плечі вимірювального моста з додатковим опором

$$U_2 = IR_{02} (1 + \beta t_{\dot{a}}) + \beta b_2 R_{02} I^3 + IR_{\dot{a}}. \quad (2.11)$$

У роботі [32] було теоретично доведено, що в повітрі в широкому діапазоні температур терморезистивний коефіцієнт платинових терморезисторів є постійною величиною. Це було підтверджено й наступними експериментальними дослідженнями [33]. У такому випадку при незалежності величини опору додаткового й баластового резисторів від температури умова збереження нуля симетричного збалансованого моста від зміни температури навколишнього середовища буде мати вигляд

$$\frac{dU_1}{dt_{\dot{a}}} = \frac{dU_2}{dt_{\dot{a}}}. \quad (2.12)$$

Після диференціювання правих частин рівнянь (2.10) і (2.11) одержимо умову незалежності нуля збалансованого моста від зміни температури при живленні вимірювального моста від стабілізованого джерела струму

$$R_{01} = R_{02}. \quad (2.13)$$

З останнього виразу випливає, що для забезпечення температурної стабільності моста термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів необхідно застосовувати платинові терморезистори з однаковим початковим опором.

Вимірювальні мости термокондуктометричних аналізаторів, як правило, живляться від джерела стабілізованої напруги або струму. Однак при значних коливаннях напруги в живильній мережі, температури й у силу ін. причин не виключені незначні зміни величини живлячої напруги. Умова збереження нуля

симетричного збалансованого моста (при $R_3 = R_4$) при можливих змінах струму через термоелементи має вигляд

$$\frac{dU_1}{dI} = \frac{dU_2}{dI}. \quad (2.14)$$

З урахуванням рівності початкових опорів термоелементів, замінимо R_{01} і R_{02} на R_0 . Продиференціюємо праві частини рівнянь (2.10) і (2.11) по струму. Одержимо

$$3\beta b_1 R_0 I^2 = 3\beta b_2 R_0 I^2 + R_{\bar{a}}. \quad (2.15)$$

З виразу (2.15) знайдемо значення величини додаткового опору, при якому забезпечується стабільність нуля збалансованого моста при зміні струму через терморезистори

$$R_{\bar{a}} = 3\beta R_0 I^2 (b_1 - b_2). \quad (2.16)$$

Підставивши в рівняння (2.16) значення $b_{\bar{a}}$, одержимо

$$R_{\bar{a}} = 3\beta R_0 I^2 \left(\frac{R_1}{\alpha_1 F_1} - \frac{R_2}{\alpha_2 F_2} \right). \quad (2.17)$$

де R_1 , R_2 і α_1 , α_2 - відповідно опір і сумарний коефіцієнт тепловіддачі першого й другого термоелементів при температурі їхнього початкового розігріву Ом і Вт/(м² °С); F_1 , F_2 - площа поверхні відповідно першого й другого елемента, м².

По отриманих виразах було розраховане значення величини додаткового опору для різних варіантів виконання чутливих елементів термокондуктометричного датчика. Так, при застосуванні для виготовлення спіралей робочого й порівняльного термоелементів платиного мікродроту відповідно діаметром 30 мкм й 50 мкм, при співвідношенні $F_1 = 0,2F_2$, початковому опорі елементів $R_0 = 3$ Ом і струмі через термоелементи 100 мА розрахункове значення величини додаткового опору становить $R_{\bar{a}} = 1,8$ Ом. Для граничного випадку, при $F_1 \ll F_2$, величина додаткового опору становить $R_{\bar{a}} = 3,6$ Ом.

Значення сумарних коефіцієнтів тепловіддачі термоелементів при температурі їхнього початкового розігріву визначалося виходячи з величин терморе-

зистивних коефіцієнтів, розрахованих за результатами експериментально обмірюваних значень електричних параметрів елементів по вираженню

$$b_y = \frac{U_{\dot{a}} - I_{\dot{a}} R_{0\dot{a}} (1 + \beta t_{\dot{a}})}{\beta R_{0\dot{a}} I_{\dot{a}}^3}. \quad (2.18)$$

Введення у вимірювальний міст додаткових опорів розрахованої величини визначає його несиметричність, що зростає в міру збільшення неоднозначності параметрів термоелементів. У такому випадку при установці нуля моста шляхом зміни величини баластових резисторів і нерівності величин опорів R_3 і R_4 умова (2.14) не є справедливою. Це говорить про те, що при виборі додаткового опору за виразом (2.18) збалансований несиметричний міст не забезпечує стабільності нуля при невеликих можливих змінах параметрів живлення. Покажемо це наочно. На рис. 2.12 якісно представлені вольтамперні характеристики плечей моста з розрахованим додатковим опором для випадку $F_1 = 0,2F_2$, а також залежність різниці напруг на зазначених плечах моста від величини струму.

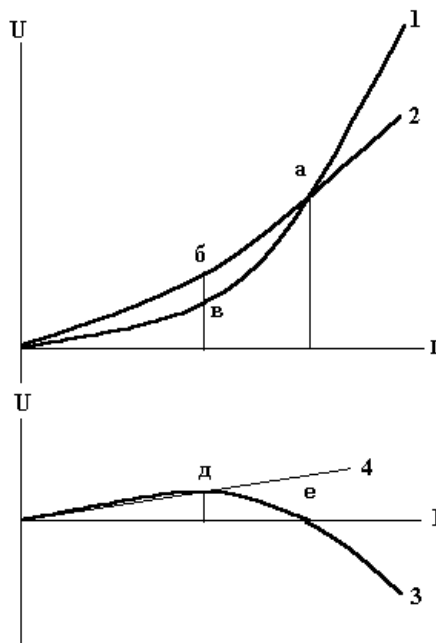


Рисунок 2.12 – Вольтамперні характеристики елементів моста:

- 1 – термоелемента R_1 ; 2 - плечі моста з R_2 і додатковим опором $R_{\dot{a}}$; 3 – різницева крива $\Delta U_{\dot{a}} = U_1 - U_2$;
- 4 – різницева крива плеча несиметричного моста з баластовими резисторами

Очевидно, що умова (2.14) виконується при значенні струму через термоелементи, де характеристики 1 і 2 мають однаковий нахил. Це відповідає крапкам b і v на рис. 2.12. У той же час збалансувати міст при симетрії баластової ланки моста можна тільки при величині струму через термоелементи відповідній точці a , тобто точці перетинання кривих 1 і 2. Крутість різницевої характеристики 3 при такому значенні струму (у точці e) досягає значної величини, а це спричиняє нестабільність нульових показань збалансованого моста при можливих змінах параметрів живлення моста, наприклад, при зміні втрат напруги в електричних провідниках, що з'єднують датчик з вимірювальним перетворювачем.

Якщо зупинити свій вибір на несиметричному збалансованому мосту, то при нерівності опорів баластових резисторів $R_3 < R_4$ з'являється різницева крива плеча з баластовими резисторами 4, кут нахилу якої залежить від ступеня несиметричності моста. У такому випадку вибір величини баластових резисторів, виходячи з умови забезпечення балансу моста в точці d , що відповідає точці перегину різницевої характеристики 3, теж не забезпечує високої стабільності нульових показань збалансованого моста при можливих змінах параметрів його живлення. У цьому випадку, для того щоб підвищити стабільність нуля моста, необхідно зміщати робочу точку в область менших струмів, де величина кута нахилу кривих 3 й 4 не сильно відрізняється. Однак у такому випадку чутливість датчика є досить низкою й тому такий режим його роботи є неприйнятним. Забезпечити стабільність нуля аналізатора при можливих змінах параметрів живлення термоелементів і виборі режиму живлення відповідному точці d можна при використанні для компенсації різницевої напруги моста із симетричною баластовою ланкою прецизійних джерел опорної напруги, величина якої відповідає напрузі в точці A (рис. 2.11) при обраному режимі живлення термоелементів.

Другий варіант – це використання невірноваженого вимірювального моста із симетричною баластовою ланкою, режим роботи якого вибирається з умови забезпечення однакової крутості характеристик робочої ланки моста 1 і 2, що відповідає точці d на різницевій характеристиці 3. Нульовій концентрації

метану при цьому буде відповідати напруга в точці δ різницевої характеристики 3. Такий режим може бути реалізований при використанні сучасних прецизійних джерел опорної напруги й застосуванні мікропроцесорів для обробки вихідного сигналу вимірювального моста.

Остаточний вибір вимагає проведення експериментальних досліджень, а також залежить від зручностей настроювання аналізатора в процесі виготовлення й експлуатації й можливості програмно реалізувати процес настроювання в автоматичному режимі.

Як показано в роботі [40], домогтися абсолютної ідентичності термоелементів й у випадку використання датчиків із симетричними елементами практично неможливо. На рис. 2.13 якісно показаний типовий характер залежності вихідної напруги вимірювального моста з однаковими термоелементами, збалансованого при $U_{\tilde{n}\delta}$, від напруги живлення в зоні близької до $U_{\tilde{n}\delta}$.

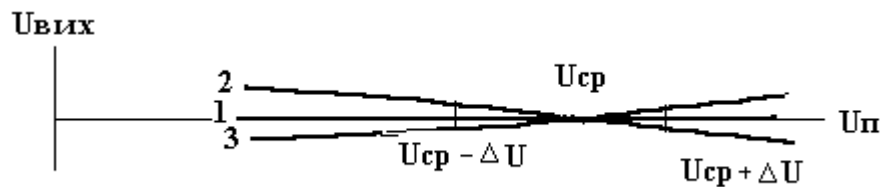


Рисунок 2.13 – Залежність вихідної напруги вимірювального моста, збалансованого при $U_{\tilde{n}\delta}$, від напруги живлення:

1 – ідеальна; 2 – при $R_k > R_p$; 3 – при $R_p > R_k$

При неідентичності якого-небудь параметра терморезисторів, наприклад їх опорів, зміна умов, при яких установлювався нуль моста, наприклад напруги живлення моста, завжди веде до появи напруги на його виході, причому полярність цієї напруги є неоднозначною. Запропонована в роботі [65] схема включення термоелементів і методика балансування моста дозволяє істотно зменшити відхід нуля.

У нашому випадку, при використанні неізольованого порівняльного елемента й використанні збалансованого несиметричного моста, характер залежності вихідної напруги моста, збалансованого при $U_{\tilde{n}\delta}$, від напруги живлення, є

однозначним, але якісно не міняється. Тому рішення, що забезпечують підвищення стабільності нуля, які запропоновані в роботі [65], можуть бути використані й при розробці аналізаторів з неізольованим порівняльним елементом.

У підсумку можна зробити висновки, що застосування для виміру концентрації метану в дегазаційних трубопроводах однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів дозволяє спростити конструкцію датчика аналізатора, виключити тривалі перехідні процеси, що виникають при зміні температури газової суміші, виключити недоліки двокамерних аналізаторів, пов'язані з порушеннями герметичності порівняльної камери.

Для забезпечення стабільності нуля вимірювального моста при зміні температури навколишнього середовища при конструюванні датчиків аналізаторів необхідно вибирати платинові термоелементи з однаковими початковими опорами. При цьому збалансований вимірювальний міст однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів не дозволяє забезпечити високу стабільність нульових показань аналізатора при можливих змінах параметрів живлення моста. Тому більш доцільне використання неврівноваженого вимірювального моста із симетричною баластовою ланкою, режим роботи якого вибирається з умови забезпечення однакової крутості вольтамперних характеристик елементів робочої ланки моста й введення прецизійного джерела опорної напруги для усунення зсуву нуля.

Для остаточного вибору параметрів термоелементів і режимів роботи вимірювального моста необхідне проведення досліджень різних варіантів виконання однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів при різних режимах живлення мостових вимірювальних схем.

Розглянемо умови забезпечення термокомпенсації моста при живленні його від джерела стабільної напруги. Під час відсутності додаткового розігріву від джерела електричного струму залежність опору платинового терморезистора від температури звичайно представляють у вигляді

$$R_{\dot{a}} = R_{\dot{a}}(1 + \beta t_{\dot{a}}), \quad (2.19)$$

При наявності додаткового розігріву від джерела електричної напруги, вираз (2.19) набуває вигляд

$$R_{\dot{a}} = R_{\dot{a}}(1 + \beta t_{\dot{a}}), \quad (2.20)$$

де $t_{\dot{a}}$ – температура елемента, $^{\circ}\text{C}$.

Температура термоелемента в загальному випадку залежить від температури навколишнього середовища, геометричних й електричних параметрів елемента, умов теплообміну й величини струму, що протікає через елемент. Теоретична залежність, що описує залежність температури елемента $t_{\dot{a}}$ від зазначених параметрів, має вигляд [41]

$$t_{\dot{a}} = t_{\dot{a}} + b_{\dot{a}} I_{\dot{a}}^2, \quad (2.21)$$

З урахуванням виразів (2.19) і значення терморезистивного коефіцієнта, а також залежності величини струму від напруги, вираз (2.21) можна представити в такий спосіб

$$\frac{R_{\dot{a}}}{R_{\dot{a}}\beta} - \frac{1}{\beta} = t_{\dot{a}} + \frac{U_{\dot{a}}^2}{\alpha_{\dot{a}} F_{\dot{a}} R_{\dot{a}}}, \quad (2.22)$$

де $U_{\dot{a}}$ – напруга на термоелементі, В.

Рішення рівняння (2.22) щодо величини опору має вигляд

$$R_{\dot{a}} = \frac{R_{0\dot{a}}}{2} \left(1 + \beta t_{\dot{a}} + \sqrt{(1 + \beta t_{\dot{a}})^2 + \frac{4U_{\dot{a}}^2\beta}{\alpha_{\dot{a}} F_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}}} \right). \quad (2.23)$$

Диференціюючи (2.23) по $t_{\dot{a}}$, одержимо

$$\frac{\partial R_{\dot{a}}}{\partial t_{\dot{a}}} = \frac{R_{0\dot{a}}\beta}{2} + \frac{R_{0\dot{a}}\beta(1 + \beta t_{\dot{a}})/2}{\sqrt{(1 + \beta t_{\dot{a}})^2 + \frac{4U_{\dot{a}}^2\beta}{\alpha_{\dot{a}} F_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}}}}. \quad (2.24)$$

При $U_{\dot{a}} = 0$ вираз (2.23) прийме значення, яке можна одержати диференціюванням виразу (2.19)

$$\frac{\partial R_{\dot{a}}}{\partial t_{\dot{a}}} = R_{0\dot{a}}\beta.$$

Зі збільшенням напруги, прикладеної до елемента та відповідно температури розігріву елемента від зовнішнього джерела другий доданок у правій частині виразу (3.24) прагне до нуля, і в цьому випадку будемо мати

$$\frac{\partial R_{\dot{y}}}{\partial t_{\dot{a}}} = \frac{R_{0\dot{y}}\beta}{2}. \quad (2.25)$$

Таким чином, при живленні вимірювального моста з неоднаковими електротепловими параметрами елементів від джерела стабільної напруги, зміна температури середовища на величину $\Delta t_{\dot{a}}$ приведе до зміни опору менш нагрітого порівняльного елемента на більшу величину, чим робочого. Це значить, що, на відміну від режиму живлення вимірювального моста стабільним струмом при живленні стабільною напругою рівність початкового опору робочого й порівняльного елементів (2.13), температурна стабільність моста не забезпечується. Таку стабільність можна забезпечити шляхом включення паралельно порівняльному термоелементу з меншою температурою розігріву резистора й підбором його величини. Зважаючи на те, що величина напруги на порівняльному елементі в цьому випадку буде істотно менше величини напруги на робочому елементі, для симетрування моста доцільне введення додаткового опору в ланку із порівняльним елементом.

Схема вимірювального моста з однокамерним термокондуктометричним датчиком, термоелементи якого мають однаковий початковий опір, але істотно відрізняються розмірами, наведена на рис. 2.14.

Одержати аналітичний вираз для визначення величини шунтового резистора, при якій забезпечується температурна стабільність моста в принципі можливо, однак це не має сенсу, оскільки для розрахунку необхідно знати величину площі термоелементів і коефіцієнтів тепловіддачі елементів, точне значення яких визначити практично неможливо. Тому величина опору шунтового резистора при даному варіанті живлення може бути підібрана тільки експеримента-

льно, шляхом пошуку значення величини опору шунта, що забезпечує мінімальний зсув нуля моста при зміні температури в необхідному діапазоні [42].

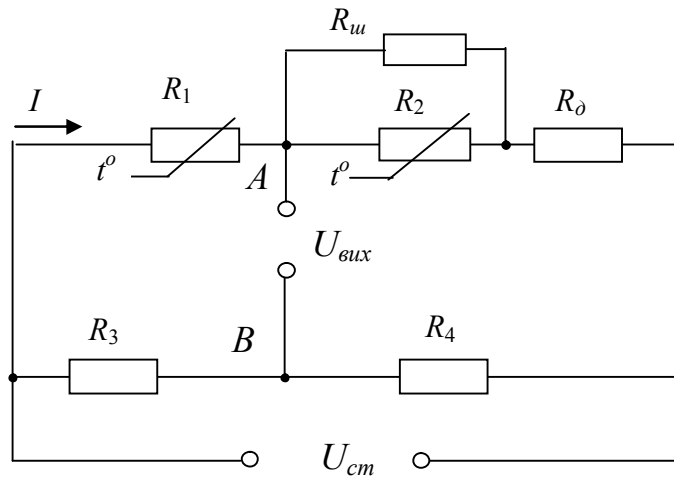


Рисунок 2.14 – Схема моста з однокамерним термокондуктометричним датчиком: R_1 , R_2 – термоелементи; $R_{ш}$ – додатковий резистор; R_{δ} – шунтувальний резистор; R_3 , R_4 – баластові резистори

Освоєння виробництва високостабільних й економічних стабілізаторів напруги в інтегральному виконанні, високоякісних операційних підсилювачів, компараторів і засобів мікропроцесорної техніки дозволяє реалізувати різні режими живлення й обробки вихідного сигналу термокондуктометричних датчиків, у тому числі: зі стабілізацією напруги на одному з термоелементів, стабілізацією потужності, затрачуваної на нагрівання елемента й стабілізацією температури елемента. Як було показано нами в попередньому розділі, при застосуванні датчиків з ізольованим порівняльним елементом в останньому випадку забезпечується найвища чутливість і практично лінійна залежність вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану. З огляду на це, а також на неоднозначність залежності теплопровідності повітря й метану від температури середовища, з погляду мінімізації погрішності виміру, становить інтерес режим роботи однокамерного термокондуктометричного датчика зі стабілізацією температури робочого елемента.

При застосуванні термокондуктометричних датчиків з неізолюваним порівняльним елементом, за інших рівних умов, максимальна чутливість мостової вимірювальної схеми забезпечується при температурі порівняльного елемента, рівній температурі навколишнього середовища [42]. Такий режим роботи елемента можливий при кріпленні порівняльного елемента безпосередньо на корпусі вимірювальної камери. Оскільки для виключення конвективного теплообміну в термокондуктометричних датчиках розміри камери вибираються досить малі, а діапазон зміни температури навколишнього середовища в шахтних умовах не перевищує ± 15 °С, таке розташування порівняльного елемента дозволяє стабілізувати температуру поверхні вимірювальної камери. У такому випадку параметри робочого елемента будуть залежати тільки від характеристик джерела живлення й властивостей газового середовища у трубопроводах.

У стаціонарному режимі потужність, що виділяється в робочому елементі при проходженні через нього електричного струму $P_{\dot{a}\ddot{e}}$, переходить в навколишнє середовище через газовий простір усередині камери й елементи конструкції за рахунок теплопровідності газового середовища, природної конвекції, випромінювання й через струмопідвідні кінці. З урахуванням виразів і рівняння, що описує процес теплообміну для термоелемента сферичної форми прийме вигляд:

$$I_{\dot{a}}^2 R_{\dot{a}} = \frac{4\pi\lambda_0}{1/r_{\dot{a}} - 1/r_{\ddot{e}}} \left(t_{\dot{a}} - t_{\ddot{a}} + \frac{1}{2} \beta_{\dot{a}t_{\dot{a}}}^2 - \frac{1}{2} \beta_{\dot{a}t_{\ddot{a}}}^2 \right) + 6,35 \cdot 10^{-2} \varepsilon_{\dot{a}} r_{\dot{a}}^2 (t_{\dot{a}}^2 - 0,5 t_{\dot{a}} t_{\ddot{a}}) + 3,45 d_{\circ} (\dot{a} - t_{\ddot{a}}). \quad (2.26)$$

Другий і третій доданок у правій частині рівняння (2.26) являють собою потужність, що розсіюється за допомогою випромінювання й через струмопідвідні кінці. При постійній температурі елемента й стінок камери зазначені складові теплообміну є постійними й не залежать від теплопровідності газу. При аналогічних умовах перший доданок у правій частині рівняння (2.26), прямо пропорційно залежить від теплопровідності газу, а величина цієї складової теплообміну в реальних датчиках звичайно перевищує 2/3 від загальної потужнос-

ті, що розсіюється [43]. У такому випадку, підставивши в рівняння (2.26) значення $R_{\dot{a}}$ з (4.24) одержимо

$$I_{\dot{a}}^2 R_0 (1 + \beta t_{\dot{a}}) = \lambda_0 b + a. \quad (2.27)$$

де b і a – постійні величини при обраному режимі роботи датчика, які відповідно рівні:

$$\dot{a} = 6,35 \cdot 10^{-2} \varepsilon_{\dot{a}} r_{\dot{a}}^2 (t_{\dot{a}}^2 - 0,5 t_{\dot{a}} t_{\ddot{a}}) + 3,45 d_{\dot{a}} (t_{\dot{a}} - t_{\ddot{a}}). \quad (2.28)$$

$$b = \frac{4\pi}{1/r_{\dot{a}} - 1/r_{\ddot{a}}} \left(t_{\dot{a}} - t_{\ddot{a}} + \frac{1}{2} \beta_{\dot{a}} t_{\dot{a}}^2 - \frac{1}{2} \beta_{\ddot{a}} t_{\ddot{a}}^2 \right). \quad (2.29)$$

Прийнявши, що теплопровідність бінарної метаноповітряної суміші володіє адитивними властивостями й однозначно залежить від концентрації газових компонентів, представимо

$$\lambda_0 = \lambda_{\dot{a}0} + \tilde{N}(\lambda_{i0} - \lambda_{\dot{a}0}), \quad (2.30)$$

де $\lambda_{i0}, \lambda_{\dot{a}0}$ – відповідно, коефіцієнти теплопровідності метану й повітря при температурі 0 °С, Вт/(м·).

З урахуванням виразів (2.29) і (2.30) одержимо

$$I_{\dot{a}}^2 R_{\dot{a}} = b \lambda_{\dot{a}0} + \tilde{N} b (\lambda_{i0} - \lambda_{\dot{a}0}) + a. \quad (2.31)$$

Звідки

$$I_{\dot{a}}^2 = \frac{b \lambda_{\dot{a}0} + a}{R_{\dot{a}}} + \tilde{N} \frac{b (\lambda_{i0} - \lambda_{\dot{a}0})}{R_{\dot{a}}}. \quad (2.32)$$

Мінімальна величина струму через елемент $I_{\dot{a}0}$ відповідає нульовій концентрації метану в суміші. З рівняння (2.32) для цього випадку маємо

$$I_{\dot{a}0}^2 = \frac{b \lambda_{\dot{a}0} + a}{R_{\dot{a}}}. \quad (2.33)$$

З урахуванням останнього вираз й рівняння (2.32) можна записати

$$I_{\dot{a}}^2 - I_{\dot{a}0}^2 = \tilde{N} \frac{b (\lambda_{i0} - \lambda_{\dot{a}0})}{R_{\dot{a}}}. \quad (2.34)$$

Позначивши збільшення струму при наявності метану як $\Delta I = I_{\dot{a}} - I_{\dot{a}0}$, одержимо вираз, що зв'язує концентрацію метану й збільшення струму

$$C = (2I_{a0}\Delta I + \Delta I^2)b_1, \quad (2.35)$$

де

$$b_1 = \frac{R_y}{b(\lambda_{i0} - \lambda_{a0})}. \quad (2.36)$$

При стабілізації температури робочого елемента коефіцієнт b_1 є постійною величиною. У такому випадку з рівняння (2.36) виходить, що при прийнятному режимі роботи термокондуктометричного датчика збільшення струму ΔI однозначно пов'язане з концентрацією метану.

У реальних термокондуктометричних датчиках збільшення струму ΔI при зміні концентрації метану, залежно від вибраного температурного режиму, становить від $0,1 I_{e0}$ до $0,2 I_{e0}$. При такій величині ΔI наявність квадратичної складової в лівій частині виразу (2.36) обумовлює помітну нелінійність залежності збільшення струму від концентрації метану (рис. 2.15).

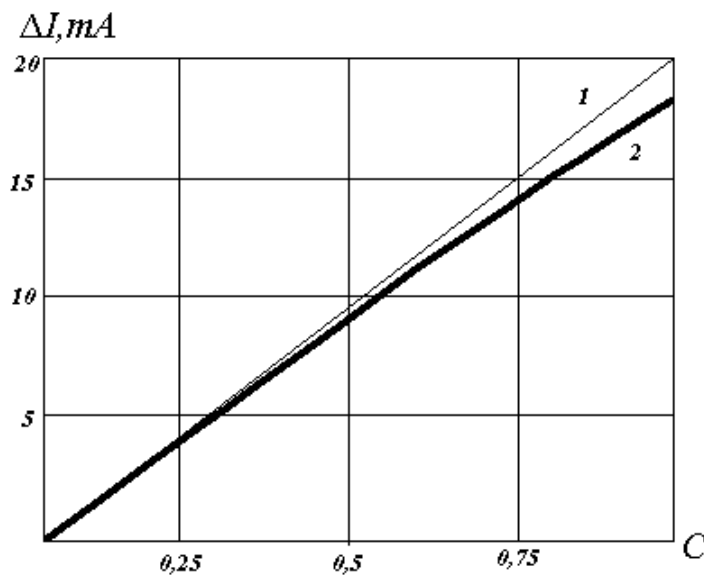


Рисунок 2.15 – Залежність збільшення струму від концентрації метану:

1 – лінійна; 2 – розрахункова

В аналізаторах метану із цифровою індикацією для виключення погрішності виміру, обумовленим цією нелінійністю, при застосуванні вимірювальних перетворювачів на аналогових інтегральних схемах потрібне введення додатко-

вих вузлів, що забезпечують лінійність шкали. Крім того, при використанні аналогових схем виникають певні труднощі з підтримкою стабільної величини опору робочого елемента. З огляду на це, при конструюванні аналізатора доцільне використання сучасної мікропроцесорної техніки. У цьому випадку термоелемент контролю й стабілізації температури поверхні вимірювальної камери, може одночасно виконувати й функції нагрівального елемента.

При використанні для конструювання аналізатора аналогових інтегральних схем для контролю температури поверхні вимірювальної камери і її підігріву доцільно використати окремі елементи. У випадку живлення термоелемента, що виконує функції датчика температури вимірювальної камери від джерела струму, сталість температури камери порівняно просто забезпечується при підтримці стабільної напруги на датчику температури шляхом керування режимом роботи нагрівального елемента. З метою спрощення схемних рішень, обумовлених складністю реалізації вимірювальної схеми, що забезпечує підтримку стабільної температури робочого термоелемента на аналогових елементах, у цьому випадку доцільніше використати режим роботи термокондуктометричного датчика зі стабілізацією напруги на робочому елементі, при використанні якого температурний режим термоелемента в повітрі й метані змінюється в мінімальних межах.

2.4 Розробка й дослідження термокондуктометричних датчиків з неізольованим порівняльним елементом

Як було показано вище, при розробці аналізаторів з діапазоном виміру об'ємної частки метану 0-100%, призначених для контролю вибухонебезпечності сумішей у дегазаційних трубопроводах, найбільш доцільним є застосування однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів. Це дозволяє спростити конструкцію датчика аналізатора, виключити тривалі перехідні процеси, що виникають при зміні температури газової суміші, виключає недоліки двокамерних аналізаторів, пов'язані з порушеннями герметичності порівняльної камери.

Для досліджень була виготовлена партія однокамерних термокондукто-

метричних датчиків (10 шт.), термоелементи яких мають однаковий початковий опір, але істотно відрізняються розмірами. Датчики складаються з робочого й порівняльного термоелементів, розташованих в одній камері усередині пористого металокерамічного газодифузійного фільтра, розділених між собою слюдяною перегородкою. Як чутливі елементи були використані термоелементи у вигляді мініатюрних спіралей, виготовлені із платинового мікродроту діаметром 30 мкм і поміщені усередину бусинок з діелектрика різного розміру, причому площа поверхні порівняльного елемента приблизно в 15 разів перевищувала площу поверхні робочого елемента [44]. Опір чутливих елементів при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ становив $R_{0a} = 2,2\text{ Ом}$.

При дослідженнях датчики включалися у вимірювальний міст. Для симетрування моста в ланку моста з порівняльним елементом додатково включався резистор. Величина опору цього резистора, при якому забезпечувалося симетрування моста, становила $R_a = 1,5\text{ Ом}$. Живлення моста здійснювалося від малопотужного регульованого стабілізатора напруги в інтегральному виконанні з малими втратами типу LT1761 напругою 1,24 В. При можливих у шахтних умовах змінах температури в діапазоні $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, відхід вихідної напруги стабілізатора від його номінального значення не перевищує $\pm 1\text{ мВ}$. Величина струму через термоелементи при температурі газу $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ у цьому випадку склала $I_a = 149\text{ мА}$, а напруги на робочому й порівняльному елементах відповідно 620 мВ й 411 мВ. Зміна температури аналізованого середовища від номінальної на $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ призводила в цьому випадку до зсуву нуля моста на $\pm 0,7\text{ мВ}$. Це підтверджує раніше зроблений висновок про те, що при живленні моста від джерела стабільної напруги рівність початкового опору робочого й порівняльного елементів, що відрізняються температурними режимами, не забезпечує температурну стабільність моста.

Для забезпечення стабільності нуля вимірювального моста при зміні температури навколишнього середовища при живленні вимірювального моста від джерела стабільної напруги, згідно [44] було проведено шунтування порівняльного термоелемента. Експериментальним шляхом для досліджуваних датчиків були підібрані величини додаткового й шунтового резисторів, які забезпечують

симетрію моста й зсув нуля від зміни температури середовища. Вони склали $R_{uu}=4,4$ Ом і $R_{\delta}=2,5$ Ом. Напруги на робочому й порівняльному елементах у цьому випадку відповідно становлять 620 мВ і 248 мВ при струмах $I_{\delta\delta} = 149$ мА й $I_{\delta c} = 93$ мА. При таких режимах роботи розрахункові значення температур елементів становлять $t_{\delta\delta} = 223^{\circ}\text{C}$ й $t_{\delta\tilde{n}} = 53^{\circ}\text{C}$.

В лабораторних умовах були проведені дослідження однокамерних датчиків з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів. Включення датчиків здійснювалося за схемою, наведеною на рис. 2.16. При такій схемі включення вихідна напруга стабілізатора LT1521 становить 1,24 В.

Зняття залежностей $U_{\delta\delta} = f(C)$ проводилися при температурі повітря в приміщенні $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, відповідно до методики, описаної в [33], на експериментальній установці НВО «Червоний металіст» [33]. Оцінка температурної стабільності нуля вимірювального моста проводилася відповідно до методики, викладеній в [45, 46].

Лабораторні дослідження показали, що при зазначених параметрах датчика після підбирання величини додаткового й шунтового резисторів відхід нуля вимірювального моста при змінах температури в діапазоні $\pm 15^{\circ}\text{C}$ не перевищує $\pm 0,004$ мВ. При зміні величини напруги живлення на ± 10 мВ, нуль вимірювального моста зміщується на $\pm 0,8$ мВ. Це підтверджує справедливість висновку про те, що симетричний термічно збалансований міст із різними температурними режимами елементів не забезпечує високої стабільності нуля при зміні режимів його живлення [47]. При живленні моста від зазначеного раніше стабілізатора, що забезпечує при стабільній величині навантаження сталість напруги з точністю ± 1 мВ, зсув нуля вимірювального моста не перевищує $\pm 0,1$ мВ, що не призводить до помітних погрешностей виміру концентрації метану.

У результаті проведених випробувань було встановлено, що чутливість розробленого однокамерного датчика до метану на початку діапазону становить 0,4 мВ/%. Характер залежності вихідної напруги моста від об'ємної частки метану наведений на рис. 2.17.

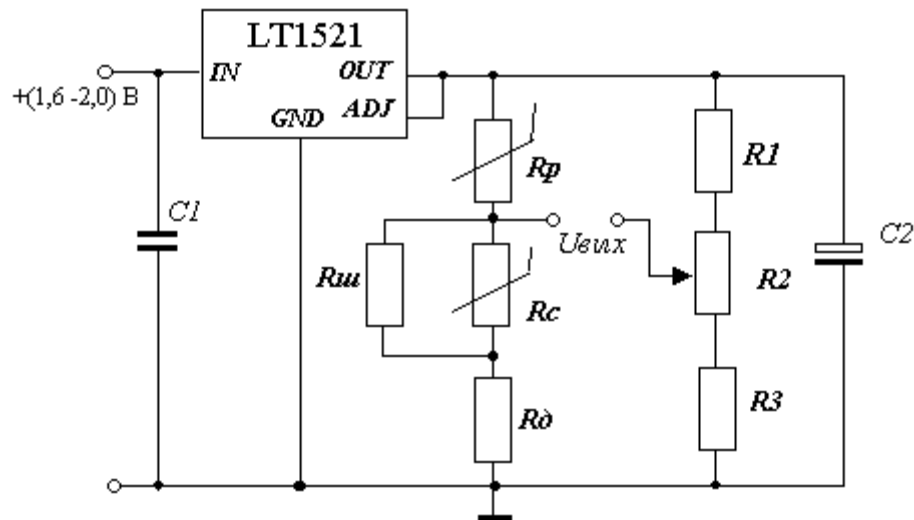


Рисунок 2.16 – Схема включення однокамерного датчика з різними тепловими параметрами елементів

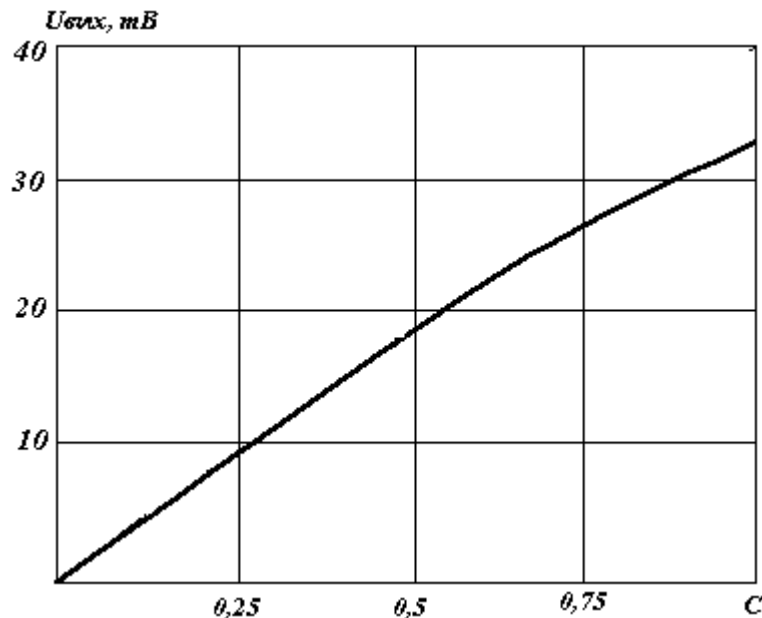


Рисунок 2.17 – Залежність вихідної напруги моста від об'ємної частки метану

Як і при застосуванні двокамерних датчиків з ізольованим порівняльним елементом, вихідна характеристика неврівноваженого моста з однокамерним датчиком, є нелінійною. Тому в аналізаторах метану із цифровою індикацією для виключення погрішності виміру, що обумовлена цією нелінійністю, при застосуванні вимірювальних перетворювачів на аналогових інтегральних схемах потрібне введення додаткових вузлів для лінеаризації шкали.

При наявності резерву потужності, з метою уніфікації з існуючими датчиками, що випускають НВО «Червоний металіст», і підвищення чутливості первинного перетворювача, можуть бути рекомендовані схеми включення із двома робочими й двома порівняльними елементами, що наведені на рис. 2.18 і рис. 2.19. Зазначені схеми відрізняються режимами живлення вимірювального моста. Схема включення датчика забезпечує роботу датчика при стабільній напрузі на вимірювальному мосту величиною 2,48 В, а схема на рис. 2.19 – при стабільній напрузі на робочих елементах величиною 1,24 В. Застосування останньої схеми, у порівнянні із традиційною схемою живлення, дозволяє підвищити чутливість датчика й поліпшити лінійність вимірювального моста.

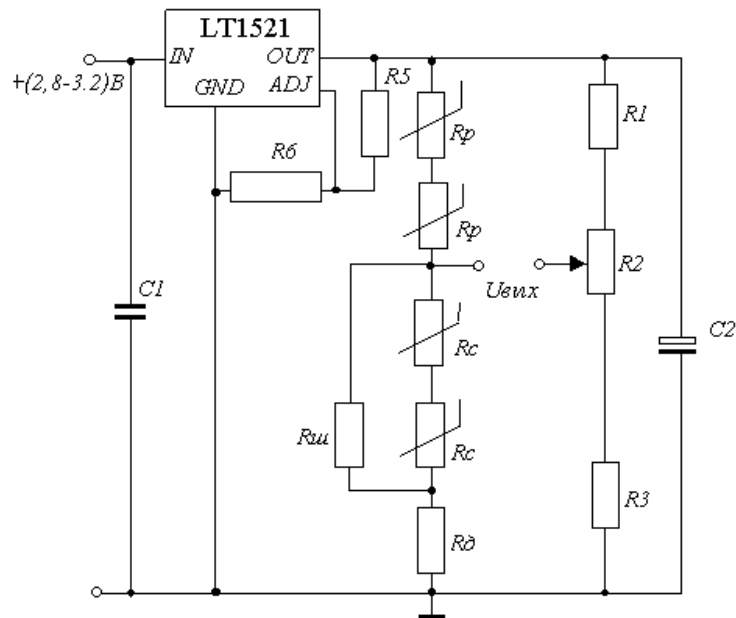


Рисунок 2.18 – Схема включення однокамерного датчика з різними тепловими параметрами елементів при живленні вимірювального моста стабільною напругою 2,48 В

При наявності резерву потужності може бути також реалізована схема включення моста з живленням стабільним струмом, що наведена на рис. 2.10. З метою економії потужності як датчик струму (крім резистора $R_m = 6,77$ Ом), у ній використовується додатковий резистор $R_{\bar{i}} = 1,5$ Ом, що вводиться до моста для його симетрування. При даному режимі живлення симетричний міст є термічно

збалансованим при рівності початкового опору термоелементів і тому введення шунтового резистора в міст не потрібно.

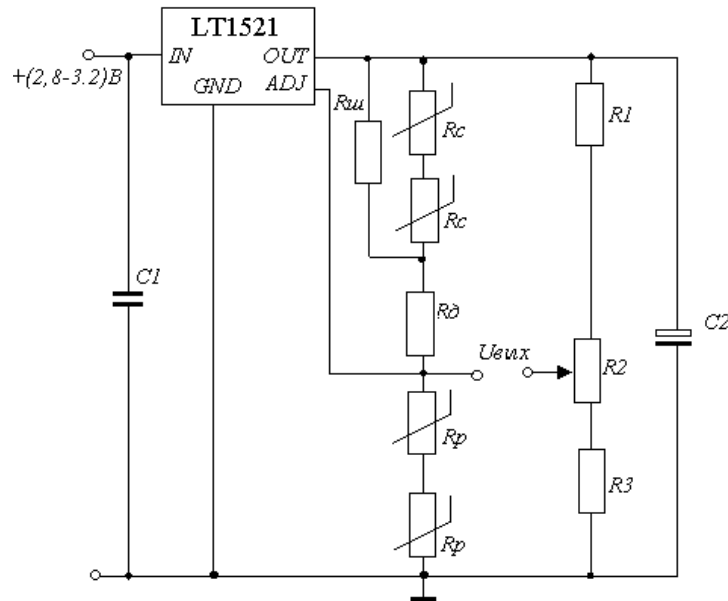


Рисунок 2.19 – Схема включення однокамерного датчика з різними тепловими параметрами елементів при стабільній напрузі на робочих термоелементах

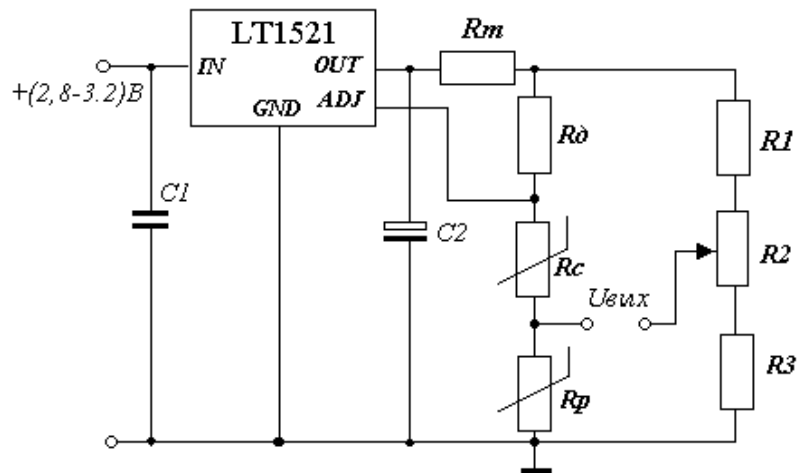


Рисунок 2.20 – Схема включення однокамерного датчика з різними тепловими параметрами елементів при живленні моста стабільним струмом

Висновки

На підставі виконаних у даному розділі досліджень можна зробити наступні висновки:

1. З позиції забезпечення безпеки процесу утилізації метаноповітряних сумішей каптованих дегазаційними системами шахт, при контролі вибухонебезпечності сумішей термокондуктометричними газоаналізаторами погрішність виміру вмісту метану, що обумовлена зміною вологовмісту суміші, може не враховуватися.

2. Термокондуктометричні датчики метану, які працюють при температурі чутливих елементів до 120 °С, мають більшу погрішність виміру від вуглекислого газу. Підвищення температури чутливих елементів датчика приводить до зниження величини цієї погрішності, однак з метою запобігання окислювання горючих газів на термоелементах їхня температура повинна бути більше 300 °С. З урахуванням цього температуру чутливих елементів термокондуктометричного датчика доцільно прийняти в діапазоні 210-250 °С.

3. Наявність вуглекислого газу в сумішах веде до збільшення резерву безпеки, передбаченого нормативними документами, що небажано при використанні каптованих газових сумішей як паливо, оскільки це веде до збільшення об'ємів змушеного скидання некондиційних сумішей через свічі в атмосферу й погіршенню економічних показників роботи устаткування. Тому для зниження втрат при контролі вибухонебезпечності газових сумішей у дегазаційних системах доцільно здійснювати контроль об'ємної частки вуглекислого газу в сумішах використовуваних в енергетичних цілях і робити коректування показань аналізаторів метану залежно від вмісту CO_2 в суміші, що утилізується.

5. Застосування для виміру високих концентрацій метану однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів дозволяє спростити конструкцію датчика аналізатора, виключити тривалі перехідні процеси, що виникають при зміні температури газової суміші, виключає недоліки двокамерних аналізаторів, пов'язані з порушеннями герметичності порівняльної камери. Для забезпечення стабільності

нуля вимірювального моста при зміні температури навколишнього середовища при конструюванні датчиків аналізаторів необхідно вибирати платинові термоелементи з однаковими початковими опорами й режим живлення моста стабільним струмом.

6. При застосуванні однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів і живленні вимірювального моста від джерела стабільної напруги рівність початкових опорів елементів не забезпечує температурну стабільність нуля. При коливаннях температури середовища величина зміни опору менш нагрітого порівняльного елемента в цьому випадку більше чим у робочого. Стабільність нуля моста в цьому випадку забезпечується шляхом включення паралельно порівняльному термоелементу шунтового резистора з наступним підбором його величини.

7. В однокамерному термокондуктометричному датчику, у випадку використання порівняльного елемента як датчик температури корпусу вимірювальної камери й введення в схему аналізатора нагрівального елемента й стабілізації температури поверхні вимірювальної камери та робочого термоелемента, забезпечується однозначний зв'язок між концентрацією метану й збільшенням струму через робочий термоелемент.

8. Запропонована схема вимірювального моста з однокамерним термокондуктометричним датчиком при живленні від джерела стабільної напруги забезпечує високу температурну стабільність моста при достатній його чутливості до метану, що дозволяє рекомендувати її в конструкціях аналізаторів метану для дегазаційних трубопроводів. Застосування такої схеми включення дозволяє на основі однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів створити аналізатори метану, позбавлені недоліків аналізаторів, що випускають, із двокамерними датчиками з ізольованим порівняльним елементом.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА НДС РАМНОГО КРІПЛЕННЯ ЗІ ЗРОСТАННЯМ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ, ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОКОНДУКТОМЕТРИЧНИХ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ З ІЗОЛЬОВАНИМ ПОРІВНЯЛЬНИМ ТЕРМОЕЛЕМЕНТОМ

3.1 Аналіз напруженого стану рамного кріплення

Аналіз зв'язку приведених напружень σ у рамному кріпленні із глибиною розташування виробки H виконаний для найбільш «різнополюсних» варіантів розподілу міцнісних $\sigma_i^{K,I}$ і деформаційних $E_i^{K,I}$ характеристик прилеглих породних шарів.

При знижених міцнісних і деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів зв'язок σ і H має наступні характеристики (рис. 3.1 і [7]):

– максимуми σ в рамі стабільно розташовуються на прямолінійних ділянках її стояків незалежно від параметра H , що пояснюється дією підвищених згинальних моментів саме на цих ділянках через інтенсивні зсуви приконтурних порід у боках і підшві виробки, характерного для слабкого шаруватого масиву;

– найбільш навантаженими ділянками є стояки рами, які із пружного стану при $H = 200$ м переходять в основному в пластичний ($H = 400$ м) за вищенаведеними причинами;

– у міру збільшення глибини розташування виробки відносно розвантажене ($\sigma = (0,48...0,63)\sigma_T$) склепіння рами ($H = 200$ м) переходить у пластичний або близький до нього стан ($\sigma = (0,93...1)\sigma_T$), а матеріал замка склепіння при $H = 600$ м переходить площадку текучості σ_T й перебуває на ділянці зміцнення сталі Ст.5; це обумовлено надзвичайно інтенсивними зсувами прилеглих породних шарів, що перебувають у позамежовій стадії деформування.

Таким чином, з ростом глибини розміщення виробки рамне кріплення переходить у граничний стан з утворенням цілого ряду пластичних шарнірів по його контуру, які, з одного боку, надають рамі «підвищену піддатливість» у

найбільш навантажених перерізах, а, з іншого боку, сприяють деформуванню рами, що виключає можливість експлуатації виробки.

Підвищені деформаційні характеристики всіх прилеглих породних шарів при їх знижених міцнісних властивостях не змінюють відзначені вище закономірності зв'язку σ й H (рис. 3.2 і [8]). Відмінність полягає в зниженні (до 53%) напруженнях σ тільки на стадії пружного деформування рами ($H = 200$ м). Зі збільшенням H вплив деформаційних характеристик прилеглих породних шарів значно слабшає у зв'язку з їхнім переходом у граничний і позамежний стани.

Підвищені міцнісні характеристики прилеглих породних шарів в основному не змінюють тенденцій зв'язку σ й H (рис. 3.3 і [7]; рис. 3.4 і [8]), встановлені для варіантів знижених міцнісних характеристик. Однак є й деякі особливості:

- по-перше, при $H = 200$ м рама перебуває у більш навантаженому (хоча й пружному) стані як у склепінні, так і в стояках, що можна пояснити наявністю тільки локальних областей граничного стану в приконтурних породах і із цієї причини менш рівномірним навантаженням рами (по її контуру) від масиву, деформуючого масиву;

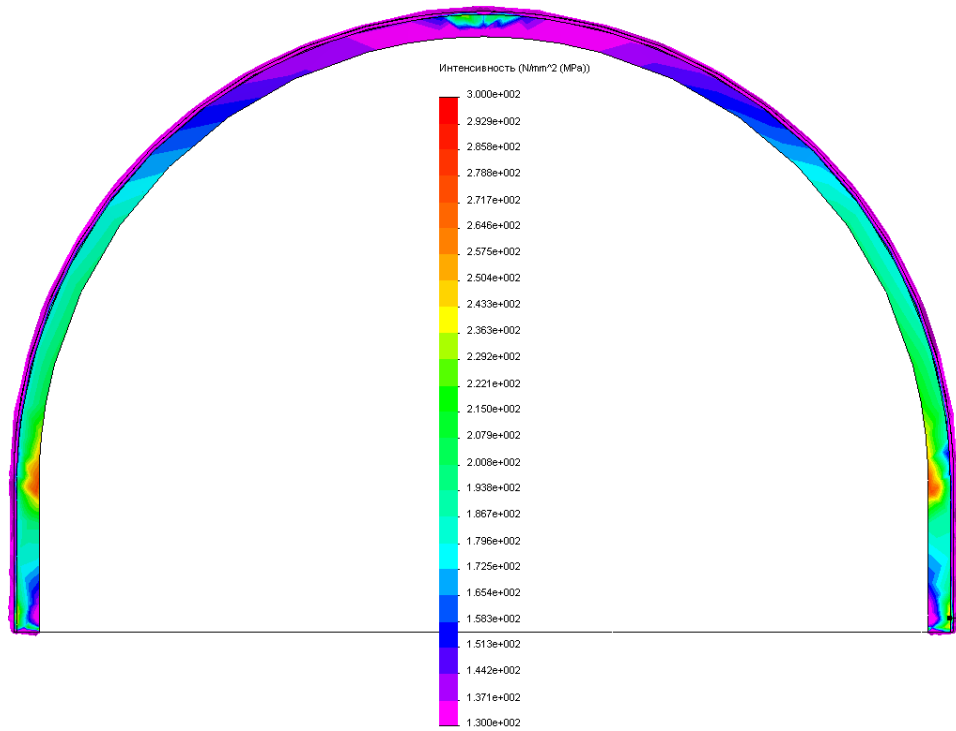
- при $H = 400$ м більша частина склепіння рами ще перебуває в пружному стані через вплив зони розвантаження в породах покрівлі, що перебувають на стадії домежового деформування;

- з цієї ж причини навіть на глибині 600 м у районі замка склепіння рами ще є область пружного напруженого стану її матеріалу;

- підвищені деформаційні характеристики прилеглих породних шарів ще більш обмежують зсуви породного контуру виробки, у результаті чого напруження σ в рамі знижуються на 29-55% і навіть при $H = 600$ м більша частина склепіння рами перебуває в пружному стані.

Інші варіанти розподілу міцнісних і деформаційних характеристик по прилеглих породних шарах підтверджують виявлені тенденції зв'язку параметрів σ і H .

а)



б)

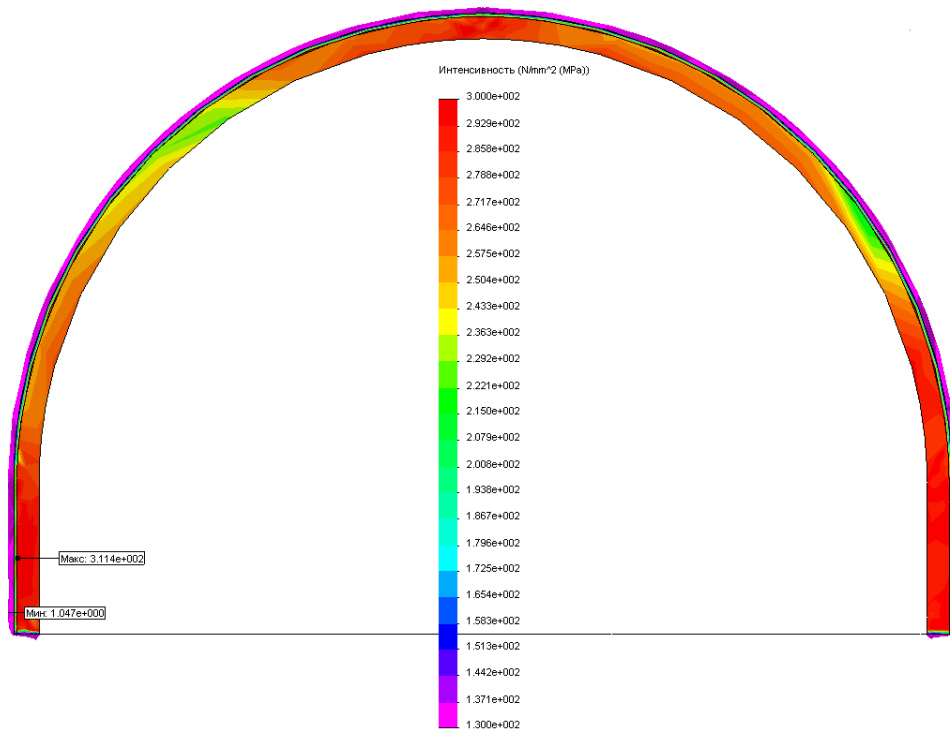


Рисунок 3.1 – Епюри приведених напружень σ у рамному кріпленні при знижених міцнісних $\sigma_i^{K,I} = 5$ МПа і деформаційних $E_i^{K,I} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа характеристиках усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

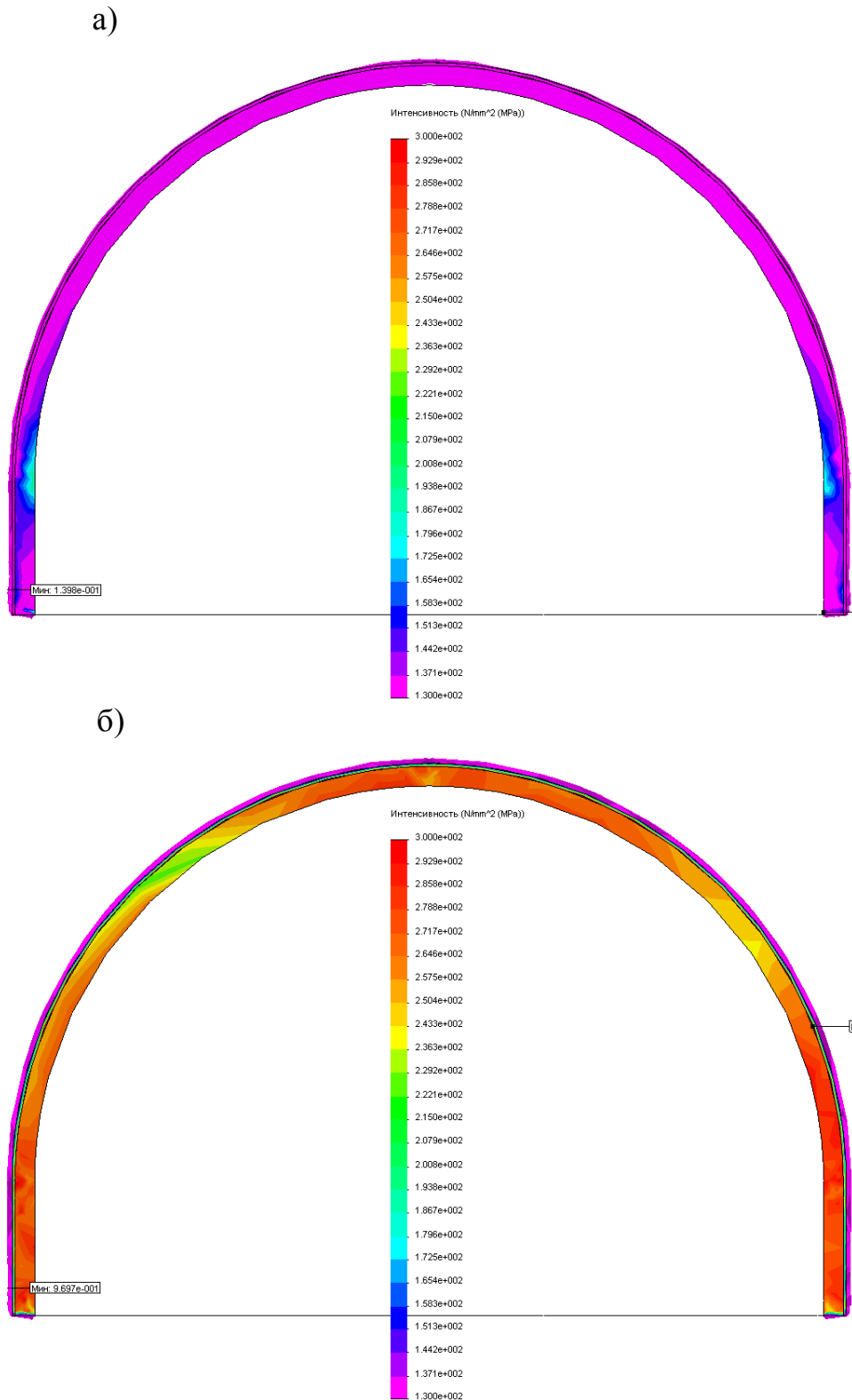
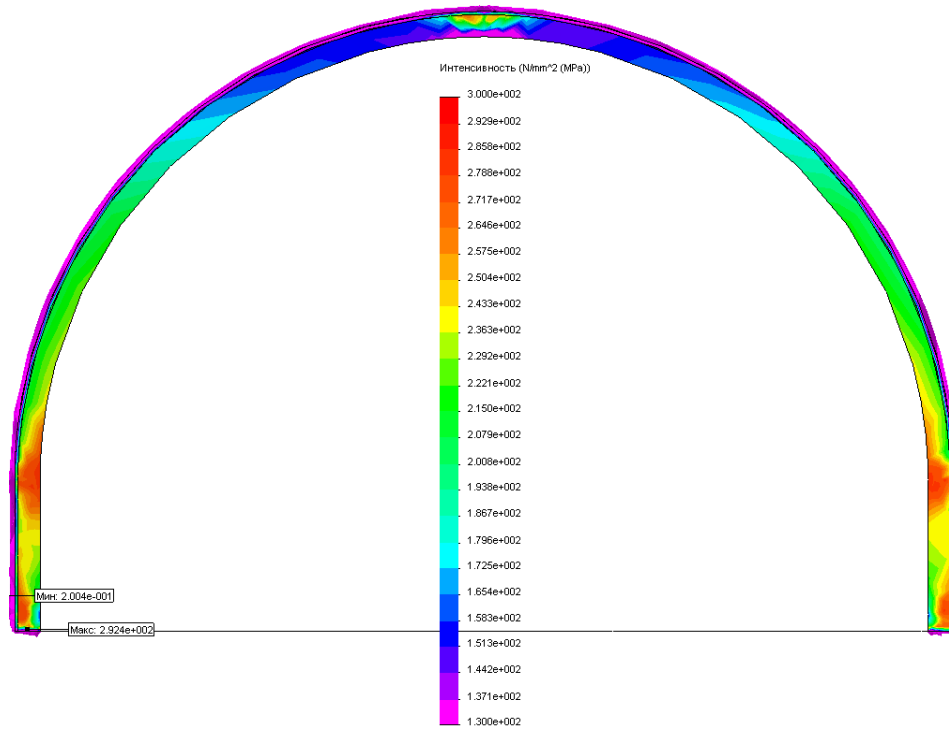


Рисунок 3.2 – Епюри приведених напружень σ у рамному кріпленні при знижених $\sigma_{\text{ісe}}^{K,i} = 5$ МПа міцнісних і підвищених $E_i^{K,i} = 1 \cdot 10^4$ МПа деформаційних характеристиках усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

а)



б)

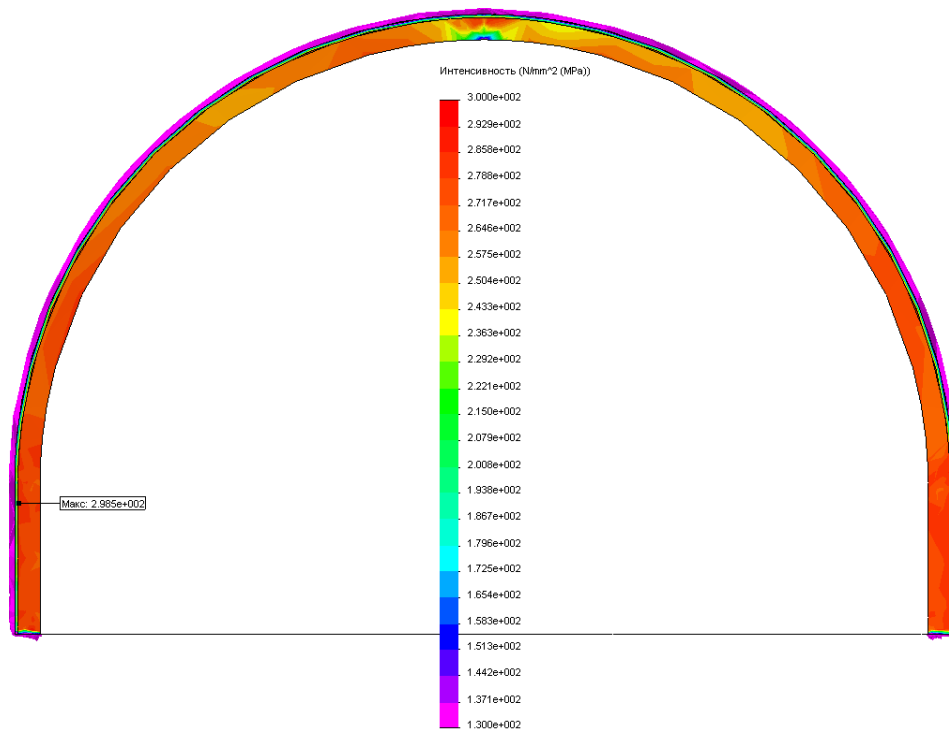


Рисунок 3.3 – Епюри приведених напружень σ у рамному кріпленні

при підвищених $\sigma_{\text{ісе } i}^{K, I} = 20 \text{ МПа}$ міцнісних і знижених

$E_i^{K, I} = 0,3 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ деформаційних характеристиках усіх

прилеглих породних шарів : а – $H = 200 \text{ м}$; б – $H = 600 \text{ м}$

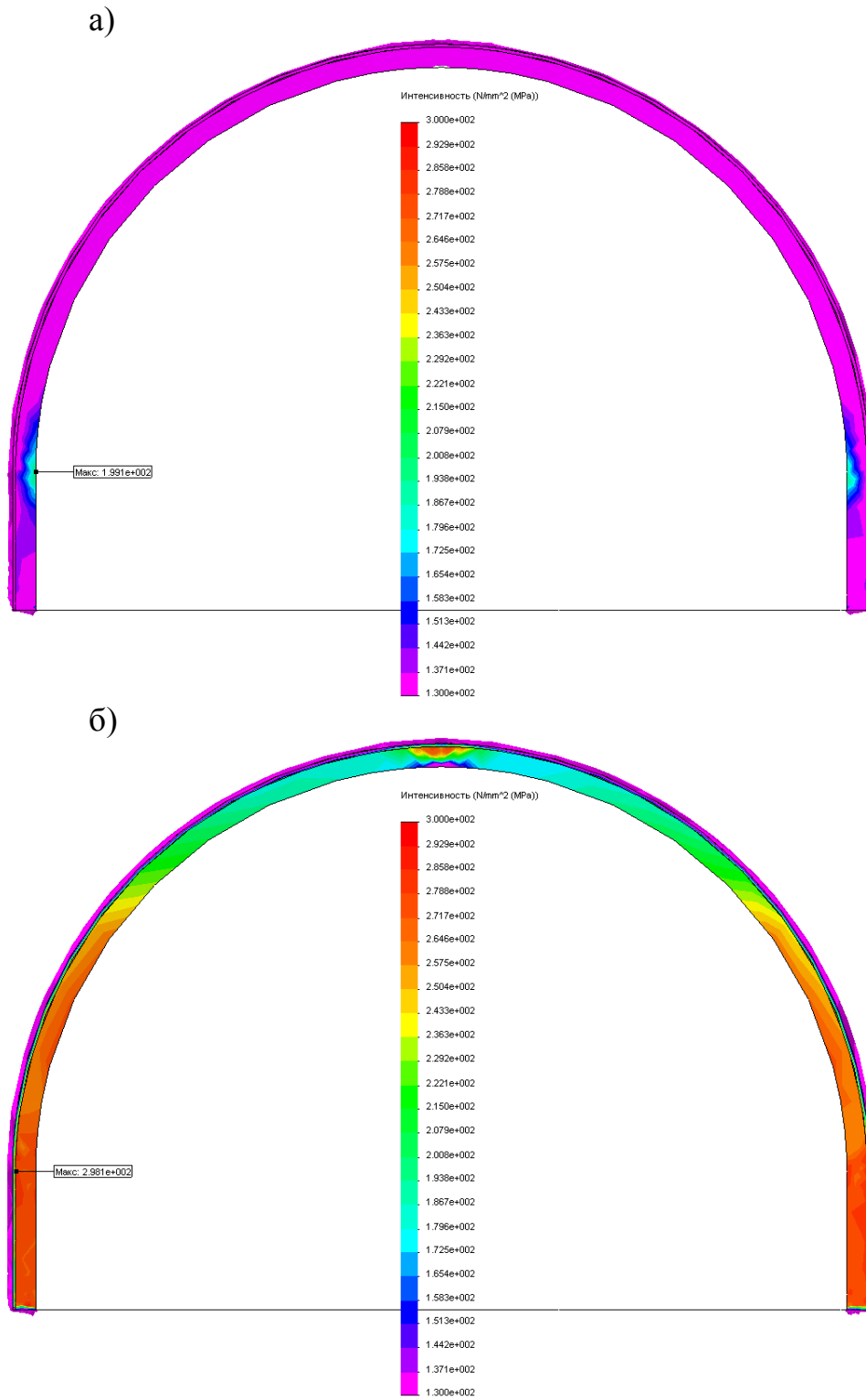


Рисунок 3.3 – Епюри приведених напружень σ у рамному кріпленні

при підвищених міцнісних $\sigma_{\tilde{n}ce_i}^{K,I} = 20$ МПа

і деформаційних $E_i^{K,I} = 1 \cdot 10^4$ МПа характеристиках

усіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м;

б – $H = 600$ м

Таким чином, на НДС рамного кріплення впливають як міцнісні, так і деформаційні характеристики прилеглих породних шарів. Тому для обґрунтованого вибору рамного кріплення пластової виробки необхідно встановити рівняння зв'язку σ з основними, впливними геомеханічними параметрами.

Максимум приведених напружень у рамному кріпленні визначається:

$$\sigma_{max} = \sigma_1 - \sigma_3;$$

$$\sigma_{max} = 24,6 - 18,6 \cdot 10^{-4} (0,8E_1^I + 0,2E_1^K) +$$

$$+ [0,59 - 0,37 \cdot 10^{-4} (0,45E_1^I + 0,45E_1^K + 0,1E_2^K)] H, \text{ МПа.}$$

Тут $E_i^{K,I}$ підставляється в МПа; H – у метрах.

3.2 Вибір режиму живлення термокондуктометричних датчиків для контролю метану в трубопроводах

Для вимірів вмісту метану в дегазаційних трубопроводах можуть бути використані як відомі, так і нові схеми датчиків, що працюють на принципі зміни теплопровідності чутливих елементів залежно від концентрації метану.

Відомі вітчизняні, так і закордонні кондуктометричні аналізатори метану мають дві камери з ідентичними термоелементами – робочу й порівняльну. У робочу камеру за рахунок вільної або примусової конвекції надходить аналізована газова суміш, а порівняльна камера виконується герметичною й заповнюється еталонним газом. Таким чином, порівняльний елемент є ізольованим. Тому логічно спочатку проаналізувати можливість застосування в трубопроводах традиційних кондуктометричних датчиків з ізольованим порівняльним елементом. Після цього аналізувати і досліджувати датчики з неізольованими елементами, які, як буде показано, дозволяють виключити ряд недоліків, властивих датчикам з ізольованим порівняльним елементом.

Як відомо, при експлуатації аналізаторів з ізольованим порівняльним елементом виникають труднощі герметизації порівняльної камери, що приводить до зсуву нуля вимірювального моста. Тому потрібен детальний аналіз роботи таких

аналізаторів й їх мостових вимірювальних схем. Це дозволить вирішити питання про подальше застосування таких датчиків в аналізаторах метану, призначених для дегазаційних трубопроводів. Очевидно, що вибір режимів їхньої роботи повинен відповідати вимогам та забезпечити працездатність аналізаторів.

В існуючих термокондуктометричних аналізаторах метану мостові вимірювальні схеми з термокондуктометричними датчиками звичайно живлять стабільною напругою (рис. 3.4, а).

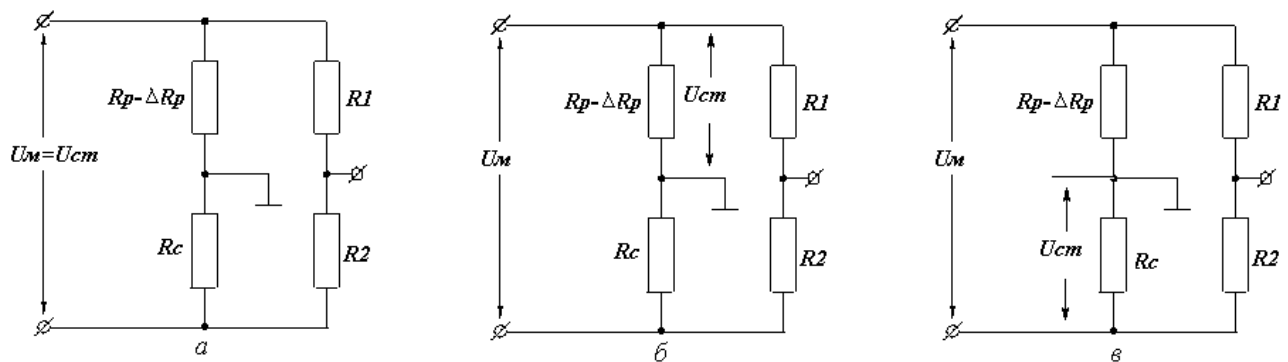


Рисунок 3.4 – Схеми живлення невірноважених мостів

Виконаний нами аналіз режимів роботи мостових вимірювальних схем в аналізаторах метану показує, що можливі й інші схеми живлення, у тому числі зі стабілізацією напруги на одному з термоелементів датчика й з живленням моста від джерела стабільного струму, які мають певні переваги в порівнянні із традиційною схемою включення з точки зору чутливості й лінійності вимірювального моста. Донині аналіз роботи цих схем виконувався без урахування особливостей роботи самих термокондуктометричних датчиків у багатокомпонентних газових сумішах, що не дозволяє зробити однозначний вибір найбільш доцільної схеми включення. Тому необхідно обґрунтувати доцільні схеми включення термокондуктометричних датчиків метану в мостових вимірювальних схемах з урахуванням особливостей їх роботи в багатокомпонентних газових сумішах, які певною мірою характерні й для дегазаційних трубопроводів.

Рівняння вихідного сигналу вимірювального моста з термокаталітичним датчиком при живленні його від джерела стабільної напруги, отримане в [57], має вигляд

$$U_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}^{\dot{a}} = \frac{U_i \cdot R_1 \cdot \Delta R_{\dot{a}}}{(R_1 + R_2) \cdot (R_{\dot{a}} + \Delta R_{\dot{a}} + R_{\dot{n}})}, \quad (3.1)$$

де U_i і $U_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}$ – напруга живлення й вихідне моста відповідно; R_a і R_c – опір активного й порівняльного елементів терموкаталітичного датчика відповідно; ΔR_a – збільшення опору активного елемента терموкаталітичного датчика за рахунок каталітичної реакції на ньому.

Виходячи з виразу (3.1), при живленні вимірювального моста від джерела стабільної напруги (рис. 3.4, а), з урахуванням того, що він виконаний рівноплечим, тобто в повітрі $R_p = R_c$, а $R_1 = R_2$, вихідна напруга моста пов'язана зі зміною опору робочого елемента ΔR залежністю

$$U_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}^{\dot{a}} = \frac{U_i \cdot \Delta R_{\delta}}{2(2R_{\dot{n}} - \Delta R_{\delta})}. \quad (3.2)$$

При стабілізації напруги на робочому або порівняльному елементі термокондуктометричного датчика (відповідно рис. 3.4, б і 3.4, в) ця залежність приймає вигляд

$$U_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}^{\dot{a}} = \frac{U_i \cdot \Delta R_{\delta}}{4(R_{\dot{n}} - \Delta R_{\delta})}, \quad (3.3)$$

$$U_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}^{\dot{a}} = \frac{U_i \cdot \Delta R_{\delta}}{4R_{\dot{n}}}. \quad (3.4)$$

Вираз (3.4) справедливий також і при живленні моста з термокондуктометричним датчиком від стабілізованого джерела струму $I = const$.

Відносний ступінь нелінійності вихідної характеристики моста, розрахований для різних варіантів живлення моста, становить

$$D_a = \frac{1}{2} \frac{\Delta R_{\delta}}{R_{\dot{n}}}; D_{\dot{a}} = \frac{\Delta R_{\delta}}{R_{\dot{n}}}. \quad (3.5)$$

Для визначення величини R_{δ} й ΔR скористаємося залежністю величини опору терморезистора кулястої форми, розташованого в центрі кулястої вимі-

рювальної камери від газової суміші (3.6) [27, 28]

$$R_{\dot{a}} = \frac{4\pi\lambda_{\dot{n}\dot{o}i}}{I_{\dot{a}}^2(1/r_{\dot{a}} - 1/r_{\dot{e}})}(t_{\dot{a}} - t_{\dot{e}}), \quad (3.6)$$

де $\lambda_{\dot{n}\dot{o}i}$ – теплопровідність газової суміші, обчислена для газового прошарку при середній температурі $t_m = (t_{\dot{a}} + t_{\dot{e}})/2$, Вт/(м·°С).

При цьому температуру платинового термоелемента будемо розраховувати за виразом

$$t_{\dot{a}} = \left(\frac{R_{\dot{a}}}{R_0} - 1 \right) \frac{1}{\beta}. \quad (3.7)$$

У цей вираз вводять теплопровідність газової суміші при середній температурі в камері, що є функцією температури елемента. У свою чергу значення температури елемента пов'язане з його опором.

Прийнявши температуру стінок камери рівній температурі аналізованої газової суміші $t_e = t_{\dot{a}}$, з урахуванням виразів (3.6) і (3.7), визначимо опір порівняльного й робочого термоелементів, які перебувають в камерах, заповнених відповідно повітрям і газовою сумішшю

$$R_{\dot{n}} = \frac{b\lambda_{\dot{a}}R_{\dot{a}}}{b\lambda_{\dot{a}} - R_0\beta}, \quad (3.8)$$

$$R_{\dot{\delta}} = \frac{b\lambda_{\dot{n}\dot{o}i}R_{\dot{a}}}{b\lambda_{\dot{n}\dot{o}i} - R_0\beta}, \quad (3.9)$$

де $b = \frac{4\pi}{I_e^2(1/r_e - 1/r_{\dot{e}})}$; $\lambda_{\dot{a}}$ – теплопровідність повітря при середній температурі, Вт/(м·°С); $R_{\dot{a}} = R_0(1 + \beta t_{\dot{a}})$ – опір термоелемента при температурі газу, Ом.

Величину $\Delta R_{\dot{\delta}}$ визначимо як різницю виразів (3.8) і (3.9)

$$\Delta R_{\dot{\delta}} = \frac{b\lambda_{\dot{a}}R_{\dot{a}}}{b\lambda_{\dot{a}} - R_0\beta} - \frac{b\lambda_{\dot{n}\dot{o}i}R_{\dot{a}}}{b\lambda_{\dot{n}\dot{o}i} - R_0\beta} = \frac{bR_{\dot{a}}R_0\beta(\lambda_{\dot{n}\dot{o}i} - \lambda_{\dot{a}})}{(b\lambda_{\dot{a}} - R_0\beta)(b\lambda_{\dot{n}\dot{o}i} - R_0\beta)}. \quad (3.10)$$

При практичних розрахунках можна прийняти, що теплопровідність суміші неполярних газів володіє адитивними властивостями й однозначно залежить

від концентрації газових компонентів [29]. У такому випадку теплопровідність бінарної метаноповітряної суміші можна визначити, виходячи із залежності

$$\lambda_{\tilde{n}oi} = \tilde{N}\lambda_i + (1 - \tilde{N})\lambda_{\tilde{a}}, \quad (3.11)$$

де C – вміст метану в газовій суміші в частках одиниці.

З урахуванням виразів (3.8)-(3.11) вихідна напруга моста при різних схемах живлення складе

$$U_{\tilde{a}\tilde{e}\tilde{o}}^{\tilde{a}} = \frac{U_i}{4} \frac{\tilde{N}R_0\beta(\lambda_i - \lambda_{\tilde{a}})}{\lambda_{\tilde{a}}(b\lambda_{\tilde{a}} - R_0\beta) + \tilde{N}(\lambda_i - \lambda_{\tilde{a}})(b\lambda_{\tilde{a}} - 0,5R_0\beta)}, \quad (3.12)$$

$$U_{\tilde{a}\tilde{e}\tilde{o}}^{\tilde{a}} = \frac{U_i}{4} \frac{\tilde{N}R_0\beta(\lambda_i - \lambda_{\tilde{a}})}{\lambda_{\tilde{a}}(b\lambda_{\tilde{a}} - R_0\beta) + \tilde{N}(\lambda_i - \lambda_{\tilde{a}})(b\lambda_{\tilde{a}} - R_0\beta)}, \quad (3.13)$$

$$U_{\tilde{a}\tilde{e}\tilde{o}}^{\tilde{a}} = \frac{U_i}{4} \frac{\tilde{N}R_0\beta(\lambda_i - \lambda_{\tilde{a}})}{\lambda_{\tilde{a}}(b\lambda_{\tilde{a}} - R_0\beta) + \tilde{N}b\lambda_{\tilde{a}}(\lambda_i - \lambda_{\tilde{a}})}. \quad (3.14)$$

З отриманих виразів видно, що жодна з розглянутих схем живлення не забезпечує лінійної залежності вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану в газовій суміші. Однак ступінь нелінійності й чутливість мостових вимірювальних схем істотно відрізняються. Для більшої наочності нижче наведені вирази, що описують залежність вихідної напруги моста від концентрації метану, розраховані для конкретного термокондуктометричного датчика, включеного в мостову вимірювальну схему при значенні $U_i = 1,1\text{У}$; $I_{\tilde{a}} = 0,1\text{ А}$; $R_0 = 3\text{ Ом}$; $r_{\tilde{a}} = 0,6 \cdot 10^{-3}\text{ Ом}$; $r_{\tilde{e}} = 5 \cdot 10^{-3}\text{ Ом}$; $t_{\tilde{a}} = 20\text{ }^\circ\text{С}$:

$$U_{\tilde{a}\tilde{e}\tilde{o}}^{\tilde{a}} = 0,425 \frac{\tilde{N}}{4,98 + 2,795\tilde{N}}, \quad (3.15)$$

$$U_{\tilde{a}\tilde{e}\tilde{o}}^{\tilde{a}} = 0,425 \frac{\tilde{N}}{4,98 + 2,015\tilde{N}}, \quad (3.16)$$

$$U_{\tilde{a}\tilde{e}\tilde{o}}^{\tilde{a}} = 0,425 \frac{\tilde{N}}{4,98 + 3,580\tilde{N}} \quad (3.17)$$

На рис. 3.5 наведені залежності вихідного сигналу вимірювального моста від об'ємної частки метану в газовій суміші побудовані виходячи з виразів (3.15)-(3.17).

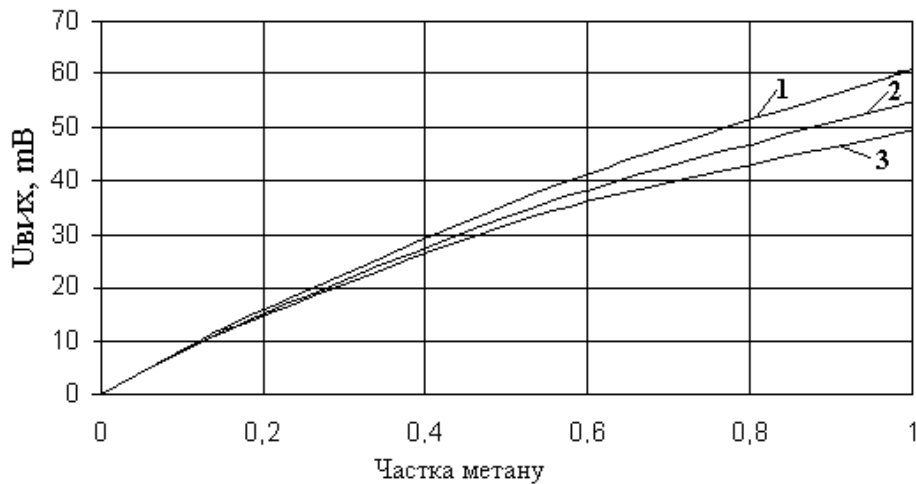


Рисунок 3.5 – Залежності вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану в газовій суміші

Нижня крива 3, що отримана за виразом (3.17), відповідає схемі включення зі стабілізацією напруги на порівняльному елементі або живленні вимірювального моста від джерела стабільного струму. Незважаючи на те, що ці схеми живлення забезпечують лінійність моста щодо зміни величини опору робочого термоелемента ΔR_{δ} , для них характерна найбільша нелінійність залежності вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану, що обумовлено нелінійним характером залежності величини ΔR_{δ} від концентрації метану. Крім того, такі схеми включення характеризуються й меншою чутливістю в порівнянні з іншими дослідженими схемами включення.

Середня крива 2, що отримана за виразом (3.15), відповідає традиційній схемі включення зі стабілізацією напруги на вимірювальному мосту. Для неї характерна трохи менша нелінійність і вище чутливість у порівнянні з попередньою.

Верхня крива 1, що отримана за виразом (3.16), відповідає схемі включення зі стабілізацією напруги на робочому елементі. Незважаючи на те, що відповідно до виразу (3.33) для такої схеми включення характерна найбільша нелінійність моста щодо зміни величини опору робочого термоелемента ΔR_{δ} , вона забезпечує меншу нелінійність залежності вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану й більше високу чутливість у порівнянні із

традиційною схемою включення.

Чисельний аналіз отриманих залежностей показує, що без вживання заходів по лінеаризації шкали в термокондуктометричних аналізаторах метану у випадку застосування схеми зі стабілізацією напруги на робочому елементі наведена погрішність виміру в середній частині діапазону виміру доходить до 8%, що істотно нижче, ніж при традиційній схемі включення. Однак для забезпечення необхідних метрологічних характеристик аналізаторів метану, і в цьому випадку необхідно здійснювати лінеаризацію вихідного сигналу вимірювального моста.

При всіх розглянутих режимах його живлення нелінійна залежність вихідного сигналу моста від концентрації метану з фізичної точки зору погоджується тим, що у всіх випадках, у тому числі й при стабілізації напруги на робочому елементі, з ростом концентрації метану відбувається зниження температури робочого елемента, а це, у свою чергу, призводить до зниження чутливості датчика. Відношення зміни опору робочого елемента до зміни концентрації метану

$\frac{dR_\delta}{dC} = const$ з ростом вмісту метану в газовій суміші при цьому зменшується.

Забезпечити постійну чутливість датчика можна при стабілізації температури робочого елемента, що можливо шляхом підтримки постійного значення величини опору робочого термоелемента

$$R_\delta = \frac{U_p}{I_y} = const. \quad (3.18)$$

Такий режим роботи вимірювального моста (рис 3.6) може бути досить просто реалізований при застосуванні сучасної мікропроцесорної техніки.

Рівняння вихідного сигналу вимірювального моста з термокондуктометричним датчиком при стабілізації температури робочого елемента має вигляд

$$U_{\text{âëð}}^c = \frac{U_i^{\tilde{n}} \cdot R_1 \cdot \Delta R_c}{(R_1 + R_2) \cdot (R_p + R_c + \Delta R_{\tilde{n}})}. \quad (3.19)$$

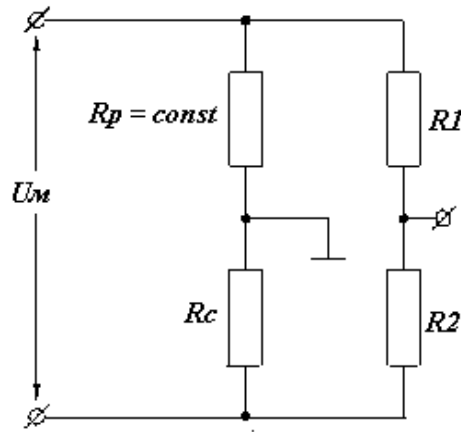


Рисунок 3.6 – Схема живлення неврівноваженого моста при стабілізації температури робочого елемента

При нульовій концентрації метану для симетричного моста в момент рівноваги моста напруга на елементах датчика дорівнює $0,5U_i$. У такому випадку напруга живлення моста при стабілізації температури робочого елемента й росту концентрації метану зростає в порівнянні з моментом рівноваги моста

$$U_i^c = \frac{U_i \cdot (R_\delta + \Delta R_c + R_{\bar{n}})}{2R_p} \quad (3.20)$$

Рівняння вихідного сигналу для даного варіанта, отримане шляхом підстановки (3.20) у рівняння (3.19), має вигляд:

$$U_{\hat{a}\hat{\delta}\hat{\delta}}^c = \frac{U_i \cdot R_1 \cdot \Delta R_c}{2 \cdot R_\delta \cdot (R_1 + R_2)} \quad (3.21)$$

За умови симетрії моста маємо

$$U_{\hat{a}\hat{\delta}\hat{\delta}}^c = \frac{U_i \cdot \Delta R_c}{4 \cdot R_\delta} \quad (3.22)$$

У даному виразі величина $R_\delta = const$, а величина ΔR_c буде визначатися, як різниця опору порівняльного елемента й у повітрі

$$\Delta R_c = R_c - R_{c0}, \quad (3.23)$$

де R_{c0} - опір порівняльного елемента при знаходженні робочого елемента в повітрі.

Для визначення опору порівняльного елемента скористаємося залежностями (3.6) і (3.7). За аналогією з (3.8) і (3.9) при знаходженні робочого елемента в суміші газів й у цьому випадку маємо

$$R_{\tilde{n}} = \frac{b\lambda_{\tilde{a}}R_{\tilde{a}}}{b\lambda_{\tilde{a}} - R_0\beta}. \quad (3.24)$$

$$R_p = \frac{b\lambda_{cm}R_z}{b\lambda_{cm} - R_0\beta}, \quad (3.25)$$

Для визначення опору порівняльного елемента при знаходженні робочого елемента в повітрі з (3.25) обчислимо значення величини b

$$b = \frac{R_p R_0 \beta}{\lambda_{\tilde{n}i} (R_p - R_{\tilde{a}})}, \quad (3.26)$$

У даному виразі при постійній температурі й прийнятому режимі роботи газу $R_{\tilde{a}}, R_0, R_{\tilde{a}}$ є постійними величинами. У такому випадку представимо (3.26) у вигляді

$$b = \frac{a}{\lambda_{\tilde{n}i}}, \quad (3.27)$$

де

$$a = \frac{R_p R_0 \beta}{R_p - R_{\tilde{a}}}. \quad (3.28)$$

З урахуванням (3.27) опір порівняльного елемента при знаходженні робочого елемента в повітрі й у суміші газів рівні

$$R_{\tilde{n}0} = \frac{aR_{\tilde{a}}}{a - R_0\beta}. \quad (3.29)$$

$$R_{\tilde{n}} = \frac{a\lambda_{\tilde{a}}R_{\tilde{a}}}{a\lambda_{\tilde{a}} - R_0\beta\lambda_{\tilde{n}i}}. \quad (3.30)$$

Підставивши отримані значення опорів в (3.23) маємо

$$\Delta R_c = \frac{aR_{\tilde{a}}R_0\beta(\lambda_{\tilde{n}i} - \lambda_{\tilde{a}})}{(a\lambda_{\tilde{a}} - R_0\beta\lambda_{\tilde{n}i})(\tilde{a} - R_0\beta)}. \quad (3.31)$$

Замінивши в (3.31) $\lambda_{\tilde{n}i}$ його значенням з виразу (3.11) і підставивши

отриманий вираз в (3.22) одержимо

$$U_{\dot{a}\ddot{\delta}}^c = \frac{U_i}{4 \cdot R_{\delta}(\dot{a} - R_0\beta)} \cdot \frac{aR_aR_0\beta C(\lambda_i - \lambda_{\dot{a}})}{a\lambda_{\dot{a}} - R_0\beta C(\lambda_i - \lambda_{\dot{a}})}. \quad (3.22)$$

Зіставлення отриманого виразу (3.32) з виразами (3.12)-(3.14) показує на те, що характер залежності вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану в газовій суміші при стабілізації температури робочого елемента міняється. Вирази, що описують залежність вихідної напруги моста від концентрації метану розраховані, як й у попередньому випадку, для конкретного термокондуктометричного датчика, включеного в мостову вимірювальну схему при тих же значеннях параметрів живлення, елементів і газового середовища має вигляд

$$U_{\dot{a}\ddot{\delta}}^c = 0,425 \frac{\tilde{N}}{4,98 - 1,106\tilde{N}}, \quad (3.33)$$

Зіставлення виразу (3.23) з виразами (3.15)-(3.17) показує на істотно менший ступінь нелінійності й інший характер залежності, оскільки з ростом концентрації метану знаменник у виразі (3.33) зменшується, а, отже, чутливість зростає (рис. 3.7).

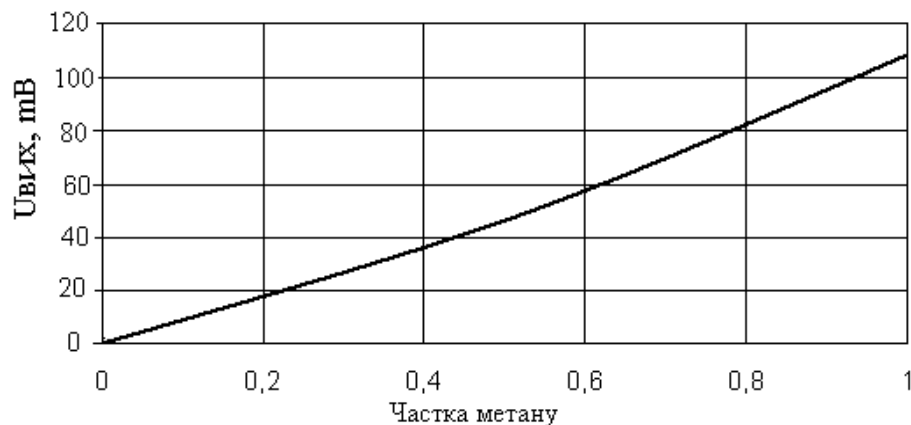


Рисунок 3.7 – Залежність вихідного сигналу вимірювального моста від вмісту метану в суміші при стабілізації температури робочого елемента

Чисельний аналіз залежності (3.33) показує, що без вживання заходів по лінеаризації шкали при застосуванні схеми зі стабілізацією опору робочого елемента погрішність виміру в середній частині діапазону виміру доходить до 4%, що істотно нижче, ніж при розглянутих раніше схемах включення. Крім того, у цьому випадку вихідна напруга моста при рівних концентраціях метану практично у два рази більше, ніж при застосуванні раніше розглянутих варіантів живлення. Все це дозволяє зробити вивід про істотну перевагу режиму роботи вимірювального моста зі стабілізацією опору робочого елемента й рекомендувати її до застосування.

Слід зазначити, що, як при виводі залежностей (3.12)-(3.14), так і залежності (3.32) були зроблені припущення, що теплопровідність суміші неполярних газів володіє адитивними властивостями, а теплопровідність газової суміші, обчислена для газового прошарку при середній температурі газу в камері, приймалася при цьому постійною величиною. У реальних умовах навіть суміші неполярних газів, якими є метан і повітря, такою властивістю не володіють [30]. Для двокомпонентної суміші таких газів автори роботи [31] рекомендують при розрахунках теплопровідності використати формулу Брокау, що має вигляд

$$\lambda'_{\tilde{N}i} = 0,5 \left[\tilde{N}_i \lambda_i + (1 - \tilde{N}_i) \lambda_a + \frac{\lambda_i \lambda_a}{\lambda_a \tilde{N}_i + \lambda_i (1 - \tilde{N}_i)} \right]. \quad (3.34)$$

На рис. 3.5 наведене відношення величин теплопровідностей, розрахованих за виразами (3.11) і (3.34). Відхилення істинної теплопровідності газової суміші від лінійної залежності при об'ємному змісті метану 50% становить близько 1%.

Як видно з рис. 3.5, у середній частині діапазону концентрацій істинна теплопровідність газової суміші практично на 1% більше прийнятої нами при розрахунках. Такий характер залежності призводить до підвищення нелінійності вихідного сигналу моста для раніше розглянутих варіантів живлення й знижує нелінійність при застосуванні схеми зі стабілізацією опору робочого елемента.

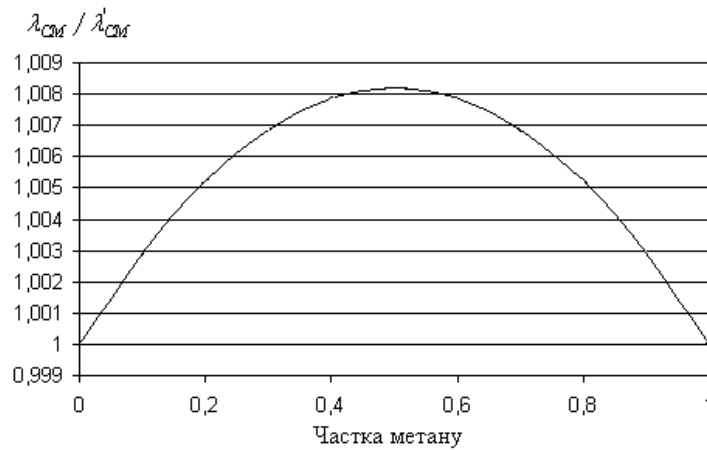


Рисунок 3.8 – Відхилення істинної теплопровідності газової суміші від лінійної залежності для бінарних сумішей

При стабільній температурі робочого елемента у випадку збільшення об'ємної частки метану в газовій суміші температура порівняльного елемента й отже, середня температура повітря в камері з порівняльним елементом зростають. Згідно з виразом (3.35) коефіцієнт теплопровідності газу λ практично не залежить від зміни атмосферного тиску й зростає з підвищенням температури, відповідно до залежності [27]

$$\lambda = \lambda_0 (T / T_0)^n, \quad (3.35)$$

де \dot{O} – температура газу, К; T_0 – температура, рівна 273 К; λ_0 – коефіцієнт теплопровідності газу при температурі 273 К, Вт/м К; n – температурний коефіцієнт зміни теплопровідності (для повітря $n = 0,82$, для метану $n = 1,33$).

Це веде до деякого росту теплопровідності повітря в порівняльній камері. При прийнятих нами режимах роботи термокондуктометричного датчика середня температура повітря в камері з порівняльним елементом у випадку збільшення об'ємної частки метану в газовій суміші від 0 до 100% зростає на 30-40 °С, що призводить до збільшення теплопровідності повітря на 4-6%. У свою чергу, ріст теплопровідності призводить до деякого зниження температури порівняльного елемента та вихідної напруги моста щодо його значення, розрахованого за виразом (3.32), що в нашому випадку знижує нелінійність вихідної напруги моста.

Таким чином, при застосуванні схеми зі стабілізацією опору робочого елемента, обидва фактора, що невраховані нами при розв'язанні виразу (3.32), ведуть до зниження нелінійності вихідної напруги моста, а ступінь впливу цих факторів порівнянна з величиною нелінійності й практично усуває її. Однак для підтвердження висновку щодо лінійності вихідного сигналу й інших переваг даного варіанта живлення моста необхідне проведення його експериментальних досліджень.

3.3 Вплив параметрів газового середовища на температурні режими термоелементів у мостових вимірювальних схемах термокондуктометричних газоаналізаторів

Як відзначалося, мостові вимірювальні схеми як термодаталітичних, так і термокондуктометричних газоаналізаторів найчастіше живляться від джерел стабілізованої напруги. Однак виконаний нами аналіз інших режимів роботи мостових схем, наприклад, живлення стабільним струмом, зі стабілізацією напруги на одному з термоелементів і зі стабілізацією температури робочого елемента, показав, що ці схеми включення мають певні переваги перед традиційними схемами. Так, при живленні вимірювального моста стабільною напругою зміна параметрів газового середовища, наприклад, температури навколишнього середовища, веде до зміни температурних режимів термоелементів, що обумовлює погрішність виміру через неоднозначну температурну залежність теплопровідності повітря й метану [30, 32]. Питання, пов'язані зі зниженням цієї погрішності, дотепер у достатній мірі не вивчені. Тому для остаточного вибору схеми включення датчиків необхідно провести дослідження впливу зміни температури вимірюваного газу на температурні режими роботи термоелементів при різних схемах включення.

Температура термоелемента в загальному випадку залежить від температури навколишнього середовища, геометричних й електричних параметрів елемента, умов теплообміну й величини струму, що протікає через елемент. Теоретична залежність, що описує залежність температури елемента від зазначених

параметрів має вигляд [32, 33]

$$t_e = t_{\tilde{a}} + b_e I_e^2, \quad (3.36)$$

де b_e – терморезистивний коефіцієнт, що визначає взаємозв'язок електричних, теплових і геометричних характеристик елемента.

Як опір термоелемента, так і коефіцієнт тепловіддачі залежать від температури. Для платинових терморезисторів ця залежність має лінійний характер

$$R_e = R_{0e}(1 + \beta t_e). \quad (3.37)$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі елемента являє собою суму коефіцієнтів тепловіддачі елемента за рахунок теплопровідності середовища, конвекції, випромінювання й теплопровідності струмопідвідних кінців. При конструюванні перетворювальних елементів термокондуктометричних датчиків прагнуть до того, щоб всі складові теплообміну, за винятком теплопровідності навколишнього газового середовища можливо менше впливали на температуру елемента. У такому випадку температурна залежність коефіцієнта тепловіддачі пов'язана зі зміною коефіцієнта теплопровідності газів, що зростає з підвищенням температури відповідно до залежності (3.35).

При аналізі теплових процесів нелінійну залежність (3.36) у невеликому діапазоні робочих температур, за аналогією з виразом (3.37), звичайно з достатнім ступенем точності заміняють лінійною

$$\lambda = \lambda_0(1 + \beta_{\tilde{a}} t_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{\delta}\tilde{a}}), \quad (3.38)$$

де $\beta_{\tilde{a}}$ – температурний коефіцієнт теплопровідності газу, $1/^\circ\text{C}$; $t_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{\delta}\tilde{a}}$ – середня температура газу в камері, $^\circ\text{C}$.

Середня температура газу в камері звичайно визначається як

$$t_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{\delta}\tilde{a}} = \frac{t_{\tilde{a}} + t_{\tilde{\delta}}}{2}. \quad (3.39)$$

Терморезистивний коефіцієнт визначає взаємозв'язок електричних, теплових і геометричних характеристик елемента

$$b_a = R_a / \alpha_a F_a, \quad (3.40)$$

де α_a – сумарний коефіцієнт теплопередачі елемента, Вт/(м²·°C); F_a – площа поверхні елемента, м².

Характер залежності терморезистивного коефіцієнта термоелемента від температури визначається співвідношенням температурних коефіцієнтів опору й теплопровідності газу. Теоретично доведено [32] й експериментально підтверджено [33], що в повітрі в діапазоні робочих температур елементів терморезистивний коефіцієнт платинових терморезисторів практично не залежить від їх температури і його можна вважати постійним.

Температурний коефіцієнт теплопровідності метану фактично у два рази більше чим у повітря, що обумовлює істотну залежність терморезистивного коефіцієнта платинових терморезисторів від температури при високих концентраціях метану. Це з однієї сторони спричиняє температурну нестабільність нуля термокондуктометричних газоаналізаторів при зміні состава еталонної газової суміші в порівняльній камері внаслідок порушення її герметичності й натікання метану через мікропори, а з іншого боку – призводить до зміни чутливості аналізатора при зміні температурних режимів роботи термоелементів і появи додаткової погрішності виміру. Для виключення зазначеної погрішності й підвищення температурної стабільності нуля варто вибирати такий режим роботи термоелементів у вимірювальному мосту, при якому забезпечується сталість середньої температури газу в камері.

З огляду на досить простий вид зв'язку між температурою елемента й величиною струму через елемент, проаналізуємо спочатку вплив зміни температури газу на температурний режим термоелементів у випадку живлення моста від джерела стабільного струму $I_i = const$ (рис. 3.9).

Звичайно опір баластових резисторів $R1$ і $R2$ вибирають на два порядки більше опору робочого й порівняльного термоелементів R_p і R_c , а зміна опору робочого елемента в термокондуктометричних аналізаторах метану при змінах температури аналізованого середовища не перевищує 10% від його початкового

значення. Тому при живленні моста від джерела стабільного струму струм через термоелементи можна вважати постійною величиною.

$$\Delta t_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{o}\tilde{a}} = \Delta t_{\tilde{a}}. \quad (3.41)$$

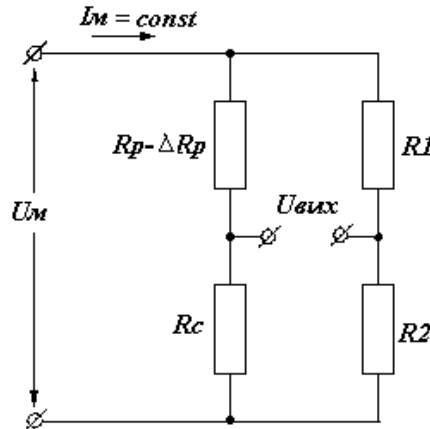


Рисунок 3.9 – Схема живлення моста від джерела стабільного струму

При експлуатації засобів контролю вмісту метану в шахтних умовах можливий діапазон зміни температури газу становить 20 ± 20 °С. У такому випадку, можлива величина зміни середньої температури газу в камері складе $\Delta t_{\tilde{n}\tilde{e}\tilde{o}\tilde{a}} = \pm 20$ °С, що згідно з [30] обумовлює істотну погрішність виміру. Крім того, при живленні моста від джерела постійного струму зміна температури середовища приводить до зміни напруги на мосту, причому при рості температури середовища напруга збільшується, а при зниженні зменшується. Аналогічним образом змінюється й чутливість моста. Таким чином, обоє фактора, що зумовлюють нестабільність чутливості аналізатора при зміні температури газу (теплопровідність середовища й напруга живлення моста), діють співнаправлено, що збільшує погрішність виміру.

Розглянемо випадок живлення моста від джерела стабільної напруги, що найбільш часто зустрічається.

Залежність величини напруги на термоелементі U_a термокаталітичного датчика від величини струму, отримана в [33], має вигляд

$$U_a = I_a R_{0a} (1 + \beta t_a) + \beta b_a R_{0a} I_a^3. \quad (3.42)$$

Представимо рівняння (3.42) у вигляді

$$I_{\dot{a}}^3 + pI_e + g = 0. \quad (3.43)$$

$$\text{де } p = \frac{1 + \beta t_{\dot{a}}}{\beta b_e}; \quad g = -\frac{U_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}}.$$

Визначимо дискримінант рівняння (3.43)

$$\Delta = p^3/27 + g^2/4 = \frac{1}{4} \left(\frac{U_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} \right)^2 + \frac{1}{27} \left(\frac{1 + \beta t_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}}} \right)^3.$$

Оскільки $\Delta > 0$, то рівняння (3.43) має один речовинний і два комплексних корені. Речовинний корінь визначається як

$$I_{\dot{a}} = \sqrt[3]{-g/2 + \sqrt{\Delta}} + \sqrt[3]{-g/2 - \sqrt{\Delta}}. \quad (3.44)$$

Остаточно вираз для визначення струму через термоелемент буде мати вигляд

$$\begin{aligned} I_{\dot{a}} = & \sqrt[3]{\frac{U_{\dot{a}}}{2\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{U_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} \right)^2 + \frac{1}{27} \left(\frac{1 + \beta t_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}}} \right)^3}} + \\ & + \sqrt[3]{\frac{U_{\dot{a}}}{2\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} - \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{U_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} \right)^2 + \frac{1}{27} \left(\frac{1 + \beta t_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}}} \right)^3}}. \end{aligned} \quad (3.45)$$

Підставивши наведену вище залежність значення струму від напруги в рівняння (3.36) одержимо вираз, що дозволяє визначити температуру елемента при зміні температури газу для випадку живлення моста від джерела напруги

$$\begin{aligned} t_{\dot{a}} = & t_{\dot{a}} + b_{\dot{a}} \left(\sqrt[3]{\frac{U_{\dot{a}}}{2\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{U_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} \right)^2 + \frac{1}{27} \left(\frac{1 + \beta t_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}}} \right)^3}} + \right. \\ & \left. + \sqrt[3]{\frac{U_{\dot{a}}}{2\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} - \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{U_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}} R_{0\dot{a}}} \right)^2 + \frac{1}{27} \left(\frac{1 + \beta t_{\dot{a}}}{\beta b_{\dot{a}}} \right)^3}} \right)^2. \end{aligned} \quad (3.46)$$

Цей вираз досить складний для аналізу. Однак він вказує на те, що в цьому випадку температура аналізованого газу менше, ніж у попередньому випадку, впливає на температуру елементів. Причина цього полягає в тому, що при постійній напрузі збільшення опору елемента, внаслідок росту температури середовища, приводить до зниження струму через елемент. З огляду на квадратичну залежність потужності, що виділяється на елементі, від величини струму, це зменшує додаткове нагрівання елемента. При зниженні температури навколишнього середовища опір елемента зменшується, росте струм і збільшується додаткове нагрівання елемента. Тобто в цьому випадку проявляються автостабілізаційні властивості схеми.

Чисельний аналіз виразу (3.46), виконаний шляхом підстановки реальних значень величин, показує, що зміна температури елемента при зміні температури газу приблизно в три рази менше, ніж у попередньому випадку, а зміна середньої температури газу в камері становить

$$\Delta t_{\bar{n}\bar{a}\bar{d}\bar{a}} \approx \frac{2}{3} \Delta t_{\bar{a}}. \quad (3.47)$$

У роботі [32] отримане наближений вираз, що описує зміну температури елемента при зміні температури газу й живлячої напруги:

$$t_{\bar{a}} = \frac{1}{3} t_{\bar{a}} - \frac{2}{3} \beta + \sqrt[3]{\frac{b_{\bar{a}} U_{\bar{a}}^2}{\beta^2 R_{0\bar{a}}^2}}. \quad (3.48)$$

З виразу (3.48) також треба, щоб при постійному значенні напруги U_y на елементі, зміна його температури практично становила 1/3 зміни температури газу, що підтверджує справедливість виразу (3.47).

З позиції температурних режимів елементів, схеми живлення моста зі стабілізацією напруги на робочому або на порівняльному термоелементі не відрізняються від розглянутого випадку живлення моста від джерела стабільної напруги. Тому й для цих схем живлення справедливим є вираз (3.47).

При виборі розглянутого нами раніше режиму живлення вимірювального моста термокондуктометричного датчика зі стабілізацією величини опору ро-

бочого елемента

$$R_{\bar{a}} = U_{\bar{a}} / I_{\bar{a}} = \text{const}.$$

Оскільки в платинового термоелемента опір однозначно залежить від його температури, то при його стабілізації забезпечується сталість температурного режиму елемента $t_{\bar{a}} = \text{const}$, незалежно від умов навколишнього середовища. Зміна середньої температури газу в камері серед всіх розглянутих варіантів буде в цьому випадку мінімальною і складе $\Delta t_{\bar{a}} = 0,5\Delta t_{\bar{a}}$.

Крім того, у цьому випадку при росту температури газу напруга на мосту зменшується, а при зниженні – збільшується. Тобто фактори, що обумовлюють нестабільність чутливості аналізатора при зміні температури газу діють різнонаправлено, що зменшує погрішність виміру.

При відсутності метану стабілізація температурного режиму одного з елементів автоматично забезпечує стабілізацію температури іншого. При стабілізації опору робочого елемента термокондуктометричного датчика зростання концентрації метану призводить до росту струму, збільшенню температури порівняльного елемента й напруги на мосту. При стабілізації опору порівняльного елемента й збільшенні концентрації метану струм через елементи й напруга на порівняльному елементі залишаються постійними, а зменшується температура робочого елемента, знижуються величина напруги на цьому елементі й у цілому на мосту.

Очевидно, що стабільність температурного режиму елементів при відсутності метану не забезпечує високої стабільності нуля моста, внаслідок зміни напруги на мосту при зміні температури газового середовища. Однак при використанні запропонованого в роботі [34] балансування моста, що забезпечує ідентичність вольтамперних характеристик термоелементів, цей недолік повністю усувається й при роботі моста в режимі стабілізації опору робочого елемента та забезпечується істотне підвищення якісних показників, як вимірювального моста, так і метрологічних характеристик термокондуктометричних аналізаторів метану в цілому.

Висновки

На підставі виконаних досліджень щодо режимів роботи схем термокондуктометричних датчиків, які можна застосувати для контролю метану в дегазаційних трубопроводах, зроблені наступні висновки:

1. Відомі аналітичні залежності, що описують процес відводу тепла від термоелемента датчика метану включають значення теплопровідності газової суміші при середній температурі в його камері, що сама є функцією температури елемента, що призводить до істотних помилок при визначенні температурних режимів роботи термочутливих елементів датчиків.

2. Отримані аналітичні залежності враховують теплопровідність середовища при нульовій температурі й температурний коефіцієнт зміни теплопровідності, а також ураховують процеси розсіювання тепла шляхом випромінювання й теплопровідності через струмопідвідні кінці термоелементів. Це дозволяє істотно підвищити точність розрахунку параметрів термоелементів і на стадії розробки датчиків визначити вплив різноманітних факторів на метрологічні й експлуатаційні характеристики аналізаторів метану взагалі та, зокрема призначених для виміру вмісту метану в трубопроводах.

3. Однією із причин нестабільної роботи існуючих термокондуктометричних газоаналізаторів з ізольованим порівняльним елементом є зміна складу газу в порівняльній камері внаслідок натікання газів з навколишньої суміші через мікропори й тріщини. Неоднозначність температурної залежності коефіцієнтів теплопровідності повітря й метану може призводити до появи істотних температурних погрешностей термокондуктометричних газоаналізаторів. Тому при виборі режимів роботи термокондуктометричних датчиків і їх вимірювальних мостів необхідно вибирати такі, які забезпечують більш стабільний температурний режим термоелементів при зміні температури середовища, що спостерігається в дегазаційних трубопроводах.

4. Аналіз роботи двокамерних симетричних термокондуктометричних датчиків при живленні вимірювального моста від джерел стабільної напруги й струму, а також при стабілізації напруги на одному із чутливих елементів показав, що максимальна чутливість забезпечується при стабілізації напруги на ро-

бочому елементі (на 5% вище в порівнянні із традиційною схемою включення – живленням моста стабільною напругою). Чутливість мостових схем з термокондуктометричними датчиками при стабілізації напруги на порівняльному елементі або живленні моста від джерела стабільного струму трохи нижче в порівнянні із традиційною схемою включення (на 5%). Для всіх розглянутих варіантів живлення характерна нелінійність залежності вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану, причому мінімальна нелінійність спостерігається при застосуванні схеми зі стабілізацією напруги на робочому елементі. Без застосування заходів з лінеаризації шкали в термокондуктометричних аналізаторах метану у випадку застосування такої схеми приведена погрішність виміру в середній частині діапазону виміру становить не більше 8%, що істотно нижче, ніж при традиційній схемі включення.

5. Кращим серед усіх розглянутих режимів роботи вимірювального моста є режим зі стабілізацією опору робочого елемента. На відміну від режимів живлення моста, що традиційно використовують в аналізаторах, він забезпечує істотне збільшення чутливості й характеризується практично лінійною залежністю вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації метану.

6. Стабільна величина температури термоелементів у термокондуктометричних датчиках метану при зміні параметрів контрольованого газового середовища забезпечується тільки при застосуванні режиму роботи моста зі стабілізацією опору елементів.

7. Виконаний аналіз різних режимів роботи мостових вимірювальних схем термокондуктометричних аналізаторів метану показав, що серед розглянутих схем включення найвищу чутливість і найменшу нелінійність залежності вихідної напруги вимірювального моста від концентрації метану забезпечує схема включення зі стабілізацією напруги на робочому елементі. Зважаючи на те, що така схема включення забезпечує й найбільш стабільний температурний режим термоелементів у мостових вимірювальних схемах при зміні температури навколишнього середовища це дозволяє рекомендувати її до застосування в аналізаторах метану, призначених для дегазаційних трубопроводів, замість традиційних схем включення зі стабілізацією напруги на вимірювальному мосту.

4 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ З УПРАВЛІННЯ НДС СИСТЕМИ «МАСИВ-КРІПЛЕННЯ». ЛАБОРАТОРНІ ВИПРОБУВАННЯ ДВУКАМЕРНИХ ТЕРМОКАТАЛІ- ТИЧНИХ АНАЛІЗАТОРІВ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ СУМІШІ В ТРУБОПРОВОДАХ

4.1 Обґрунтування принципу управління НДС рамного кріплення за допомогою анкерів

У процесі зсувів породного контуру виробки на рамне кріплення формується навантаження $q(x, y)$, розподілене деяким чином по її контуру (рис. 4.1), а реакція кріплення призводить у рівноважний стан геомеханічну систему в цілому. Зовнішнє навантаження $q(x, y)$ генерує у рамному кріпленні поле напружень, що визначає ступінь її стійкості, а загальноприйняті методи розрахунку [6, 9] затверджують, що основний внесок у НДС рами (85-95%) вносять згинальні моменти $M(x, y)$, які є функцією зовнішнього навантаження $q(x, y)$ й геометричних параметрів самого рамного кріплення. Тому функція $M(x, y)$ є найбільш інформативною, добре узгоджується з епюрою найбільших прогинів рами (у цих місцях у першу чергу з'являються області пластичних деформацій) і їй приділена основна увага.

Принцип зниження максимумів згинального моменту $M_i (i = 1, 2, \dots, n)$, що тотожно зниженню інтенсивності напружень у найнебезпечніших **перерізах** рами, пояснимо на найпоширенішій епюрі $M(x, y)$, де максимуми проявляються: у районі замка склепіння (M_1), на ділянці склепіння між замком і його п'ятою (M_2) і в стояку рами (M_3), як показано на рис. 4.1, а. Залежно від епюри $q(x, y)$ зовнішнього навантаження кожний з перелічених максимумів може бути найбільшим по абсолютній величині й визначати несучу здатність рами. Поява пластичного стану матеріалу рами можливо на кожній з перерахованих ділянок контуру й, якщо за допомогою реакції анкерів вдається знизити величину найбільшого максимуму M_i , то це буде рівнозначно збільшенню несучої здатності рамного

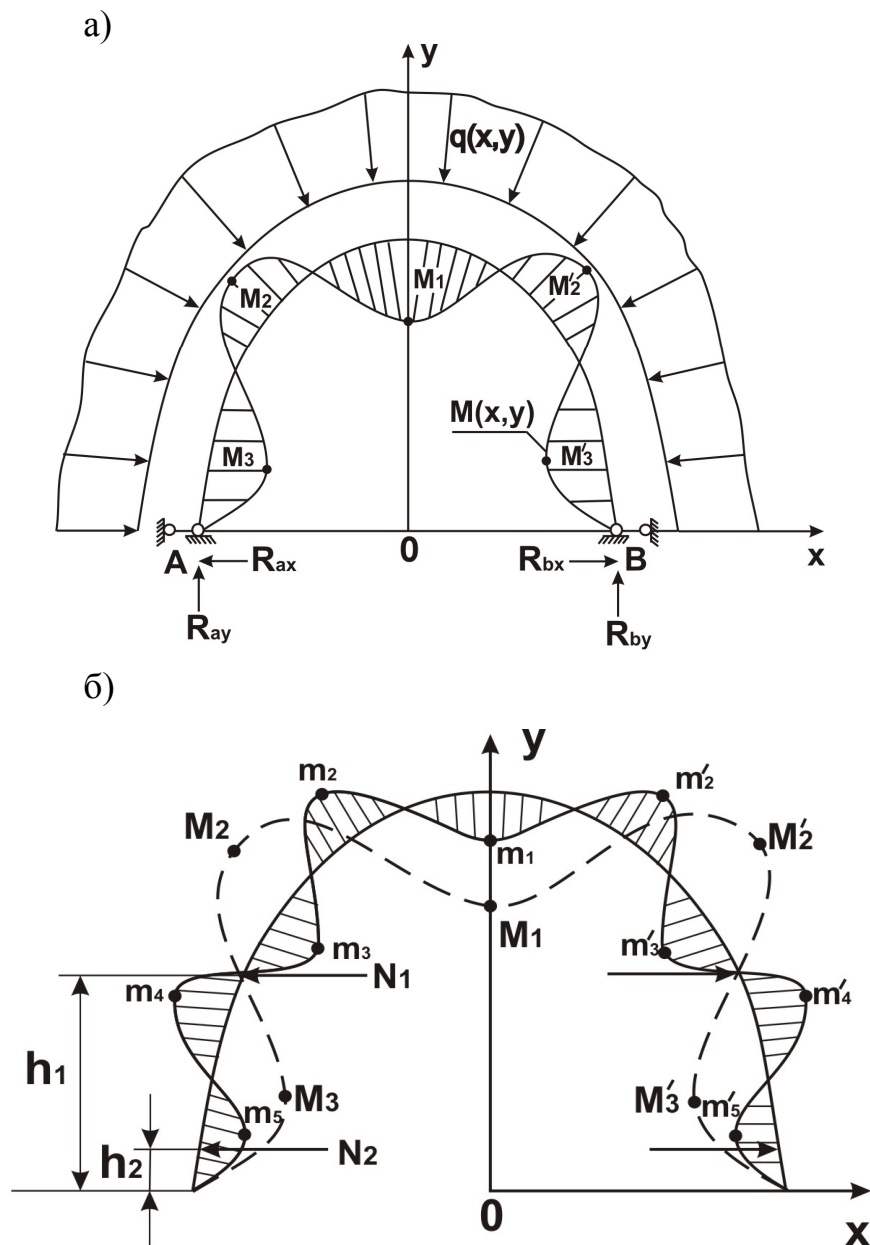


Рисунок 4.1 – До обґрунтування принципу підвищення несучої здатності рамного кріплення за допомогою анкерів:

а) загальна схема навантаження рами;

б) схема зниження максимумів згинаючого моменту: - - - до установаження механічних стяжок;
 — після установаження гнучких стяжок і створення рамно-анкерного кріплення, як єдиної податливої вантажонесучої конструкції

кріплення. Реакції анкерів N_1 і N_2 , що передаються через стяжки, змінюють як епюру згинального моменту $M(x, y)$, так і абсолютну величину її максимумів M_i . Причому, впливають не тільки значення реакції анкерів $N_{1,2}$, але й координати їх дії на раму (у місцях контакту рами зі стяжками); звичайно у ролі таких координат використовують висоту $h_{1,2}$ додатка навантажень (див. рис. 4.1, б), а **кут** нахилу анкерів у боках виробки не робить ніякого впливу у випадку застосування гнучких стяжок. Також встановлено [10-12], що спрямована зміна якогось-небудь параметра (збільшення або зменшення $N_{1,2}$ і $h_{1,2}$) знижує один з максимумів M_i (або кілька максимумів), але при цьому збільшуються по абсолютній величині інші максимуми M_i . Таким чином, зосереджуватися на зниженні тільки найбільшого максимуму не можна, тому що інші M_i перевершать його по абсолютній величині й вони вже будуть визначати несучу здатність рами. Було встановлено [10-12], що мінімальні значення найбільшого із всіх можливих максимумів реалізуються за умови їх рівності між собою по абсолютній величині й коли виконується послідовна зміна їх знака по контуру рами, як це показано на рис. 4.1, б суцільною лінією, що відображає епюру $m(x, y)$ мінімізованих максимумів $m_j (j = 1, 2, \dots, k)$. Отже, вибрати параметри $N_{1,2}$ і $h_{1,2}$ необхідно комплексно на основі спільного аналізу закономірностей зміни всіх діючих максимумів M_i і така задача була вирішена в роботі [13], де запропоновані залежності з розрахунку $N_{1,2}$ і $h_{1,2}$, що дозволяють знизити всі можливі максимуми M_i до рівня m_j , що обумовлює підвищення несучої здатності рамного кріплення.

Однак зазначені рекомендації отримані при введенні в геомеханічну модель ряду допущень і ідеалізацій, що стосуються: епюри навантаження на кріплення; структури вміщуючого масиву – він розглянутий як однорідний; змінних характеристик літологічних різниць, що складають прилеглу покрівлю і підшову виробки; форми виробки й конструктивних особливостей її кріплення. Виходить, стосовно до конкретної підготовчої виробки існуючі рекомендації можна розглядати лише як перше наближення. При виконанні даних досліджень запропонований розвиток методології зниження інтенсивності напружень у рамі

за допомогою реакції анкерів, оснований на використанні сучасних комп'ютерних програм методу скінченних елементів, що дозволяють відобразити особливості системи «шаруватий масив-кріплення виробки» у всіх деталях, що усуває відзначені вище ідеалізації і допущення. Сутність пропозиції полягає в послідовному виконанні наступних етапів.

На першому етапі виконується моделювання системи «шаруватий масив-кріплення виробки» у повній відповідності з паспортом кріплення виробки при відсутності зв'язків між бічними анкерами й стояками рами для найбільш характерної структури прилеглого масиву на підготовлюваній ділянці шахтного поля. Тут найбільш ретельно аналізується НДС у рамному кріпленні й виявляються області пластичного стану сталі Ст.5.

На другому етапі виконується розрахунок НДС системи з параметрами кріплення і боковими анкерами, але вже з урахуванням пропозиції про з'єднання рам і анкерів гнучкими стяжками (рис. 4.2). Тут виконується порівняння епюр компонент напружень і розмірів зон пластичного перебігу сталі Ст.5 у рамі.

На третьому етапі, при відсутності очікуваного різкого обмеження розмірів областей пластичного стану в рамі, оцінюються деформації самої рами й виявляються ділянки найбільшого вигину її профілю, де спостерігаються максимальні зміни первісної форми кріплення реальної моделі підготовчої виробки. Змінюється висота установлення бокових анкерів, які тепер розміщуються саме на ділянках найбільшого вигину рами, і виконується розрахунок НДС системи при новій схемі кріплення з наступною оцінкою пластичних областей у рамі.

Четвертий етап виконується у випадку негативного результату попереднього етапу – пластичні області в рамі повністю не усунуті або не локалізовані до несуттєвих розмірів. Тоді проводиться серія розрахунків при варіації величин реакції $N_{1,2}$ бокових анкерів на раму з метою виявлення умов достатнього обмеження (або виключення) зон пластичних деформацій у стояках рамного кріплення.

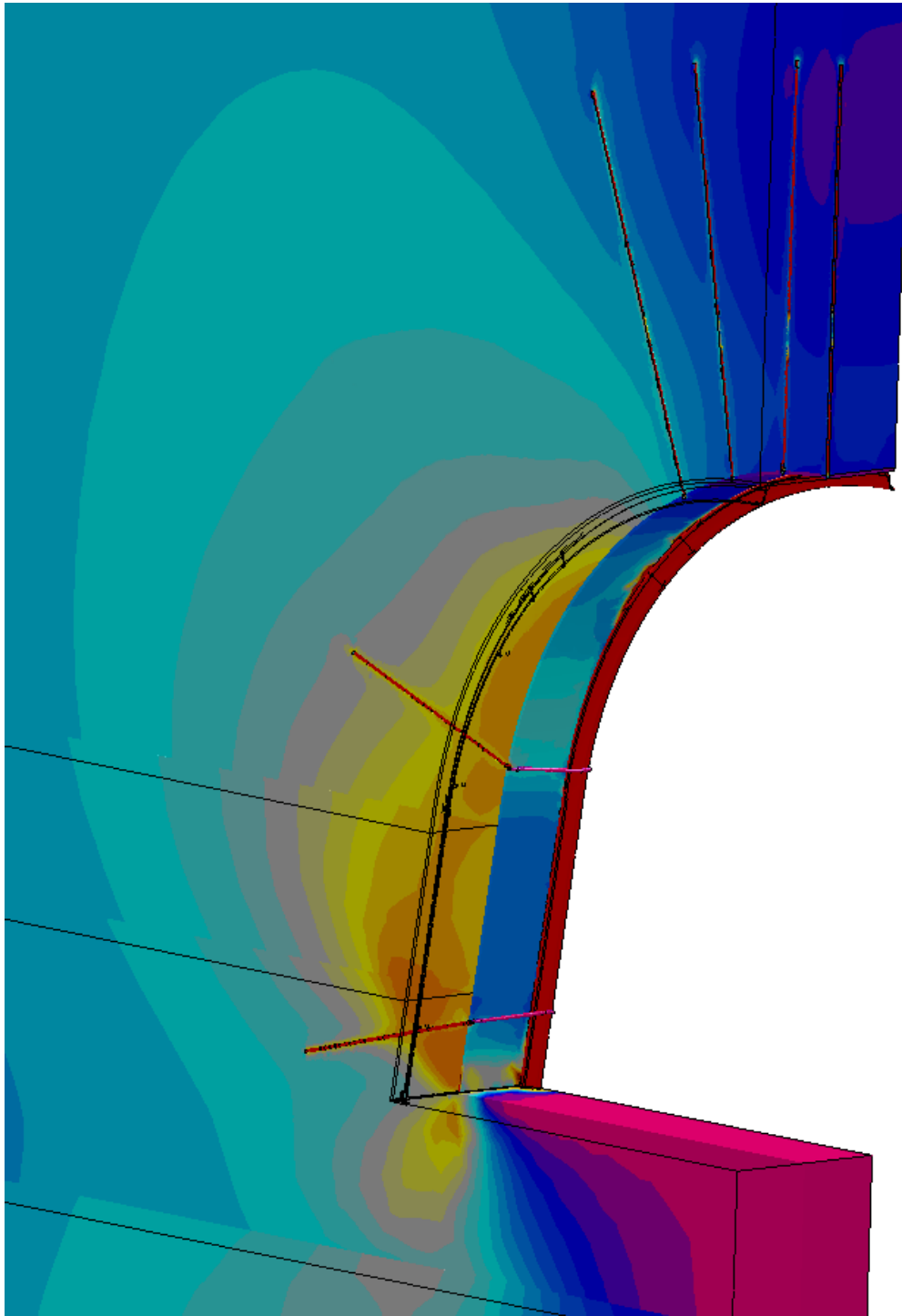


Рисунок 4.2 – До вибору висоти установки бокових анкерів
по ділянках найбільшого вигину рами

4.2 Вдосконалення і обґрунтування механічних зв'язків анкерів і рам в єдиній вантажонесучій конструкції рамно-анкерного кріплення

Ефект підвищення несучої здатності рамного податливого триланкового кріплення зі спецпрофілю СВП і стійкості пластової виробки в цілому за рахунок конструктивного механічного зв'язку стояків рами із системою анкерів підтверджений низкою експериментальних досліджень у підготовчих виробках шахт Західного Донбасу.

Сутність технічних рішень [14] полягає у формуванні в покрівлі підготовчої виробки за допомогою системи анкерів вантажонесучої армованої породної плити, що запобігає розшаруванню порід покрівлі й різко обмежує їх переміщення у порожнину виробки. Передбачається, що породи покрівлі мають підвищену небезпеку руйнування в центральній частині виробки, тому в цій її частині рекомендується досить густа сітка анкерування, а бокові частини вантажонесучої плити в покрівлі не зміцнюються, отже, передбачається їх стійкий стан. Таке припущення підтверджене аналізом НДС системи «шаруватий масив-кріплення виробки» шахтними спостереженнями, але в умовах несуттєвого впливу факторів, що послабляють породу, (реології, обводненості, тріщинуватості порід і т.п.). На ділянках виробки, де прилеглі породи (аргіліти, алевроліти) обводнені, відзначається інтенсифікація проявів гірського тиску. Тоді, на небезпечних ділянках варто міняти схему розташування анкерів з метою зміцнення ними й бічними ділянками вантажонесучої опорної плити в покрівлі, що вимагає додаткових досліджень. У кожному разі, ефективність роботи вантажонесучої опорної плити пов'язана із забезпеченням цілісності по всій довжині її прольоту в покрівлі виробки. Армована породна плита покликана сприймати на себе основну частину вертикального навантаження й обмежувати розшарування порід покрівлі за рахунок натягу анкерів. Рамне ж кріплення у цьому випадку, деякою мірою, відіграє роль захисної конструкції і призначене для сприйняття навантаження від локальних зон втрати стійкості у випадку «відмови» окремих анкерів, тобто рама нібито «страхує» стійкість покрівлі на випадок

локальних збурювань гірського тиску й часткової втрати несучої здатності опорної плити.

У боках виробки геомеханічні процеси протікають трохи інакше, що в сукупності з технічними рекомендаціями робіт [14] визначають наступні особливості деформування системи «шаруватий масив-кріплення виробки», схематично відображені на рис. 4.3. Армована опорна плита (область I) у покрівлі виробки передає навантаження на рамне кріплення і приконтурні породи в боках; рамне кріплення, завдяки своїй конструктивній піддатливості, «відходить» від основної частини вертикального навантаження й сприймає тільки її меншу частину; отже, основне вертикальне навантаження передається на приконтурні породи в боках виробки, які вже є частково знеміцненими (область II) від дії опорного тиску; знижений опір знеміцненої зони обумовлює перерозподіл навантаження від опорної плити на більш віддалені ділянки боків виробки, НДС яких підсилюється, й при можливому ослабленні породи на окремих ділянках по довжині виробки зона знеміцнення в її породних боках може розширюватися (зона III). Під впливом навантаження від опорної плити (сформованої в покрівлі) розвиваються косонаправлені переміщення порід у боках виробки, які навантажують, у тому числі й стояки рами. Два анкери в кожному боці виробки створюють навколо себе локальні області зміцнених порід, однак створити вантажонесучу породну конструкцію по всій висоті виробки (як у покрівлі по її ширині) два анкери не здатні, тому бокове навантаження значною мірою передається на стояки рами, де утворюються області пластичних деформацій.

У даних умовах проглядається два технічних рішення із забезпечення стійкості боків виробки:

– установлення більш густої сітки армування анкерами підвищеної довжини приконтурних бокових порід на збільшену глибину для формування в боках вантажонесучої породної конструкції;

– підвищення опору рамного кріплення бічним навантаженням за рахунок створення додаткових точок опори за допомогою механічного зв'язку анкерів зі стояками рами.

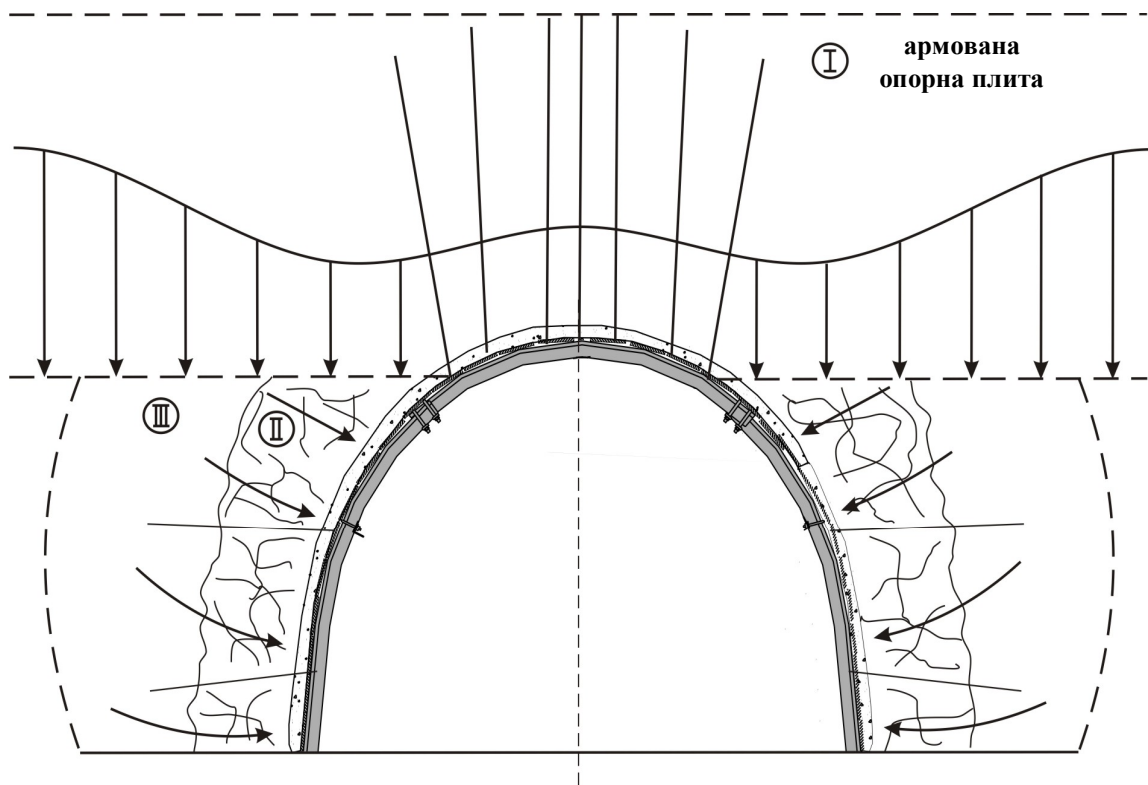


Рисунок 4.3 – Схема деформування системи
«шаруватий масив-кріплення виробки»

Перше рішення має два основних недоліки: з одного боку, більш густа сітка анкерування бокових порід вимагає істотного збільшення матеріальних і трудових витрат на кріплення виробки; з іншого боку, немає впевненості в забезпеченні стійкого стану бокових порід, тому що значний їх об'єм у тому або іншому ступені вже знеміцнений опорним тиском, у боках виробки – анкери здатні запобігати розшаруванню у локальному породному об'ємі вздовж своєї осі, але зміцнюючий ефект різко слабшає при наявності площин ослаблення, розташованих між сусідніми анкерами. Таким чином, може виникнути ситуація формування вантажонесучої конструкції в боках виробки з окремих породних блоків, скріплених анкерами. Ця розпірна блокова система при істотному боковому навантаженні може втрачати стійкість (при переміщенні або повороті відносно один одного сусідніх блоків) і очікуваного ефекту зміцнення боків не буде. Крім того, дослідження показали, що встановлення в боках виробки по два анкери [14] істотно зменшує переміщення породного контуру по висоті стояків рами, але не запобігає формуванню в стояках двох зон пластичного стану їх ма-

теріалу, що, як показала практика, призводить до вигину стояків рами в порожнину виробки, а, отже, і до зниження несучої здатності рамного й анкерного кріплення в цілому.

Друге технічне рішення (рис. 4.4) полягає в з'єднанні хвостової частини анкерів і стояків рам гнучкими стяжками, розтягнутими уздовж виробки. Як гнучкі стяжки можуть використовуватися будь-які сталеві троси, що були у використанні, застосування яких несуттєво здорожує вартість кріплення, а додаткові трудові витрати також мінімальні, тому що перебувають в розтяжці відрізка каната уздовж виробки і його розміщенні на певній висоті, наприклад, у зазорі між породним контуром і опорною плитою анкера.

З погляду геомеханічних процесів у боках виробки гнучкі стяжки не вносять істотних змін, але, з погляду утвореного в такий спосіб напруженого стану рамно-анкерного кріплення, відбуваються його значні зміни в напрямку підвищення несучої здатності рами, і в першу чергу її стояків, що обґрунтовано в наступному параграфі. Зараз необхідно обґрунтувати запропоновані конструктивні рішення на основі розкриття механізму роботи рамно-анкерного кріплення із гнучкими стяжками.

Після проведення виробки кожна ділянка її породного контуру переміщається на певну величину й навантажує рамне кріплення. Загальновідомо, що рамні конструкції податливих кріплень зі спецпрофілю СВП не в змозі істотно (вплив до 3-7%) обмежити переміщення породного контуру [1, 2, 6], тобто рама переміщається разом з породним контуром до моменту настання рівноважного стану масиву. Також аналітичними й експериментальними дослідженнями встановлений факт загасання переміщення породи в глиб масиву зі збільшенням відстані від контуру виробки (див. рис. 4.4, а). Тоді анкер, маючи певну довжину l_a закріплення в породі (звичайно називається активною довжиною анкера), випробовує розтягальні зусилля, обумовлені різницею між переміщенням породи U_k на контуру виробки й переміщенням U_3 на заглибленому кінці анкера. Ці зусилля обумовлюють певне розтягання арматур анкера і її зсув щодо породних стінок

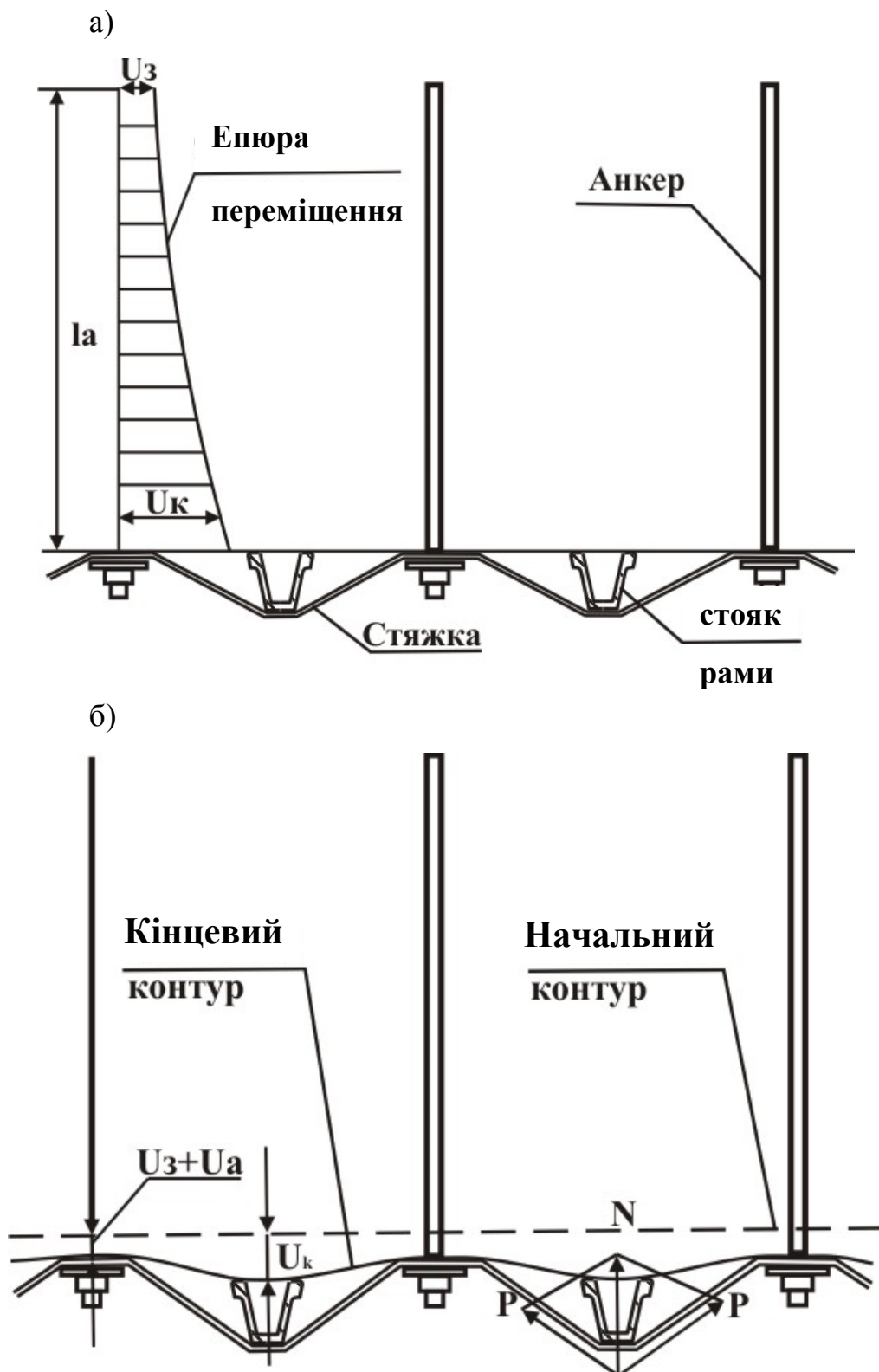


Рисунок 4.4 – До обґрунтування механізму роботи рамно-анкерного кріплення із гнучкими стяжками: а) вихідне положення; б) схема натягу гнучких стяжок

шпуру, що в сукупності характеризується величиною піддатливості анкера U_a . У сумі величина $U_z + U_a$ завжди буде менше значення U_k , що характеризує переважне бокове переміщення стояка рами над переміщенням опорної плити анкера (див. рис. 4.4, б). Якщо стояк рами й хвостовик анкера з'єднати гнучким зв'язком у період встановлення кріплення, то в міру просування прохідницького вибою й розвитку бокових переміщень породного контуру, різниця $U_k - U_z - U_a$ буде збільшуватися й гнучка стяжка натягнеться, створюючи реакцію N на раму в місці охопту її стяжкою, тобто виникає податлива додаткова опора, що опирається боковим навантаженням на раму. Кількість і місце розташування таких опор буде відповідати кількості анкерів у боках виробки (у площині поперечного перерізу), а самі опори обмежують вигин стояків рами, що знижує інтенсивність їх НДС.

Тепер варто обґрунтувати доцільність застосування саме податливих зв'язків між рамним і анкерним кріпленнями. Шахтні спостереження за станом підготовчих виробок, пройдених, наприклад, по пласту C_6 , вказують на різний ступінь їх стійкості, обумовленого змінною структурою прилеглого масиву й інтенсивністю дії факторів, що послабляють породу. Проте, навіть у досить сприятливих гірничо-геологічних умовах переміщення породного контуру становлять, як мінімум, кілька десятків міліметрів. Причому вектор цих переміщень різнонаправлений: у покрівлі – переважно вертикальний, у боках – косонаправлений, зі значною горизонтальною складовою; крім того, проявляються процеси обдимання, а разом з ними – вдавнення стояків рами в слабкі породи підосви; також варто враховувати почасти стохастичний характер проявів гірського тиску уздовж виробки, коли сусідні рами різнонавантажені й деформуються на різну величину в сусідніх перерізах – тоді виникає осьова складова (тобто, уздовж виробках по координаті Z) переміщень приконтурних порід і кріплення. Таким чином, має місце спектр напрямків переміщень елементів системи «шаруватий масив-кріплення виробки» у всіх трьох вимірах простору (по координатах Y , X і Z).

Щодо даного висновку розглянемо поведінку жорсткого зв'язку між анкерами й рамним кріпленням [15]. Жорсткий зв'язок по своєму визначенню не

допускає скільки-небудь істотного подовження (піддатливості) у горизонтальному напрямку (при з'єднанні стояків з боковими анкерами); сам сталеполімерний анкер (який прийнятий до застосування на шахті «Ювілейна») по своїй деформаційно-силовій характеристиці відноситься до жорстких конструкцій, піддатливість якої (при недопущенні руйнування контакту з породними стінками шпуру або розриву самих арматур) характеризується незначним переміщенням, максимум у кілька міліметрів, обумовленим розтяганням арматур і пружно-пластичним зрушенням її щодо породних стінок шпуру. Отже, виникає ситуація, коли компенсувати переміщення породного контуру разом з рамою в кілька десятків міліметрів нема чим – зусилля у жорстких зв'язках стрімко зростають і відбувається одне із трьох можливих порушень: розрив жорсткого зв'язку між стояком рами й анкером; втрата несучої здатності анкера (часткова або повна) через розрив арматур або втрати її зчеплення з породними стінками шпуру; пластичний вигин стояка рами в місці дії жорсткого зв'язку. Таким чином, піддатливість у горизонтальному напрямку всієї конструкції рамно-анкерного кріплення за допомогою піддатливості основних її елементів (рама-анкер-вузли механічного зв'язку) необхідна й обумовлена самою природою проявів гірського тиску, особливо в слабких вуглевміщуючих породах Західного Донбасу.

Тепер проаналізуємо необхідність податливого зв'язку стояка з анкерами у вертикальному напрямку. Під впливом переважно вертикального гірського тиску в покрівлі рамне кріплення не тільки деформується, але й переміщається як єдина конструкція в напрямку подошви. Про це свідчать як шахтні спостереження, так і отримані результати комп'ютерного моделювання, а основна причина такого явища полягає в процесі вдавнення опори стояка в слабкі породи подошви, величина якого може досягати декількох сотень міліметрів. Виходить, неминуче відбувається переміщення по вертикальній координаті Y вузла кріплення механічного зв'язку на стояку рами. При жорсткій конструкції цього зв'язку можливі наступні порушення: розрив самого жорсткого зв'язку через надмірне її подовження; вигин жорсткого зв'язку (наприклад, у вигляді металевого стрижня) з можливим її наступним розривом; вигин хвостовика анкера з мож-

ливим його розривом і руйнуванням зв'язку із твердою стяжкою; руйнування устя шпуру при вигині приконтурної частини арматур анкера (відкол породних призм в усті шпуру) з її можливим наступним розривом. Сам вигин хвостової частини арматури анкера чреватий зменшенням необхідної горизонтальної реакції на стояк рами, тому що класичні положення будівельної механіки зтверджують, що зусилля розтягання з вигином набагато швидше викликають пластичний перебіг металу, чим строго осьове розтягання арматури анкера.

Аналогічні порушення жорсткого зв'язку стояків рами з анкерами відбуваються й по осьовій координаті Z у випадку істотних коливань інтенсивності проявів гірського тиску уздовж виробки.

Відзначені недоліки жорсткого зв'язку анкера зі стояком рами усуваються при конструюванні сполучного елемента, який володіє піддатливістю (без втрати реакції впливу на стояк) за всіма трьома напрямками (координати Y , X і Z) можливого переміщення рамно-анкерного кріплення в рамках єдиної геомеханічної системи «шаруватий масив-кріплення виробки». Конструктивні рішення податливого сполучного елемента у вигляді гнучкої стяжки відрізняються простотою виконання й підтвердили свою ефективність при шахтних випробуваннях.

4.3 Контроль складу газових сумішей у трубопроводах на основі універсальних широкодіапазонних аналізаторів метану

Лабораторні дослідження термокондуктометричних датчиків з неізольованим порівняльним елементом, тобто однокамерного датчика виконані в розділі 3. З урахуванням цього нижче наводимо результати теоретичних і лабораторних досліджень перспективного для контролю вмісту метану в трубопроводах універсального широкодіапазонного датчика метану, що разом з двошкамерним термокаталітичним аналізатором метану містить термокондуктометричний датчик.

4.3.1 Шляхи реалізації широкодіапазонних аналізаторів метану

У відомих широкодіапазонних аналізаторах метану одночасно використалися термокаталітичний і термокондуктометричний методи виміру [48]. Аналі-

затори містили дві мостові схеми для виміру відповідно низьких і високих концентрацій метану. Перша схема містила каталітично активний і компенсаційний елементи, які контактували з контрольованим газом. Компенсаційний елемент першого моста був частиною другої мостової схеми, у якій він виконував функції чутливого елемента. Друга мостова схема містила також елемент, захищений від контрольованого газу, що у цьому мосту є компенсаційним. Аналізатори включали також елементи для комутації напруги живлення обох мостових схем залежно від концентрації контрольованого газу.

У результаті того, що датчики низької й високої концентрації метану постійно включені, в них відсутні перехідні процеси, пов'язані з розігрівом датчиків. Однак одночасне застосування двох датчиків ускладнює конструкцію аналізаторів, вони мають порівняно велике енергоспоживання, що обмежує застосування зазначеного принципу в переносних приладах, у тому числі й для контролю метану в трубопроводах.

З метою спрощення конструкції й зниження енергоспоживання як датчик метану високих концентрацій, характерних для трубопроводів, використовується тільки компенсаційний чутливий елемент термокаталітичного датчика. Інформаційним параметром при цьому є величина напруги на порівняльному елементі при живленні його від джерела стабільного струму.

Використання порівняльного елемента термокаталітичного датчика як датчика теплопровідності в термокондуктометричному сенсорі дозволяє зменшити енергоспоживання. Відсутність компенсаційного елемента в термокондуктометричному датчику дозволяє знизити тривалість перехідних процесів, пов'язаних з його розігрівом. Однак обом розглянутим рішенням властива низка загальних недоліків, які призводять до збоїв у роботі аналізаторів й обмежують їх застосування.

Для з'ясування причин цих збоїв доречно навести аналіз особливостей роботи аналізаторів метану при використанні порівняльного елемента термокаталітичного датчика як датчика теплопровідності.

4.3.2 Особливості використання порівняльного елемента термокаталітичного датчика як датчика теплопровідності

Розглянемо два можливих варіанти роботи датчика при високих концентраціях метану, а саме варіант, коли каталітично активний елемент термокаталітичного датчика не відключається й варіант згідно [49], коли при досягненні граничного значення концентрацій проводиться відключення каталітично активного елемента.

Оскільки при високих концентраціях метану, характерних для дегазаційних трубопроводів, можливий неприпустимий перегрів каталітично активного елемента, перший варіант можливий при істотному обмеженні дифузії контролюваного середовища в реакційну камеру, наприклад при застосуванні датчиків з подвійним дифузійним фільтром [33, 50], або при використанні схеми включення зі стабілізацією напруги на робочому елементі [51]. У кожному разі, внаслідок окислювання метану на каталітично активному елементі, його концентрація в реакційній камері однокамерних датчиків буде істотно відрізнятися від концентрації метану в аналізованому середовищі. Зв'язок між цими величинами при надходженні метану в камеру за рахунок дифузії звичайно представляють у вигляді [33]

$$C_{i\bar{e}} = \tilde{N}_{i\bar{n}} \frac{\gamma_{\bar{o}}}{\gamma_{\bar{o}} + \gamma_{\bar{a}}}, \quad (4.1)$$

де $C_{i\bar{e}}$, $\tilde{N}_{i\bar{n}}$ – відповідно, об'ємна частка метану у суміші й камері, %; $\gamma_{\bar{o}}$ - газодифузійна провідність фільтра м³/с; $\gamma_{\bar{a}} = 10^{-2} K_{\bar{a}\bar{o}} \beta_i F_{\bar{a}}$ – ефективна дифузійна провідність робочого елемента м³/с; $\hat{E}_{\bar{a}\bar{o}}$ – коефіцієнт ефективності окислювання метану; β_m – коефіцієнт масопередавання, м/с.

Різниця між концентрацією метану в суміші й у камері

$$\Delta C_i = \tilde{N}_{i\bar{n}} \left(1 - \frac{\gamma_{\bar{o}}}{\gamma_{\bar{o}} + \gamma_{\bar{a}}} \right) \quad (4.2)$$

визначає величину потоку метану в камеру й, отже, кількість тепла, що виділяється на робочому елементі, приріст його температури й величину вихідного сигналу вимірювального моста.

Вирази (4.1) і (4.2) справедливі для випадку, коли у суміші газів агентом, що лімітує, й визначає швидкість реакції, є метан. При об'ємній частці метану понад 9% лімітованим компонентом стає кисень повітря, а кількість тепла, що виділяється на робочому елементі, буде пропорційно потоку кисню $Q_{\hat{e}}$ до поверхні цього елемента [33]. Величина ΔC_i в цьому випадку буде знижуватися – від максимального значення при об'ємній частці метану 9% до нуля при 100% метану в суміші. Приймаючи, що величина ΔC_i в цьому випадку знижується лінійно, при об'ємній частці метану понад 9%, вираз для визначення ΔC_i прийматиме вигляд

$$\Delta C_i = \frac{9(100 - C_{i\tilde{n}})}{91} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{\hat{o}}}{\gamma_{\hat{o}} + \gamma_{\hat{a}}} \right). \quad (4.3)$$

У цьому випадку об'ємна частка метану в камері буде

$$C_{i\hat{e}} = \tilde{N}_{i\tilde{n}} - \frac{9(100 - C_{i\tilde{n}})}{91} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{\hat{o}}}{\gamma_{\hat{o}} + \gamma_{\hat{a}}} \right). \quad (4.4)$$

Потік метану в камеру – Q_i , що окисляється на робочому елементі, звичайно визначається як [32]

$$Q_i = \Delta C_i \gamma_{\hat{o}}. \quad (4.5)$$

Для окислювання Q_i витрачається подвоєна кількість кисню $Q_{\hat{e}}$.

$$Q_{\hat{e}} = 2Q_i. \quad (4.6)$$

У свою чергу, потік кисню в реакційну камеру залежить від різниці концентрацій кисню в суміші й у камері $\Delta C_{\hat{e}}$ й дифузійної провідності фільтра для кисню $\gamma_{\hat{o}\hat{e}}$

$$Q_{\hat{e}} = \Delta C_{\hat{e}} \gamma_{\hat{o}\hat{e}}, \quad (4.7)$$

З рівнянь (4.5)-(4.6) визначаємо

$$\Delta C_{\hat{e}} = 2\Delta C_i \frac{\gamma_{\hat{o}}}{\gamma_{\hat{o}\hat{e}}}. \quad (4.8)$$

З огляду на лінійну залежність провідності фільтра від коефіцієнтів дифузії газів [32] вираз (4.8) можна представити у вигляді

$$\Delta C_{\hat{e}} = 2\Delta C_i \frac{D_i}{D_{\hat{e}}}, \quad (4.9)$$

де $D_i, D_{\hat{e}}$ – відповідно, коефіцієнти дифузії метану й кисню в повітрі, м²/с.

Таким чином, подача в камеру кисню, необхідного для окислювання потоку метану Q_i , забезпечується при різниці концентрацій кисню в суміші й у камері $\Delta C_{\hat{e}}$. Отже, об'ємна частка кисню в камері $C_{\hat{e}\hat{e}}$ при об'ємній частці метану до 9% складе

$$C_{\hat{e}\hat{e}} = C_{\hat{e}\hat{n}} - \Delta C_{\hat{e}} = C_{\hat{e}\hat{n}} - 2C_{i\hat{n}} \left(1 - \frac{\gamma_{\hat{o}}}{\gamma_{\hat{o}} + \gamma_{\hat{a}}} \right) \frac{D_i}{D_{\hat{e}}}, \quad (4.10)$$

де $C_{\hat{e}\hat{n}}$ - об'ємна частка кисню в суміші, %.

Відповідно в діапазоні більш високих концентрацій метану

$$C_{\hat{e}\hat{e}} = C_{\hat{e}\hat{n}} - 2 \frac{9(100 - C_{i\hat{n}})}{91} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{\hat{o}}}{\gamma_{\hat{o}} + \gamma_{\hat{a}}} \right) \frac{D_i}{D_{\hat{e}}}. \quad (4.11)$$

У свою чергу вміст кисню в рудниковій атмосфері або трубопроводі лінійно зменшується в міру надходження метану. Цей зв'язок представляють у вигляді [52]

$$\tilde{N}_{\hat{e}c} = 0,21(100 - C_{ic}). \quad (4.12)$$

У такому випадку вирази (4.10) і (4.11) можна представити у вигляді

$$C_{\hat{e}\hat{e}} = 0,21(100 - C_{i\hat{n}}) - 2C_{i\hat{n}} \left(1 - \frac{\gamma_{\hat{o}}}{\gamma_{\hat{o}} + \gamma_{\hat{a}}} \right) \frac{D_i}{D_{\hat{e}}}, \quad (4.13)$$

$$C_{\hat{e}\hat{e}} = 0,21(100 - C_{i\hat{n}}) \left(\frac{\gamma_{\hat{o}}}{\gamma_{\hat{o}} + \gamma_{\hat{a}}} \right) \frac{D_i}{D_{\hat{e}}}. \quad (4.14)$$

Окислювання метаноповітряної суміші на каталізаторах глибокого окислювання йде відповідно до відомої реакції



Продукти окислювання за рахунок різниці їхніх концентрацій у камері й суміші видаляються з реакційної камери шляхом дифузії. Аналогічно (4.9) різниця об'ємної частки вуглекислого газу ΔC_{co_2} й водяної пари $\Delta C_{\hat{a}i}$ в камері й у суміші при цьому складе

$$\Delta C_{co_2} = \Delta C_i \frac{D_i}{D_{co_2}}, \quad (4.16)$$

$$\Delta C_{\hat{a}i} = 2\Delta C_i \frac{D_i}{D_{\hat{a}i}}, \quad (4.17)$$

де $D_{\hat{n}i_2}, D_{\hat{a}i}$ – відповідно, коефіцієнти дифузії вуглекислого газу й водяної пари в повітрі, m^2/s .

З урахуванням наявності в аналізованій суміші вуглекислого газу $C_{\hat{n}i_2c}$ й водяної пари $C_{\hat{a}ic}$ їхні об'ємні частки в камері $D_{\hat{n}i_2\hat{e}}$ й $D_{\hat{a}i\hat{e}}$ будуть рівні

$$C_{co_2\hat{e}} = C_{co_2\hat{n}} + \Delta C_i \frac{D_i}{D_{co_2}}, \quad (4.18)$$

$$C_{\hat{a}i\hat{e}} = C_{\hat{a}i\hat{m}} + 2\Delta C_i \frac{D_i}{D_{\hat{a}i}}. \quad (4.19)$$

На рис. 4.5 і 4.6 графічно представлені результати розрахунку різниці між об'ємною часткою метану в аналізованій суміші й у реакційній камері, зміни об'ємної частки метану, кисню, вуглекислого газу й водяної пари в реакційній камері залежно від вмісту метану в аналізованій суміші. Розрахунки виконані з використанням отриманих нами виразів при різному співвідношенні дифузійної провідності фільтра й ефективній дифузійній провідності елемента. Для спрощення аналізу при визначенні об'ємної частки вуглекислого газу й водяної пари їх вміст в аналізованій суміші умовно прийнято рівним нулю.

Як видно з рис. 4.5 й 4.6, склад газової суміші в реакційній камері термо-

каталітичного датчика істотно відрізняється від складу аналізованої суміші, причому зі зменшенням дифузійної провідності фільтра ці відмінності збільшуються.

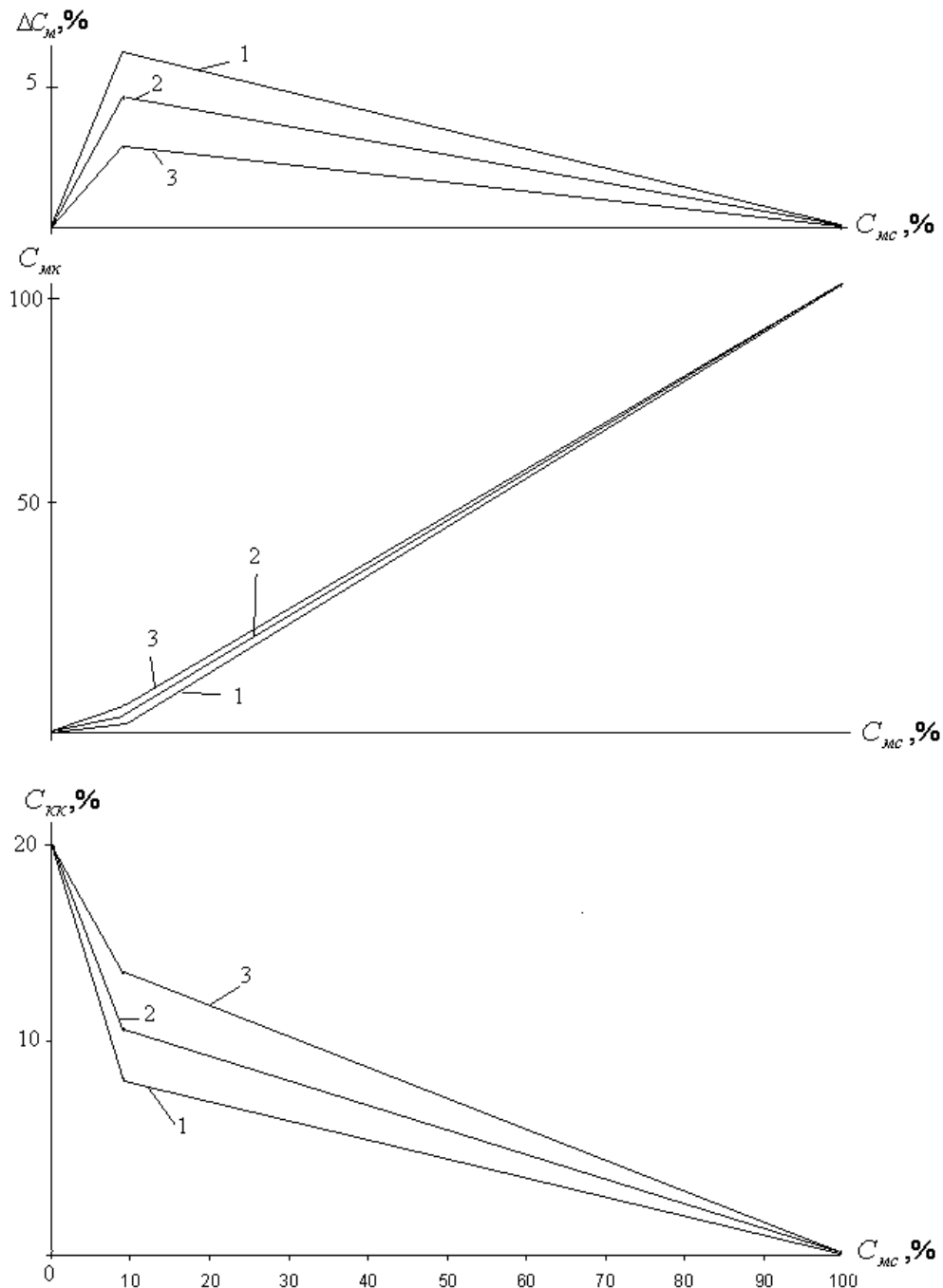


Рисунок 4.5 – Залежність концентраційного напору, вмісту метану й кисню в реакційній камері термокаталітичного датчика від об'ємної частки метану в аналізованій суміші: 1 – при $\gamma_{\delta} = 0,5\gamma_{\delta}$; 2 - $\gamma_{\delta} = \gamma_{\delta}$; 3 - $\gamma_{\delta} = 2\gamma_{\delta}$

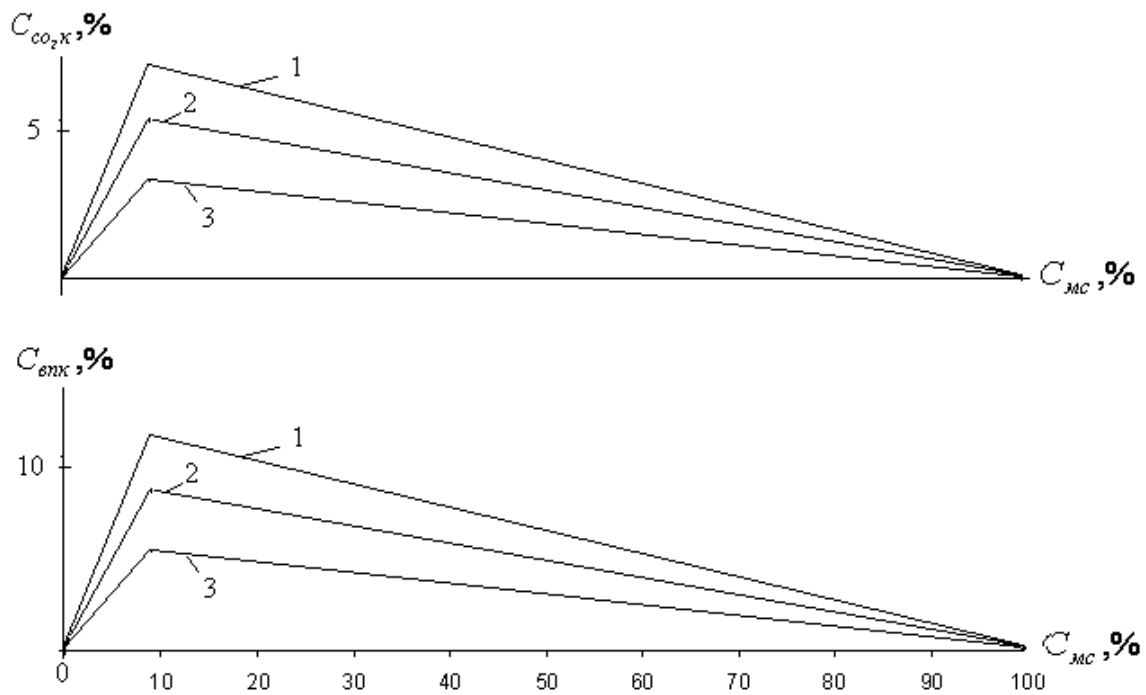


Рисунок 4.6 – Зміна вмісту вуглекислого газу й водяної пари в реакційній камері термокаталітичного датчика при зміні об'ємної частки метану в аналізованій суміші:
1 – при $\gamma_{\delta} = 0,5\gamma_{\dot{a}}$; 2 - $\gamma_{\delta} = \gamma_{\dot{a}}$; 3 - $\gamma_{\delta} = 2\gamma_{\dot{a}}$

Розглянемо, як вплинуть зміни газового складу в реакційній камері на результати виміру датчиком теплопровідності, для випадку $\gamma_{\delta} = \gamma_{\dot{a}}$ й об'ємній частці метану в суміші 5%, при якій у широкодіапазонних аналізаторах звичайно переходять від термокаталітичного до термокондуктометричного методу виміру. Склад аналізованої газової суміші й суміші в реакційній камері, характерний для даного випадку, наведений у табл. 4.1. Результати розрахунку теплопровідності суміші газів, для випадку $\gamma_{\delta} = \gamma_{\dot{a}}$ й об'ємній частці метану в суміші 5%, що виконані з використанням виразів Васильєвої і скоректованої формули Сатерленда [36, 37] при різній температурі нагрівання чутливого елемента датчика теплопровідності, наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Склад аналізованої газової суміші
й суміші в реакційній камері

Найменування суміші	Об'ємна частка компонентів суміші, %				
	CH ₄	O ₂	CO ₂	H ₂ ПРО	Інші
Аналізована суміш	5	20	0	0	75
Суміш у реакційній камері термокаталітичного датчика при $\gamma_{\delta} = \gamma_{\delta}$	2,5	16,5	3,5	5,1	73,4

Таблиця 4.2 – Теплопровідність аналізованої суміші
й суміші в реакційній камері

Найменування суміші	Коефіцієнт теплопровідності суміші $\lambda \cdot 10^3$ Вт/м·°С, при температурі термоелемента, °С		
	400	320	210
Аналізована суміш	40,667	37,646	33,431
Суміш у реакційній ка- мері термокаталітичного датчика при $\gamma_{\delta} = \gamma_{\delta}$	40,362	37,119	32,729

Виходячи з даних табл. 4.2, що розраховані за виразом

$$\delta U_{i\delta} = \frac{\lambda_{\delta} \lambda_{\tilde{N}i_4} (\lambda_{\tilde{N}yi_2} - \lambda_{\tilde{N}yi_1})}{\lambda_{\tilde{N}yi_1} \lambda_{\tilde{N}yi_2} (\lambda_{\tilde{N}i_4} - \lambda_{\delta})} 100\%, \quad (4.20)$$

де λ_{δ} , $\lambda_{\tilde{N}yi_1}$, $\lambda_{\tilde{N}yi_2}$, $\lambda_{\tilde{N}i_4}$ – коефіцієнти теплопровідності повітря, суміші метан-повітря, суміші метан-повітря-невимірюваний компонент і метану відповідно, значення погрішності виміру, обумовленої невідповідністю газової складу суміші в реакційній камері аналізованої суміші, при об'ємній частці метану 5% і температурі розігріву термоелементів 400 °С становить 0,7%. Максимальне значення цієї погрішності буде при об'ємній частці метану 9% і становить 1,26%, що в цілому задовольняє пропонованим вимогам до засобів контролю вибухонебезпечності. Однак досвід експлуатації аналізаторів метану і їх дослідження в лабораторних умовах [53, 54, 55] показують, що при наявності високої концентрації метану, його вищих гомологів, водню й оксиду вуглецю й температурі попереднього розігріву порівняльного елемента термокаталітичного

датчика 400°C спостерігається їх інтенсивне окислювання на даному елементі, що призводить до провалів вихідної характеристики вимірювального моста. Крім того, виконані дослідження [55], показали, що при такій температурі нагрівання порівняльного елемента термokatалітичного датчика відбувається накопичення продуктів термічної деструкції вуглеводнів на його поверхні, що приводить до зміни процесів теплообміну. Все це практично виключає можливість використання порівняльного елемента термokatалітичного датчика як датчика теплопровідності при даному тепловому режимі його роботи.

Для виключення процесів карбонізації порівняльного елемента й окислювання на ньому горючих газів нами запропонований спосіб виміру, що полягає у використанні в термokatалітичних датчиках різних теплових режимів термоелементів [44, 57]. У цьому випадку розраховане по виразу (4.20) значення погрішності виміру, обумовленої невідповідністю газової складу суміші в реакційній камері аналізованої суміші, при об'ємній частці метану 5% і температурі розігріву порівняльного термоелемента 320 і 210 °C, відповідно становить 1,45 і 2,1%, а максимальне значення цієї погрішності при об'ємній частці метану 9% відповідно становить 2,61 і 3,78%. Як видно, при використанні як датчика теплопровідності порівняльного елемента термokatалітичного датчика, працюючого при більш низькій температурі розігріву, погрішність виміру через розходження газового складу істотно зростають.

Слід також зазначити, що при зменшенні газодифузійної провідності фільтра склад газу в камері більшою мірою відрізняється від складу аналізованої суміші (рис. 4.5 і 4.6), що призводить до збільшення погрішності виміру. При більшій газодифузійній провідності фільтра зазначена погрішність зменшується, однак у цьому випадку можливі температурні перевантаження робочого елемента термokatалітичного датчика або (при живленні вимірювального моста в режимі стабілізації напруги на робочому елементі) виникає істотний гістерезис показань [33].

Вказані вище недоліки обмежують можливість використання порівняльного елемента термokatалітичного датчика як датчика теплопровідності. Тому

на практиці при розробці апаратури газового контролю, при переході з термокаталітичного методу контролю на термокондуктометричний, каталітично активний елемент або відключають, або знижують його температуру до величини, при якій припиняється горіння на ньому метану. Так, в серійному аналізаторі Сигнал-9 [58] використано термокаталітичний датчик з різним температурним режимом термоелементів, а при переході в режим контролю теплопровідності (при об'ємному вмісті метану понад 5%) каталітично активний елемент шунтується. Для забезпечення стабільного теплового режиму порівняльного елемента термокаталітичного датчика вибрано режим живлення вимірювального моста стабільним струмом.

Розглянемо другий варіант роботи датчика при високих концентраціях метану, коли при досягненні граничного значення концентрацій проводиться відключення каталітично активного елемента. Об'ємна частка метану, кисню й інших газів у реакційній камері в момент відключення каталітично активного елемента буде визначатися згідно з виразами (4.1), (4.13), (4.18) і (4.19).

Після відключення каталітично активного елемента відбувається зміна концентрації газів у камері аж до вирівнювання газового складу в камері датчика й в аналізованій суміші. Швидкість зміни об'ємної частки метану в цьому випадку складе

$$\frac{d\tilde{N}_{i\tilde{e}}}{dt} = \frac{\gamma_{\delta}}{V_p} (\tilde{N}_{ic} - \tilde{N}_{i\tilde{e}}), \quad (4.21)$$

де V_p – об'єм реакційної камери, м³.

З урахуванням початкових умов рішення рівняння має вигляд

$$\tilde{N}_{i\tilde{e}} = \tilde{N}_{ic} - (\tilde{N}_{ic} - C_{i\tilde{e}0}) \exp\left(-\frac{\gamma_{\delta}}{V_{\delta}} t\right), \quad (4.25)$$

де $C_{i\tilde{e}0}$ - об'ємна частка метану в камері в момент відключення, %.

З виразу (4.25) видно, що тривалість перехідного процесу визначається величиною відношення дифузійної провідності фільтра до об'єму реакційної камери. Так, наприклад, об'єм реакційної камери термокаталітичних датчиків,

що використовують в серійних аналізаторах метану АТ1-1 і АТ3-1, становить біля $V_{\delta} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$. Експериментально визначена величина дифузійної провідності металокерамічного фільтра термokatалітичних датчиків для цих аналізаторів становить $\gamma_{\delta} = 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ [33, 59]. При таких значеннях дифузійної провідності фільтра й об'єму реакційної камери постійна часу становить $\tau = 4 \text{ с}$ і можна вважати, що за час 3τ концентрації метану і у реакційній камері і в аналізованій суміші практично вирівнюються.

С урахуванням трохи меншого значення коефіцієнта дифузії вуглекислого газу, в порівнянні з коефіцієнта дифузії метану, можна вважати, що в розглянутих датчиках після вимикання каталітично активного елемента перехідний газодинамічний процес триватиме близько 20 секунд. Після закінчення цього часу склад газової суміші в камері й навколишнім середовищі можна вважати ідентичним.

Відключення або зміна режиму роботи каталітично активного елемента датчика шляхом його шунтування призводить до зменшення сумарного тепловіділення від чутливих елементів й, відповідно, до зниження середньої температури газу в камері й температури порівняльного елемента. При аналізі процесу теплопередачі від нагрітого елемента до стінок камери [43] середню температуру газу звичайно визначають як

$$t_m = (t_c + t_{\epsilon}) / 2, \quad (4.26)$$

де t_c і t_{ϵ} – відповідно температура елемента й стінок камери, °С.

У свою чергу, виконані нами дослідження впливу параметрів газового середовища на температурні режими термоелементів у мостових вимірювальних схемах аналізаторів метану [60] показали, що при стабільній величині струму, що протікає через чутливі елементи, зміну температури стінок камери на величину Δt_{ϵ} приводить до зростання на аналогічну величину температури елемента й середньої температури газу в камері.

Тепло, що виділяється чутливими елементами термokatалітичного датчи-

ка, виділяється від реакційної камери в навколишнє середовище за рахунок наявності температурного напору $\Delta t_{\bar{a}}$ шляхом теплопровідності повітря й елементів кріплення датчика, конвекції, теплопровідності струмопідвідних провідників і випромінювання.

Тепловий напір

$$\Delta t_{\bar{a}} = t_c - t_{\bar{a}} \quad (4.27)$$

залежить від тепловиділення чутливих елементів й умов теплообміну.

Основними формами перенесення тепла від датчика в навколишнє середовище є теплопровідність і конвекція [32]. Процес теплопередачі за рахунок теплопровідності газового середовища й конвекції звичайно спрощують і розглядають як кондуктивну теплопередачу. У такому випадку можна записати

$$\dot{D}_{\bar{a}} = \alpha_{\bar{e}} F_{\bar{e}} \Delta t_{\bar{a}} + \alpha_{\bar{o}} F_{\bar{o}} \Delta t_{\bar{a}} = (\alpha_{\bar{e}} F_{\bar{e}} + \alpha_{\bar{o}} F_{\bar{o}}) \Delta t_{\bar{a}}, \quad (4.28)$$

де $\alpha_{\bar{e}}$, $\alpha_{\bar{o}}$ - відповідно, коефіцієнти теплопередачі елементів кріплення і фільтра, Вт/(м²·°C); $F_{\bar{e}}$, $F_{\bar{o}}$ - відповідно, площа контакту підстави датчика з елементами кріплення й площа фільтра, м².

Як видно з виразу (4.28), тепловий напір у цьому випадку лінійно пов'язаний з потужністю, що виділяється в термоелементах, котра у свою чергу визначається потужністю від проходження електричного струму й потужністю, що виділяється на активному елементі, внаслідок окислювання метану. При відключенні активного елемента ця потужність, а отже й тепловий напір $\Delta t_{\bar{a}}$, знижуються більш ніж у два рази.

Тепловий напір $\Delta t_{\bar{o}}$ в аналізаторах метану перебуває в межах 10-20 °C. У такому випадку при відключенні активного елемента величина $\Delta t_{\bar{e}}$ може становити більше 10 °C і на таку ж величину може знизитися температура порівняльного елемента. Очевидно, що в цьому випадку виміри датчиком теплопровідності можливі тільки після закінчення перехідного теплового процесу або при введенні в аналізатор вузлів й елементів, що забезпечують стабільну температуру реакційної камери.

На відміну від перехідних газодинамічних процесів у термокаталітичних і термокондуктометричних газоаналізаторах, перехідні теплові процеси протікають істотно повільніше. Так, час прогріву після включення для різних типів аналізаторів нормується в діапазоні від 10 до 60 хвилин [58, 61]. Тривалість перехідного теплового процесу в аналізаторах визначається масою й теплоємністю конструктивних елементів датчика й умовами теплообміну. За аналогією з (4.21) рівняння, що описує зміну температури реакційної камери, у спрощеному вигляді можна представити як

$$\frac{dt_{\dot{e}}}{dt} = \frac{\alpha_{\dot{e}} F_{\dot{e}} + \alpha_{\dot{o}} F_{\dot{o}}}{m_i C_i + m_o C_o} (t_c - t_{\dot{e}}), \quad (4.29)$$

де m_i , m_o – відповідно, маса підстави датчика й фільтра, кг; C_i , C_o – теплоємність матеріалу підстави датчика й фільтра, Дж/(кг·К).

З урахуванням початкових умов, рішення рівняння має вигляд

$$t_{\dot{e}} = t_{\dot{e}i} + (t_c - t_{\dot{e}0}) \left[1 - \exp\left(-\frac{\alpha_{\dot{e}} F_{\dot{e}} + \alpha_{\dot{o}} F_{\dot{o}}}{m_i C_i + m_o C_o} t\right) \right], \quad (4.30)$$

де $t_{\dot{e}0}$ – температура камери в момент відключення елемента, °С.

Коефіцієнт теплопередачі фільтра залежить від величини змушеної конвекції повітря, що залежить у свою чергу від швидкості руху повітря в гірничий виробці або суміші у трубопроводі й конструктивних особливостях елементів, що забезпечують газообмін між датчиком і навколишнім середовищем. Мінімальне значення $\alpha_{\dot{o}}$ буде при відсутності змушеної конвекції повітря. Його значення в такому випадку буде визначатися коефіцієнтом теплопровідності повітря й товщиною газового прошарку між фільтром і корпусом аналізатора.

Коефіцієнт теплопередачі елементів кріплення при установленні підстави датчика в ущільнююче гумове кільце фактично буде визначатися коефіцієнтом теплопровідності матеріалу кільця $\lambda_{\dot{e}}$ і його товщиною $d_{\dot{e}}$

$$\alpha_{\dot{e}} = \lambda_{\dot{e}} d_{\dot{e}}. \quad (4.31)$$

Максимальне значення постійної часу, розраховане з урахуванням реаль-

них параметрів датчика аналізатора «Сигнал-9» при відсутності змушеної конвекції повітря, становить 123 секунди. Отже, можна вважати, що перехідний процес, пов'язаний зі зміною температурного режиму в реакційній камері внаслідок відключення каталітично активного елемента, триває до 6 хвилин.

Виключити перехідні теплові й газодинамічні процеси при відключенні або шунтуванні каталітично активного елемента в термокаталітичних датчиках газоаналізаторів можна при роздільній подачі аналізованої суміші до чутливих елементів датчиків, тобто при розміщенні чутливих елементів під окремими газодифузійними фільтрами. У запропонованих двокамерних термокаталітичних датчиках [62, 63] з метою виключення збоїв у роботі аналізаторів при високих концентраціях метану, викликаних окислюванням на порівняльному елементі горючих газів, газодифузійний опір фільтра камери з порівняльним елементом вибирався на кілька порядків більшим, ніж опір фільтра камери з робочим елементом. У нашому випадку при використанні порівняльного елемента термокаталітичного датчика як датчик теплопровідності, газодифузійний опір фільтрів камер варто вибирати однаковим, а для виключення окислювання горючих газів на порівняльному елементі та його карбонізації, використати запропонований нами спосіб виміру, що відрізняється вибором різних теплових режимів термоелементів [44, 57].

4.3.3 Способи забезпечення різних теплових режимів

чутливих елементів в універсальних датчиках метану

Забезпечити різні теплові режими чутливих елементів можна різними способами, наприклад, виконанням термоелементів з різним опором або різними розмірами [44]. Проведені дослідження [42] показали, що при застосуванні терморезисторів з однаковим початковим опором, але з різною площею поверхні й живленні вимірювального моста від джерела стабільного струму, термічна стабільність моста забезпечується за умови його симетрування, що здійснюється включенням додаткового опору в гілку моста з порівняльним елементом. Чутливість вимірювального моста й параметри його живлення в цьому випадку є

аналогічними параметрам моста із серійним термокаталітичним датчиком.

Розміщення чутливих елементів під окремими фільтрами дозволяє повністю виключити перехідні температурні й газодинамічні процеси при переході аналізатора в режим виміру теплопровідності й у той же час забезпечується ідентичність газового складу в камері з порівняльним елементом термокаталітичного датчика й у навколишнім середовищі, незалежно від режимів роботи каталітично активного елемента. Крім того, при істотному обмеженні подачі аналізованого середовища в реакційну камеру з каталітично активним елементом цей елемент може не відключатися у всьому діапазоні можливих концентрацій метану.

Температуру розігріву порівняльного елемента термокаталітичного датчика, що використовується як датчик теплопровідності, варто вибирати в діапазоні 240-250 °С. Це дозволяє виключити окислювання на ньому вищих гомологів метану, водню й оксиду вуглецю, які можуть бути присутнім у рудниковому газі, та потрапляти у дегазаційні трубопроводи, а також запобігти накопиченню продуктів термічної деструкції вуглеводнів на його поверхні [64].

При живленні вимірювального моста з термокаталітичним датчиком від джерела стабільного струму й використанні його порівняльного елемента як датчика теплопровідності, об'ємна частка метану визначається по величині напруги на даному елементі. У свою чергу, при такому режимі живлення величина цієї напруги залежить як від теплопровідності суміші, так і від її температури [57]. Тому в цьому випадку обов'язкова наявність в аналізаторі датчика температури та необхідність здійснення корекції результатів виміру, виходячи з його показань.

У той же час, розміщення чутливих елементів під окремими фільтрами й використання різних температурних режимів елементів дозволяє без зміни параметрів живлення аналізатора одночасно використати два вимірювальних мости для виміру низьких і високих концентрацій метану. Схема запропонованого нами вимірювального моста універсального широкодіапазонного аналізатора метану наведена рис. 4.7.

У запропонованому мосту (рис. 4.7) вихідна напруга термокаталітичного датчика $U_{\ddot{a}\delta 1}$ знімається з діагоналі першого моста (точки AB), одна галузь якого утворена робочим термоелементом термокаталітичного датчика й послідовно включеними порівняльним елементом, компенсаційним елементом і додатковими резисторами, а друга галузь – баластовими резисторами R_1 , R_2 . Початковий опір порівняльного й компенсаційного елемента в цьому випадку становить

$$R_{0\ddot{n}} = R_{0\dot{e}} = 0,5R_{0\delta}. \quad (4.32)$$

Площа поверхні $F_{\ddot{n}} = F_{\delta}$, а площа компенсаційного елемента $F_{\dot{e}} \gg F_c$.

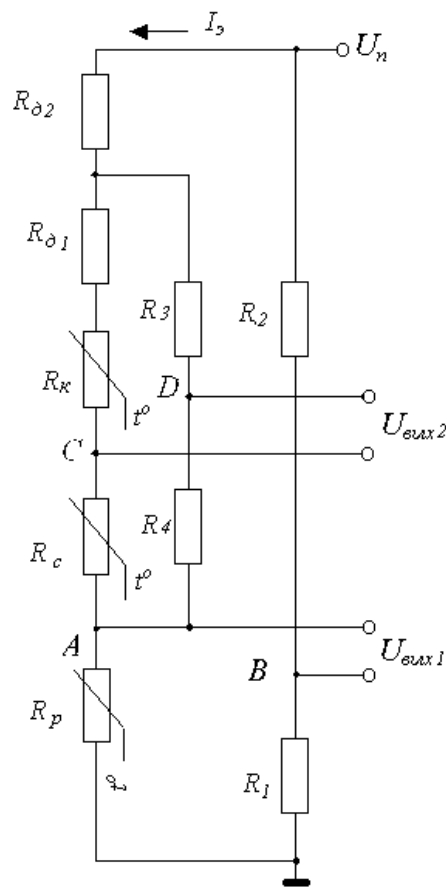


Рисунок 4.7 – Схема вимірювального моста універсального широкодіапазонного аналізатора метану:
 R_p, R_c – відповідно, робочий і порівняльний термоелементи термокаталітичного датчика;
 R_e – компенсаційний термоелемент термокондуктометричного датчика; $R_{\dot{a}1}, R_{\ddot{a}2}$ – додаткові резистори; $R_1 - R_4$ – баластові резистори

Опір баластових резисторів R_3 і R_4 вибираються на кілька порядків більше опорів термоелементів і можуть при аналізі не враховуватися.

При незалежності величини опору додаткових і баластових резисторів від параметрів живлення й газового середовища умова збереження нуля збалансованого моста буде мати вигляд

$$\frac{\Delta U_p}{\Delta U_{ск}} = \frac{U_p}{U_{ск}}, \quad (4.33)$$

де U_δ , ΔU_p – відповідно, напруга на робочому елементі і його зміна при зміні неконтрольованих параметрів, В; $U_{\tilde{n}\tilde{e}}$, $\Delta U_{\tilde{n}\tilde{e}}$ – відповідно, напруга на ділянці моста з порівняльним і компенсаційним елементами і його зміна при зміні неконтрольованих параметрів, В.

Величина напруги на робочому термоелементі складе

$$U_p = I_{\tilde{a}} R_{0\delta} (1 + \beta t_{\tilde{a}}) + \beta b_{\delta} R_{0\delta} I_{\tilde{a}}^3. \quad (4.34)$$

Напруга на другому плечі вимірювального моста

$$U_{\tilde{n}\tilde{e}} = I_{\tilde{a}} (R_{0\tilde{n}} + R_{0\tilde{e}}) (1 + \beta t_{\tilde{a}}) + \beta I_{\tilde{a}}^3 (b_{\tilde{n}} R_{0\tilde{n}} + b_{\tilde{e}} R_{0\tilde{e}}) + I_{\tilde{a}} (R_{\tilde{a}1} + R_{\tilde{a}2}). \quad (4.35)$$

При стабільній величині струму всі величини, що входять у вираз (4.32) і (4.35), є незалежними від температури газу. У такому випадку

$$\frac{dU_\delta}{dt_c} = I_{\tilde{a}} R_{0p} \beta, \quad (4.36)$$

$$\frac{dU_{\tilde{n}\tilde{e}}}{dt_c} = I_{\tilde{a}} \beta (R_{0c} + R_{0\tilde{e}}). \quad (4.37)$$

Виходячи з виражень (4.36) і (4.37), при симетруванні вимірювального моста шляхом вибору величини додаткового опору, у випадку зміни температури газового середовища умова (4.33) виконується якщо

$$R_{0\tilde{n}} + R_{0\tilde{e}} = R_{0\delta}. \quad (4.38)$$

Таким чином, при вибраному значенні початкового опору елементів

(4.32) і харчуванні моста від джерела стабільного струму, симетричний вимірювальний міст із термокаталітичним датчиком є термічно стабільним.

Вихідна напруга термокондуктометричного датчика $U_{a\delta\delta 2}$ знімається з діагоналі другого моста (точки CD). Одна гілка цього моста утворена порівняльним термоелементом термокаталітичного датчика, а також послідовно включеними компенсаційним елементом і додатковим резистором $R_{\delta 1}$, а друга гілка - баластовими резисторами R_3, R_4 (рис. 4.7).

Величина напруги на порівняльному елементі, що у даному мосту виконує функції чутливого елемента термокондуктометричного датчика, буде

$$U_c = I_{\delta} R_{0c} (1 + \beta t_c) + \beta b_c R_{0c} I_{\delta}^3. \quad (4.39)$$

Напруга на другому плечі вимірювального моста

$$U_k = I_{\delta} R_{0k} (1 + \beta t_c) + \beta b_k R_{0k} I_{\delta}^3 + I_{\delta} R_{\delta 1}. \quad (4.40)$$

При стабільній величині струму всі величини, що входять у вираз (4.39) і (4.40), є незалежними від температури газу. У такому випадку

$$\frac{dU_c}{dt_c} = I_{\delta} R_{0c} \beta, \quad (4.41)$$

$$\frac{dU_k}{dt_c} = I_{\delta} R_{0k} \beta. \quad (4.42)$$

Виходячи з виразів (4.41) і (4.42), при симетруванні вимірювального моста шляхом підбора величини додаткового опору, вибраному значенні початкового опору елементів і живленні моста від джерела стабільного струму, симетричний вимірювальний міст із термокондуктометричним датчиком також є термічно стабільним.

Використовуючи отримані вираз (4.32), (4.33), (4.39), (4.40), а також залежності температури й опору термоелементів від їх параметрів і режимів роботи, розрахуємо значення величин додаткових опорів, необхідних для симетрування вимірювальних мостів, і температурних режимів елементів. Розрахунки виконаємо при наступних значеннях параметрів: $I_{\delta} = 0,2 \text{ А}$; $R_{0\delta} = 2,0 \text{ Ом}$;

$$R_{0\bar{n}} = R_{0\bar{e}} = 1,0 \text{ Ом}; \beta = 0,004 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}; t_{\bar{a}} = 20 \text{ } ^{\circ}\text{C}; b_p = 1 \cdot 10^4 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{A}^2; b_c = 0,5 \cdot 10^4 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{A}^2; \\ b_k = 0,05 \cdot 10^4 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{A}^2.$$

Розрахункові значення температурних режимів й опорів додаткових резисторів при зазначених параметрах становлять: $t_p = 420 \text{ } ^{\circ}\text{C}$; $t_c = 220 \text{ } ^{\circ}\text{C}$; $t_k = 40 \text{ } ^{\circ}\text{C}$; $R_{o1} = 0,72 \text{ Ом}$; $R_{o2} = 1,6 \text{ Ом}$.

Таким чином, при застосуванні вимірювального моста, наведеного на рис. 4.7 із зазначеними параметрами елементів і живленні моста від джерела стабільного струму, забезпечуються термічна стабільність аналізатора й можливість виміру концентрації метану у всьому діапазоні можливих його значень. При настроюванні аналізатора спочатку здійснюється установка нуля й термічне балансування моста з датчиком теплопровідності, а потім – установка нуля й термічне балансування вимірювального моста з термокаталітичним датчиком.

Слід також зазначити, що при застосуванні двокамерного датчика виключається також взаємний тепловий вплив термоелементів при зміні просторового положення датчика. Крім того, розміщення в реакційній камері тільки одного елемента й відсутність екрана, установлюваного в однокамерних датчиках для зниження взаємного теплового впливу елементів, дозволяє істотно зменшити об'єм реакційної камери й, отже, зменшити постійну часу термокаталітичного датчика й збільшити швидкодію аналізатора.

4.4 Лабораторні дослідження первинних перетворювачів для контролю метану в трубопроводах

Як було показано раніше при розробці універсальних широкодіапазонних аналізаторів з діапазоном виміру об'ємної частки метану 0-100% найбільше доцільно одночасне використання термокаталітичного й термокондуктометричного методів виміру. При практичній реалізації методів доцільне використання двокамерного датчика, що містить каталітично активні, порівняльний і компенсаційний елементи, що відрізняються своїми параметрами й тепловими режимами.

У запропонованій схемі включення датчика (рис. 4.7) вимірювальний міст низьких концентрацій утворений робочим термоелементом термокаталітичного датчика й послідовно включеними порівняльним і компенсаційним елементами, а вимірювальний міст високих концентрацій – порівняльним і компенсаційним елементами. Співвідношення початкового опору елементів у даному датчику становить $R_{0c} = R_{0к} = 0,5R_{0p}$. Площа поверхні $F_c = F_p$, а площа компенсаційного елемента $F_k \gg F_c$.

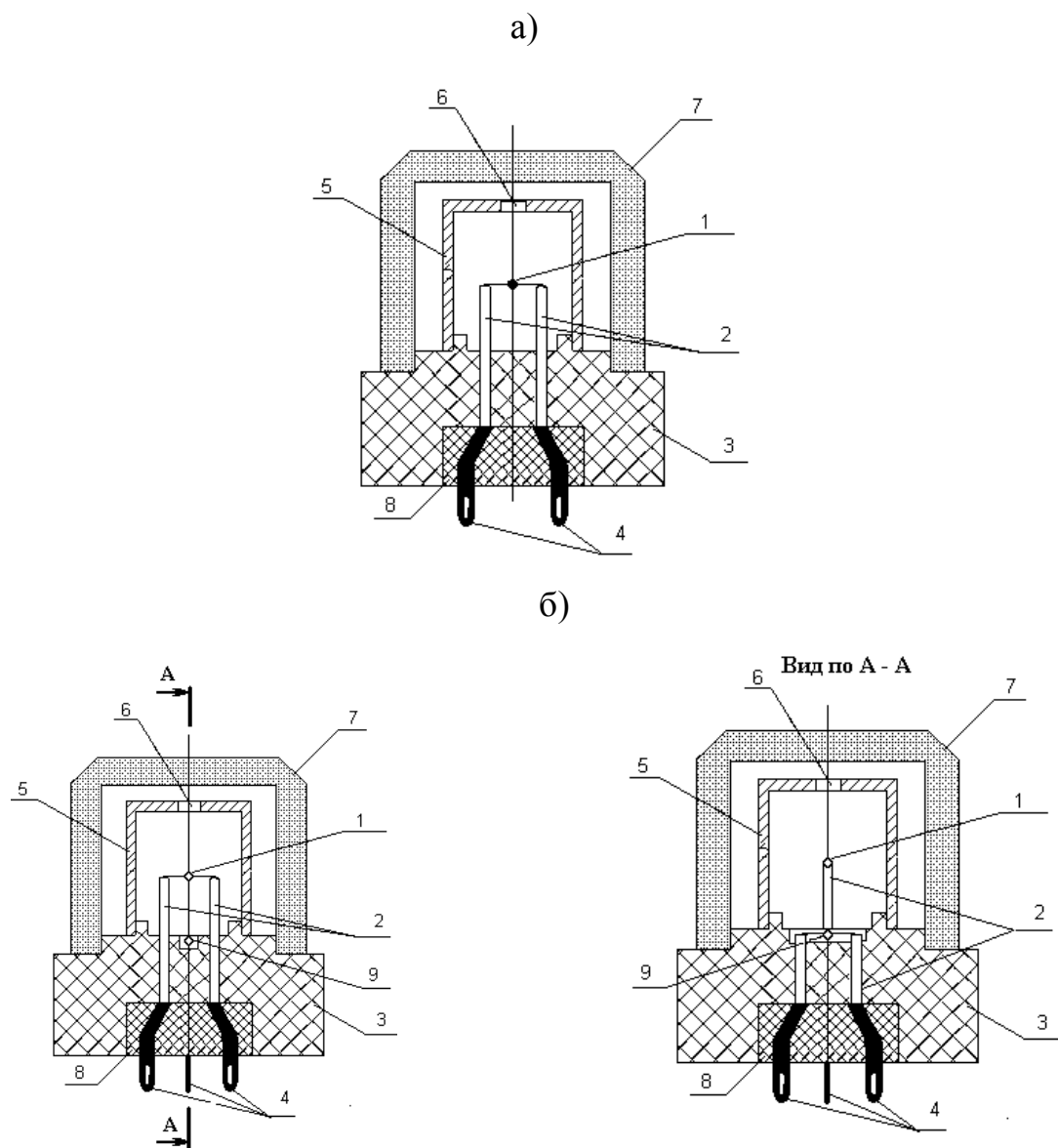


Рисунок 4.8 – Двокамерний датчик широкодіапазонного аналізатора метану: а – камера з каталітично активним елементом, б – камера з порівняльним і компенсаційним елементами: 1, 9 – чутливі елементи; 2 – тримачі; 3 – діелектрична підстава; 4 – підводи струму; 5 – стакан; 6 – калібрований отвір; 7 – металокерамічний фільтр; 8 – компаунд

На базі запропонованого рішення можлива реалізація декількох варіантів виконання двокамерних датчиків. Один з варіантів полягає в роздільному розташуванні чутливих елементів (рис. 4.8). У цьому випадку робочий і порівняльний термоелементи розміщуються в окремих склянках, герметично закріплених на діелектричній підставі. Склянки мають калібровані отвори однакового діаметра й захищаються від впливу забрудненого середовища окремими металокерамічними фільтрами. Діаметр каліброваних отворів вибирається з умови забезпечення необхідної чутливості й виключення перегріву робочого елемента при роботі аналізатора при високих концентраціях метану.

У першій камері, симетрично до її поверхні, установлений каталітично активний елемент R_p термокаталітичного датчика. У другій камері аналогічним образом установлений порівняльний елемент R_c термокаталітичного датчика, одночасно використовуваний як чутливий елемент термокондуктометричного датчика. Компенсаційний елемент R_k установлений у спеціально виконаному поглибленні в основі датчика й приливається до нього, разом з кінцями відповідних власників, компаундом. Така установка R_k забезпечує ідентичність газових камер і виключає взаємний тепловий вплив елементів. Крім того, установка компенсаційного елемента безпосередньо на основі забезпечує мале значення терморезистивного коефіцієнта b_p й виключає просторовий зсув елемента, що можливий при використанні елемента великого розміру й маси.

Для проведення лабораторних досліджень був виготовлений двокамерний датчик з наступними параметрами елементів: $R_{0p} = 2,0$ Ом; $R_{0c} = R_{0k} = 1,0$ Ом; $\beta = 0,004$ 1/°C.

При величині струму через елементи $I_y = 200$ мА й температурі навколишнього середовища $t_e = 20$ °C вимірювалися напруги на елементах і були розраховані значення їх температур та величини терморезистивних коефіцієнтів, які відповідно склали: $t_\delta = 421,2$ °C; $b_p = 1,003 \cdot 10^4$ °C/A²; $t_{\tilde{n}} = 220,6$ °C; $b_c = 0,5015 \cdot 10^4$ °C/A²; $t_e = 23,6$ °C; $b_k = 0,009 \cdot 10^4$ °C/A².

Розрахункові значення опору термоелементів і величин додаткових резисторів, необхідних для симетрування моста, склали: $R_p = 5,37 \text{ Ом}$; $R_c = 1,88 \text{ Ом}$; $R_k = 1,18 \text{ Ом}$; $R_{\partial 1} = 0,72 \text{ Ом}$; $R_{\partial 2} = 1,61 \text{ Ом}$.

Розроблений датчик включався в схему вимірювального моста, живлення якого здійснюється від джерела стабільного струму (рис. 4.9).

Як датчики струму використовувалися додаткові резистори, які одночасно використовуються для симетрування моста й резистора R_m , розрахункове значення опору якого при струмі через термоелементи 200 мА становить 3,87 Ом.

Оцінка температурної стабільності нуля вимірювального моста здійснювалася на експериментальній установці НВО «Червоний металіст» і знімалася залежність $U_{\partial\partial} = f(C)$ у діапазоні концентрації метану 0-100% при температурі повітря в приміщенні $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Результати досліджень наведені на рис. 4.10-4.11.

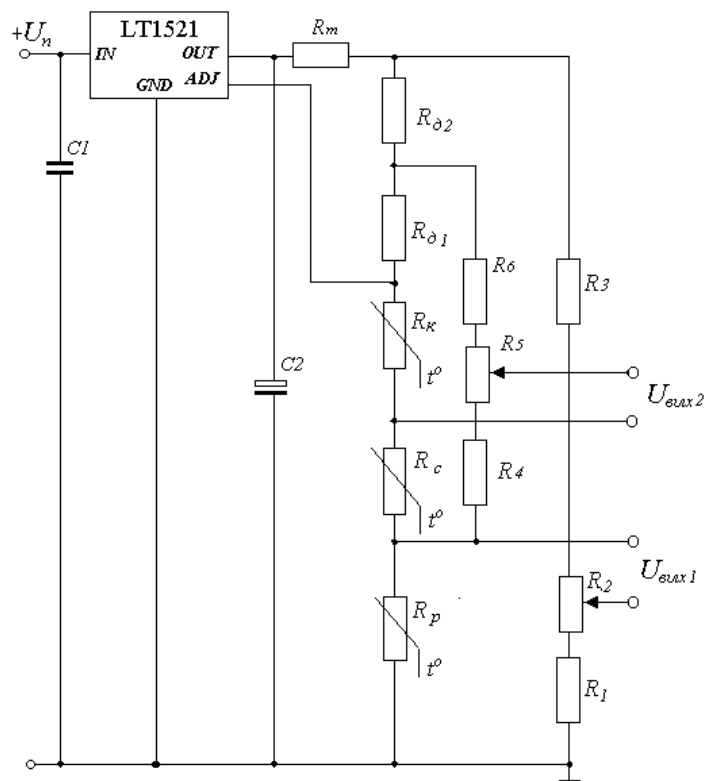


Рисунок 4.9 – Схема підключення вимірювального моста широкодіапазонного аналізатора метану із двокамерним датчиком при живленні стабільним струмом

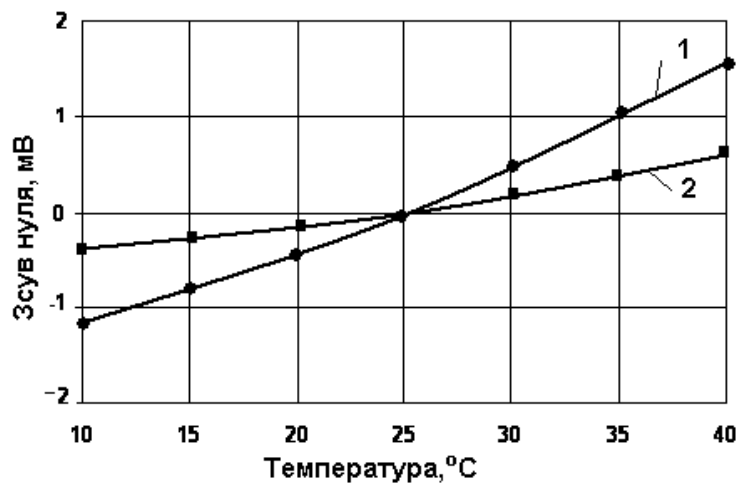


Рисунок 4.10 – Зсув нуля мостових вимірювальних схем:

1 – моста з термокаталітичним датчиком;

2 – мости з датчиком теплопровідності

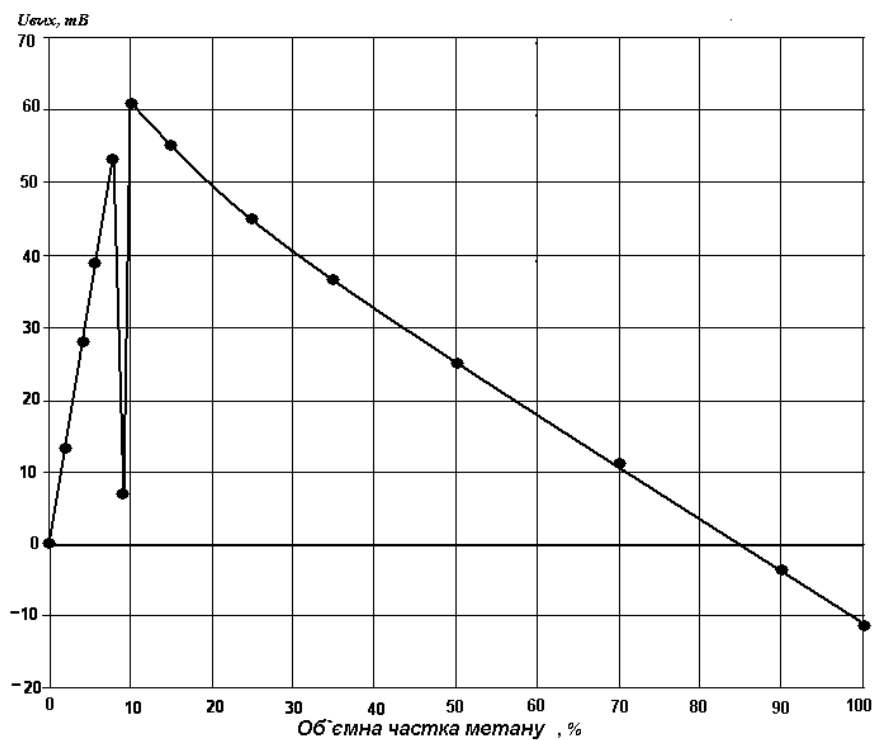


Рисунок 4.11 – Залежність $U_{\text{вих}} = f(C)$ при зміні об'ємної частки метану від 0 до 100%

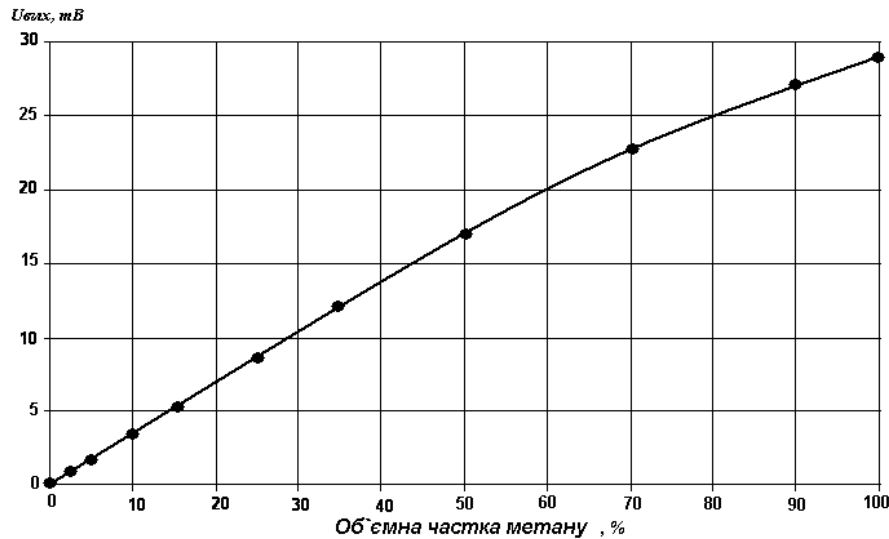


Рисунок 4.12 – Залежність $U_{\text{вх}} = f(C)$ при зміні об'ємної частки метану від 0 до 100%

Оцінка температурної стабільності мостових вимірювальних схем показала, що зсув нуля моста з каталітично активним елементом при зміні температури в діапазоні 25 ± 15 °C не перевищує 1,5 мВ, що трохи більше величини зсуву, отриманого при дослідженнях розроблених нами датчиків з різними тепловими режимами чутливих елементів [57]. Зсув нуля моста з датчиком теплопровідності в даному діапазоні температур не перевищив 0,5 мВ. Слід зазначити, що обоє вимірювальних моста можуть бути термічно збалансовані за методикою, наведеною в [34], що дозволяє практично на порядок зменшити їх температурну нестабільність.

Дослідження залежності $U_{\text{вх}} = f(C)$ показали, що при довибухових концентраціях метану вона має практично лінійний вид (рис. 4.11). При збільшенні об'ємної частки метану від 8-9% спостерігається короткочасний провал характеристики (до декількох секунд). У діапазоні від 10 до 100% залежність має спадний і практично лінійний вид. При 100% метану спостерігається істотний зсув нуля вимірювального моста в область негативних значень напруги, що пояснюється більш інтенсивним охолодженням робочого термоелемента в порівнянні з порівняльним у середовищі з більшою теплопровідністю. Залежність $U_{\text{вх}} = f(C)$ не відрізняється від аналогічних залежностей, отриманих нами

при дослідженні однокамерних кондуктометричних датчиків з різними тепловими режимами [65, 66].

Для підвищення вірогідності результатів досліджень була виготовлена партія однокамерних термокондуктометричних датчиків (10 шт.) із зазначеними параметрами чутливих елементів, проведені їх лабораторні дослідження в газовій камері й оцінена температурна стабільність мостових схем. Результати дослідження температурної стабільності мостових вимірювальних схем показали, що без додаткового термічного балансування зсув нуля моста з каталітично активним елементом при зміні температури в діапазоні 25 ± 15 °С у всіх датчиків не перевищує 1,8 мВ, а зсув нуля моста з датчиком теплопровідності – 0,7 мВ. Зона температурних зсувів нуля мостових схем наведена на рис. 4.13 і 4.14.

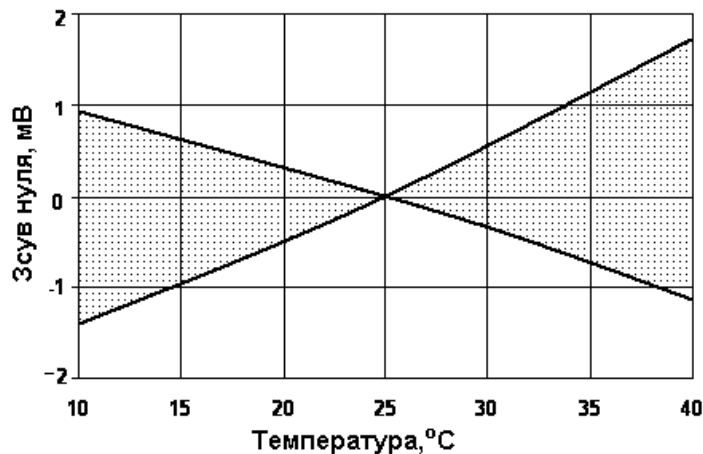


Рисунок 4.13 – Зона температурних зсувів нуля мостової вимірювальної схеми з термокаталітичним датчиком

Після проведення термічного балансування температурний дрейф нуля зменшився практично на порядок.

Дослідження залежності $U_{\text{в}} = f(C)$ показали, що всі датчики мають характеристики ідентичні наведеним на рис. 4.11 і рис. 4.12. Розкид вихідних сигналів вимірювальних мостів при цьому не перевищує 5%, що свідчить про високі метрологічні характеристики розроблених первинних перетворювачів для універсальних широкодіапазонних аналізаторів метану.

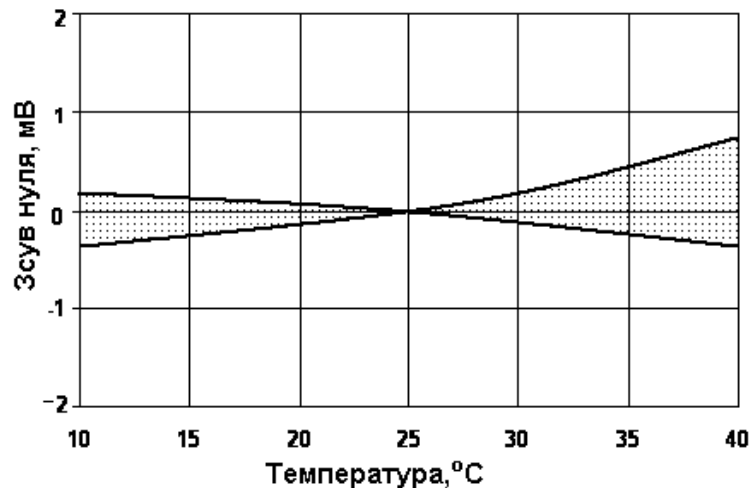


Рисунок 4.14 – Зона температурних зсувів нуля мостової вимірювальної схеми з датчиком теплопровідності

4.5 Реалізація результатів досліджень і перспективи подальшого вдосконалювання засобів контролю метану

Розроблені з урахуванням теоретичних й експериментальних досліджень двокамерні термокаталітичні й однокамерні термокондуктометричні датчики метану є виробами, повністю уніфікованими стосовно апаратури газового контролю, що випускаються серійно НВО «Червоний металіст». З огляду на це, вони можуть використовуватися замість датчиків, що випускалися раніше, аналогічного призначення, без яких-небудь змін у принциповій електричній схемі й конструкції апаратури.

У теперішній час основними видами стаціонарної апаратури газового контролю, що використовуються для контролю вибухонебезпечності газових сумішей у дегазаційних трубопроводах, є апаратура АКРД із двокамерним термокондуктометричним датчиком метану ДМД.

Стаціонарні аналізатори метану (у тому числі й в апаратурі АКРД) включають виносні перетворювачі первинні – ПП.3. У його корпусі, що, у свою чергу встановлюється на дегазаційному трубопроводі, розміщується двокамерний термокондуктометричний датчик метану, згідно рис. 4.15.

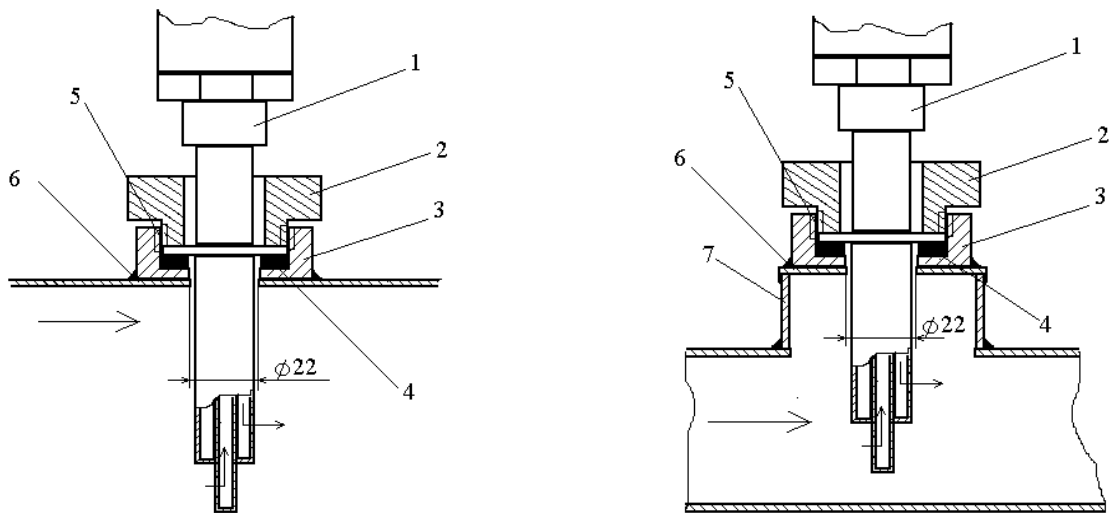


Рисунок 4.15 – Спосіб установки перетворювача ПП.3 на трубопроводі:
 а - великого діаметра; б – малого діаметра; 1 – перетворювач ПП.3; 2 – накидна гайка; 3 – гніздо; 4 – прокладка;
 5 – нарізне сполучення; 6 – місце зварювання; 7 – патрубок

Основні метрологічні параметри апаратури АКРД із двокамерним термокондуктометричним датчиком наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні метрологічні параметри апаратури АКРД із двокамерним термокондуктометричним датчиком

№ п/п	Найменування показника	Значення показника
1	Діапазону вимірів об'ємної частки метану, %.	0-99,9
2	Об'ємна частка метану, при якій спрацьовує виконавчий пристрій по першому рівні, %	30
3	Об'ємна частка метану, при якій спрацьовує виконавчий пристрій по другому рівні, %	25
4	Діапазон регулювання уставок спрацьовування по першому й другому рівнях в об'ємних частках метану, %	20-80
5	Межа абсолютної погрішності, що допускає основної, у діапазоні вимірюваних об'ємних часток метану 0-25 %	3
6	Межа абсолютної погрішності, що допускає, у діапазоні вимірюваних об'ємних часток метану 25-99,9%	$\delta = 3 + 0,04(-25)$
7	Час спрацьовування аналізаторів по об'ємному змісті метану, секунд, не більше:	15

8	Коефіцієнт повернення, не менш	0,8
---	--------------------------------	-----

Як видно, основні метрологічні параметри аналізаторів, досягнуті при використанні розроблених датчиків, практично повністю забезпечують виконання вимог до засобів контролю вмісту метану в дегазаційних трубопроводах, наведених у розділі 1.

Насамкінець відмітимо, що у перетворювач ПП.3 може бути вмонтований як однокамерний датчик з неізольованими термоелементами, так і запропонований універсальний широкодіапазонний датчик метану.

Висновки

Підводячи підсумки виконаних досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. Розміщення чутливих елементів під окремими фільтрами й використання різних температурних режимів елементів дозволяє без зміни параметрів живлення аналізатора одночасно використовувати два вимірювальних мости для виміру низьких і високих концентрацій метану. При застосуванні запропонованого вимірювального моста з розрахованими параметрами елементів і живленні моста від джерела стабільного струму забезпечуються термічна стабільність аналізатора й можливість виміру концентрації метану у всьому діапазоні можливих його значень.

2. При застосуванні двокамерного датчика виключається взаємний тепловий вплив термоелементів при зміні просторового положення датчика. Розміщення в реакційній камері тільки одного елемента й відсутність екрана, встановленого в однокамерних датчиках для зниження взаємного теплового впливу елементів, дозволяє істотно зменшити об'єм реакційної камери й, отже, зменшити постійну часу термодифузійного датчика й збільшити швидкодію аналізатора.

3. Розроблений двокамерний триелементний датчик, що містить каталітично активний, порівняльний і компенсаційний елементи, що відрізняються своїми параметрами й тепловими режимами, у якому виміри одночасно здійсню-

ються термодаталітичним і термокондуктометричними методами, може бути використаний в універсальних широкодіапазонних аналізаторах метану з межею виміру об'ємної частки метану 0-100%. При вибраному співвідношенні початкового опору й площі поверхні елементів запропонована схема включення датчика зі стабілізацією струму через чутливі елементи забезпечує необхідну температурну стабільність і чутливість аналізаторів метану у всьому діапазоні вимірюваних концентрацій.

4. Розроблені двокамерні термодаталітичні й однокамерні термокондуктометричні датчики метану є повністю уніфікованими виробами стосовно апаратури газового контролю, що випускаються серійно НВО «Червоний металіст». Використання цих датчиків в апаратурі АКРД замість датчиків аналогічного призначення, що випускалися раніше, дозволить істотно поліпшити метрологічні й експлуатаційні характеристики засобів газового контролю й підвищити надійність систем вибухозахисту, зокрема в дегазаційних трубопроводах. Причому в перетворювач ПП.3 апаратури АКРД може бути вмонтований як однокамерний датчик з неізолюваними термоелементами, так і запропонований універсальний широкодіапазонний датчик метану, що забезпечить контроль метану в трубопроводах у широкому діапазоні вмісту метану, і зокрема в діапазоні 3-25%, нормованому для дегазаційних трубопроводів.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень сформульована низка висновків.

1. Для умов Західного Донбасу обґрунтований весь комплекс вихідних геомеханічних і гірничотехнічних параметрів для максимально достовірного моделювання процесів деформування неоднорідного вуглевміщуючого дрібно-шаруватого породного масиву навколо пластової виробки. Розміри моделі вибрані з урахуванням несуттєвого впливу виробки на її межах, де виконуються вихідні негідростатичні умови розподілу вертикальних σ_y і горизонтальних σ_x компонентів напружень. Доведено, що при слабких зв'язках між сусідніми шарами діючі дотичні напруження τ_{xy} їх руйнують, і породні шари деформуються по площинах нашарування як незалежна одна від одної система. Цей фактор істотно змінює поле напружень і врахований у розроблюваній 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.

2. Для умов Західного Донбасу по стратиграфічних колонках 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.

3. 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 підшві пластової виробки розміри зон граничного стану (в основному від дії розтягальних напружень σ_x і σ_y) досить стабільні й охоплюють два породних шари в покрівлі й один шар у підшві. У боках штреку спостерігається яскраво

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

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

4. Встановлено 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.

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

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

6. Установлено, що граничний (поза межовий) стан системи «шаруватий масив-кріплення виробки» може наступити в різних областях кожного з її складових елементів. Тому виконано обґрунтування повних діаграм деформування усіх складових елементів системи, включаючи стадію розпушення кожного з породних шарів і вугільного пласта.

7. Різні сполучення розподілу міцнісних і деформаційних характеристик по кожному із прилеглих породних шарів обумовлюють різний ступінь їх впливу на зміну поля напружень і переміщень із ростом глибини H розташування виробки. Визначальним фактором є вид стану прилеглих породних шарів при конкретній величині параметра H : domeжовий, граничний, поза межний.

8. При підвищених міцнісних характеристиках прилеглих породних шарів

їх частково domeжовий стан визначає зв'язок напружень і переміщень із параметром H , близький до лінійного; коливання деформаційних властивостей породних шарів в інтервалі $E_i^{K,I} = (0,3...1) \cdot 10^4$ МПа змінюють напруження до 55%, а величину переміщень до 131%.

9. При знижених міцнісних характеристиках прилеглих породних шарів залежність НДС масиву від параметра H стає нелінійною з настанням граничного стану хоча-би одного із шарів, а в позамежовому стані інтенсивність росту переміщень багаторазово збільшується, а напруження зменшується. При цьому деформаційні характеристики шарів несуттєво впливають на поле напружень, а зсуви породного контуру виробки, особливо в її підошві можуть змінюватися до 2,5 разів.

10. Виявлено достатню незалежність поля напружень породного шару від виду стану сусідніх шарів:

– по-перше, шари зниженої міцності з ростом H переходять у граничний (позамежний) стан практично незалежно від міцнісних характеристик сусідніх більш міцних породних шарів;

– по-друге, поле напружень у породних шарах з більш високими міцнісними характеристиками в малому ступені залежить від переходу сусіднього шару в граничний стан;

– по-третє, поле напружень у вугільному пласті, другому шарі підошви й третьому шарі покрівлі досить стабільно стосовно виду стану якого-небудь прилеглого породного шару.

11. НДС рамного кріплення і закономірності його зміни з ростом глибини розташування виробки перебуває в тісному зв'язку із міцнісними й деформаційними характеристиками прилеглих породних шарів, але є нелінійними, особливо при переході шарів у граничний і позамежний стан. Загасання росту функції $\sigma(H)$ обумовлено появою і збільшенням зон пластичних деформацій у рамі; цей процес стабільно починається в нижній частині стояків рами (вони вигинаються у порожнину виробки) і поширюється з ростом H майже на всі її перерізи по контуру (за винятком локальних областей domeжового стану в

склепінні). Утворення системи пластичних шарнірів по контуру рамного кріплення сприяють (у ряді випадків) розвитку таких її деформацій, які виключають можливість подальшої експлуатації виробки. Тому для обґрунтованого вибору рамного кріплення пластової виробки встановлені рівняння зв'язку її НДС із основними впливними геомеханічними параметрами.

1. Показано, що ефективність використання дегазаційних систем в основному залежить від ефективності роботи підземного вакуумного дегазаційного трубопроводу. Але зберегти досягнутий рівень якості каптованої метаноповітряної суміші при її транспортуванні від свердловин до вакуум-насосної станції для наступної утилізації не уявляється можливим. Отже можливі зниження концентрації метану до вибухонебезпечного рівня, що робить достовірний контроль вмісту метану у трубопроводах актуальним науковим завданням

2. Визначені вимоги до засобів контролю вмісту метану у газовій суміші підземних трубопроводів та її вибухонебезпечності. Параметри газової суміші у трубопроводах, що визначають вимоги до засобів контролю вибухонебезпечності газових сумішей, включаючи датчики метану, можуть змінюватися у наступних межах: розрідження в устях свердловин від 0 до 270 гПа, у дільничних і магістральних трубопроводах – від 0 до 530 гПа; відносна вологість газової суміші – до 100% (можливе присутність краплинної вологи); вміст метану в суміші від 0 до 100 об. %; вміст вуглекислого газу від 0 до 2 об. %; швидкість струменя газової суміші в трубопроводі від 0,5 до 20 м/с; температура газової суміші від -5 до +35 °С (за винятком трубопроводів, у яких спостерігається краплинна волога; для таких газопроводів температура газової суміші змінюється від +5 до +35 °С); газова суміш – вибухонебезпечна, агресивна 1-ї категорії; тиск суміші у газопроводі становить величину близько 465 гПа.

3. Основним принципом, покладеним в основу системи контролю вибухонебезпечності середовища, як в гірничих виробках, так і в устаткуванні вугільних шахт, включаючи системи дегазації з відповідними трубопроводами для транспортування газової суміші, повинне бути забезпечення рівності допустимого коефіцієнта вибухонебезпечності для всіх об'єктів шахт, включаючи де-

газаційні трубопроводи. При цьому засоби контролю вибухонебезпечності газових сумішей у трубопроводах повинні дозволяти формувати відомості про режими роботи окремих ланок цієї системи і, в першу чергу, про межі зміни параметрів газової суміші в трубопроводах і в устях свердловин. Це потребує розробки датчиків метану для відповідних умов та об'єднання їх у загальну інформаційну систему вибухонебезпечності шахти.

Обґрунтування термокондуктометричного способу виміру концентрації метану з використанням у його датчику неізолюваних порівняльних елементів полягає у наступному:

1. Дана оцінка погрішностей аналізаторів метану від невимірюваних компонентів суміші в дегазаційних трубопроводах. Показано, що при контролі вибухонебезпечності сумішей термокондуктометричними газоаналізаторами погрішність виміру вмісту метану, що обумовлена зміною вологовмісту суміші, може не враховуватися. Для зниження втрат каптованого метану доцільно здійснювати контроль об'ємної частки вуглекислого газу в сумішах, що використовують в енергетичних цілях, і робити коректування показань аналізаторів метану залежно від вмісту CO_2 в суміші, що утилізується. При цьому термокондуктометричні датчики метану, які працюють при температурі чутливих елементів до $120\text{ }^\circ\text{C}$, мають більшу погрішність виміру від вуглекислого газу, а підвищення температури чутливих елементів датчика приводить до зниження величини цієї погрішності, однак з метою запобігання окислювання горючих газів на термоелементах їх температура повинна бути в діапазоні $210\text{-}250\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Виконано обґрунтування термокондуктометричного методу контролю з використанням різних теплових режимів чутливих елементів в однокамерних датчиках, тобто датчиках з неізолюваними порівняльними елементами. Показано, що застосування датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів дозволяє спростити конструкцію аналізатора, виключити тривалі перехідні процеси, що виникають при зміні температури газової суміші, виключає недоліки двокамерних аналізаторів, пов'язані з порушеннями герметичності порівняльної камери. При цьому для забезпечення стабільності нуля

вимірювального моста при конструюванні датчиків аналізаторів необхідно вибирати платинові термоелементи з однаковими початковими опорами й режим живлення моста стабільним струмом.

3. Виконано розробку й дослідження термокондуктометричних датчиків з неізолюваним порівняльним елементом. Запропонована схема вимірювального моста з однокамерним термокондуктометричним датчиком при живленні від джерела стабільної напруги, що забезпечує високу температурну стабільність моста при достатній його чутливості до метану, що дозволяє рекомендувати її в конструкціях аналізаторів метану для дегазаційних трубопроводів. Застосування такої схеми включення дозволяє на основі однокамерного термокондуктометричного датчика з неоднаковими електротепловими параметрами чутливих елементів створити аналізатори метану, позбавлені недоліків існуючих аналізаторів із двокамерними датчиками з ізолюваним порівняльним елементом.

Щодо застосування термокондуктометричних газоаналізаторів з ізолюваним порівняльним термоелементом для контролю метану в дегазаційних трубопроводах (етап 3, 2011 р.), отримані такі результати:

1. Однією із причин нестабільної роботи існуючих термокондуктометричних газоаналізаторів з ізолюваним порівняльним елементом є зміна складу газу в порівняльній камері, внаслідок натікання газів з навколишньої суміші через мікропори й тріщини. Неоднозначність температурної залежності коефіцієнтів теплопровідності повітря й метану, може призводити до появи істотних температурних погрешностей термокондуктометричних газоаналізаторів. Тому при виборі режимів роботи їх датчиків і вимірювальних мостів необхідно вибирати такі, які забезпечують більш стабільний температурний режим термоелементів при зміні температури середовища дегазаційних трубопроводів.

2. Найбільш раціональним серед усіх розглянутих режимів роботи вимірювального моста є режим зі стабілізацією опору робочого елемента. На відміну від режимів живлення моста, що традиційно використовують в аналізаторах, він забезпечує істотне збільшення чутливості й характеризується практично лінійною залежністю вихідного сигналу вимірювального моста від концентрації

метану. Стабільна ж величина температури термоелементів у термокондуктометричних датчиках метану при зміні параметрів контрольованого газового середовища забезпечується тільки при застосуванні режиму роботи моста зі стабілізацією опору елементів.

3. Виконаний аналіз різних режимів роботи мостових вимірювальних схем термокондуктометричних аналізаторів метану показав, що серед розглянутих схем включення найвищу чутливість і найменшу нелінійність залежності вихідної напруги вимірювального моста від концентрації метану забезпечує схема включення зі стабілізацією напруги на робочому елементі. Зважаючи на те, що така схема включення забезпечує й найбільш стабільний температурний режим термоелементів у мостових вимірювальних схемах при зміні температури навколишнього середовища це дозволяє рекомендувати її до застосування в аналізаторах метану, призначених для дегазаційних трубопроводів, замість традиційних схем включення зі стабілізацією напруги на вимірювальному мосту.

Лабораторні випробування двокамерних термокаталітичних аналізаторів вибухонебезпечності суміші в трубопроводах (етап 4, 2011р.) показали:

1. Розміщення чутливих елементів під окремими фільтрами й використання різних температурних режимів елементів дозволяє без зміни параметрів живлення аналізатора одночасно використати два вимірювальних мости для виміру низьких і високих концентрацій метану. При застосуванні запропонованого вимірювального моста з розрахованими параметрами елементів і живленні моста від джерела стабільного струму забезпечуються термічна стабільність аналізатора й можливість виміру концентрації метану у всьому діапазоні можливих його значень.

2. Розроблений двокамерний триелементний датчик, що містить каталітично активний, порівняльний і компенсаційний елементи, котрі відрізняються своїми параметрами й тепловими режимами, у якому виміри одночасно здійснюються термокаталітичним і термокондуктометричними методами, може бути використаний в універсальних широкодіапазонних аналізаторах метану з межею виміру об'ємної частки метану 0-100%. При вибраному співвідношенні по-

чаткового опору й площі поверхні елементів запропонована схема включення датчика зі стабілізацією струму через чутливі елементи забезпечує необхідну температурну стабільність і чутливість аналізаторів метану у всьому діапазоні вимірюваних концентрацій.

3. Розроблені двокамерні термокatalітичні й однокамерні термокондуктометричні датчики метану є повністю уніфікованими виробами стосовно апаратури газового контролю, що випускаються серійно НВО «Червоний металіст». Використання цих датчиків в апаратурі АКРД замість датчиків аналогічного призначення, що випускалися раніше, дозволить істотно поліпшити метрологічні й експлуатаційні характеристики засобів газового контролю й підвищити надійність систем вибухозахисту, зокрема в дегазаційних трубопроводах. Причому в перетворювач ПП.3 апаратури АКРД може бути вмонтований як однокамерний датчик з неізолюваними термоелементами, так і запропонований універсальний широкодіапазонний датчик метану, що забезпечить контроль метану в трубопроводах у широкому діапазоні вмісту метану, і зокрема в діапазоні 3-25%, нормованому для дегазаційних трубопроводів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений [Текст] / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1982. – 272 с.
2. Баклашов, И.В. Механические процессы в породных массивах [Текст] / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1986. – 415 с.
3. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок [Текст] / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
4. Ставрогин, А.Н. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах [Текст] / А.Н. Ставрогин, А.Г. Протосеня. – М.: Недра, 1985. – 271 с.
5. Симанович, Г.А. Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристикой [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Г.А. Симанович. – Д., 1993. – 408 с.
6. Баклашов, И.В. Конструкции и расчет крепей и обделок [Текст] / И.В. Баклашов, О.В. Тимофеев. – М.: Недра, 1979. – 263 с.
7. Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення» з урахуванням граничного і позамежного стану та уніфікованими засобами контролю газових сумішей: звіт про НДР (пром.): Тема ГП-422 / керівник роботи В.І. Бондаренко; викон.: І.А. Ковалевська. – Дніпропетровськ: Фонди НГУ, 2009. – 159 с.
8. Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення» з урахуванням граничного і позамежного стану та уніфікованими засобами контролю газових сумішей: звіт про НДР (пром.): Тема ГП-422 / керівник роботи В.І. Бондаренко; викон.: І.А. Ковалевська. – Дніпропетровськ: Фонди НГУ, 2010. – 168 с.
9. Гелескул, М.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок [Текст] / М.Н. Гелескул, В.Н. Каретников. – М.: Недра, 1982. – 479 с.
10. Ковалевская, И.А. Взаимодействие анкерной и комбинированной крепей с породным массивом и разработка метода расчета их рациональных параметров [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / И.А. Ковалевская. – Д., 1995. – 200 с.

11. Симанович, Г.А. Устойчивость подземных горных выработок [Текст] / Г.А. Симанович. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 164 с.
12. Ковалевская, И.А. Геомеханика взаимодействия элементов системы «горный массив-упрочненные породы-крепь подземных выработок» [Текст] / И.А. Ковалевская. – Днепропетровск: РИК НГАУ, 2003. – 234 с.
13. Ковалевская, И.А. Расчет параметров управления устойчивостью подсистемы «упрочненные породы-крепь подземных выработок» [Текст] / И.А. Ковалевская. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 113 с.
14. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2002. – 372 с.
15. Выгодин, М.А., Евтушенко, И.В. Облегченные металлоанкерные крепи горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст] / М.А. Выгодин, И.В. Евтушенко // Шахтное строительство. – 1987. – № 7. – С. 23-25.
16. Морев, А.М. Дегазация угольных шахт и утилизация метана [Текст] / А.М. Морев, Н.М. Сахаров. – Донецк: Донбасс, 1974. – 182 с.
17. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт (РД-15-09-2006) [Текст]: Серия 05. Выпуск 14. /А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев и др. – М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2007. – 256 с.
18. Карпов, Е.Ф. Автоматизация и контроль дегазационных систем [Текст] / Е.Ф. Карпов, А.В. Рязанов. – М.: Недра, 1983. – 196 с.
19. Макаров, М.И. Вероятностная оценка аварийных состояний при эксплуатации шахтных дегазационных систем [Текст] / М.И. Макаров, В.Д. Проппин // Безопасность труда в промышленности. – 1975. – № 2. – С. 49-51.
20. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемам дегазации. СОУ 10.1.00174088.001-2004. – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 162 с.
21. НПАОП 10.0-1.01-05 Правила безпеки у вугільних шахтах. – К.: Відлуння, 2005. – 398 с.
22. Датчик метана систем дегазації ДМД. Руководство по эксплуатации

1589.00.00.000 РЭ. – Конотоп: ОАО НПО «Красный металлист», 2006. – 31 с.

23. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания: ГОСТ-24032-80. – М.: Госстандарт, 1980. – 34 с.

24. Левенталь, Г.Б. Оптимизация теплоэнергетических установок [Текст] / Г.Б. Левенталь, Л.С. Попырин. – М.: Энергия, 1970. – 350 с.

25. Дегазація вугільних шахт. Вимоги до способів та схем дегазації [Текст]. – Макіївка: МакНДІ, 2005. – 162 с.

26. Бусыгин, К.К. О выделении тяжелых углеводородов в шахтах Донбасса [Текст] / К.К. Бусыгин, Д.В. Кузьмин // Уголь Украины, 1995. – № 3. – С. 33-36.

27. Павленко, В.А. Газоанализаторы [Текст] / В.А. Павленко. – М.-Л.: Машиностроение, 1965. – 296 с.

28. Щербань, А.Н. Методы и средства контроля рудничного газа [Текст] / А.Н. Щербань, Н.И. Фурман. – К.: Наукова думка, 1965. – 411 с.

29. Котляров, А.К. Обоснование режимов работы мостовых измерительных схем термокондуктометрических анализаторов метана [Текст] / А.К. Котляров // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №11. – С. 62-65.

30. Голинько, В.И. Повышение точности контроля содержания метана в дегазационных трубопроводах угольных шахт [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров // Тр. междуна. науч.-техн. конф. «Форум горняков» – 2006. – С. 142-148.

31. Рид, Р. Свойства жидкостей и газов [Текст] / Р. Рид, Т. Шервуд. – М.: Гостопиздат, 1964. – 334 с.

32. Карпов, Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы [Текст] / Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. – М.: Недра, 1984. – 285 с.

33. Голинько, В.И. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров, В.В. Белоножко – Д.: Наука и образование, 2004. – 207 с.

34. Голинько, В.И. Совершенствование термокаталитических средств контроля содержания метана [Текст] / В.И. Голинько, В.В. Белоножко // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 92-100.

35. Карпов, Е.Ф. Тепловой метод контроля концентрации метана в дегазационных трубопроводах [Текст] / Е.Ф. Карпов, А.В. Рязанов // Научные сообщения Института горного дела им. А.А. Скочинского. – 1974. – Вып. 121. – С. 138-143.

36. Бретшнайдер, С. Свойства газов и жидкостей [Текст] / С. Бретшнайдер. – М.-Л.: Химия, 1966. – 535 с.

37. Цедерберг, Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей [Текст] / Н.В. Цедерберг Н.В. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 408 с.

38. Термокондуктометрический датчик [Текст]: пат. 13933А Украина: МК G 01 N 27/18 / Бойко В.О., Фрундин В.Є., Ісаєв В.В. та ін.; опубл. 25.04.97; Бюл. №2.

39. Фрундин, В.Е. Однокамерный термокондуктометрический датчик [Текст] / В.Е. Фрундин // Сб. науч. тр. НГА Украины. – 1999. – №5. – С. 168-171.

40. Балтайтис, В.Я. Тушение пожаров в угольных шахтах [Текст] / В.Я. Балтайтис. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 283 с.

41. Льюис, Б. Горение и взрывы в газах [Текст] / Б. Льюис, Г. Эльбе. – М.: Мир, 1968. – 592 с.

42. Голинько, В.И. Теоретическое обоснование параметров термокондуктометрического датчика метана с неизолированным сравнительным элементом [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров // Сб. науч. тр. / НГУ. – 2006. – №26. – С. 60-67.

43. Голинько, В.И. Исследование процесса теплообмена в термокондуктометрических датчиках метана [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научн. тр., Выпуск 18. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ. – 2006. – С. 301-314.

44. Голинько, В.И. Разработка методов контроля метана, обеспечивающих работоспособность анализаторов при аварийных загазированиях горных выработок шахт [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров, А.В. Белоношко // Ма-

тер. міжнар. конф. «Форум гірників». – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. – С. 33-43.

45. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания [Текст]: ГОСТ-24032-80. – М.: Госстандарт, 1980. – 34 с.

46. Анализаторы метана АТ1-1 и АТ3-1. Руководство по эксплуатации 1364.01.00.000 РЭ [Текст]. – Конотоп: ОАО НПО «Красный металлист», 2006. – 55 с.

47. Карагодин, Л.Н. О состоянии и направлении развития работ по дегазации шахт [Текст] / Л.Н. Карагодин // Дегазация угольных шахт и утилизация добываемого метана. – М.: ЦНИЭИуголь, 1988. – С. 44-45.

48. Система контролю вмісту горючого газу в шахтній атмосфері [Текст]: пат. 61611А Україна: МК G01N25/22, E21F17/18 / Білоножко В.В., Білоножко В.П., Голинько В.І., Котляров А.К. та ін.; опубл. 17.11.03; Бюл. №11.

49. Пат. 2475733 Франція: МПК G01 N 27/16; опубл.: «Изобретения в СССР и за рубежом». – №1. – 1982.

50. Голинько, В.И. Совершенствование термодаталитического способа измерения содержания метана и конструкции первичных преобразователей [Текст] / В.И. Голинько, В.В. Белоножко // Матер. междунар. конф. «Форум горняков». – 2003. – №17, том 2. – С. 325-331.

51. Голинько, В.И. Обоснование мостовой измерительной схемы термодаталитических газоанализаторов [Текст] / В.И. Голинько, В.И. Романенко, В.Ю. Фрундин // Сб. науч. тр. / НГУ. – 2003. – №17, том 2. – С. 352-357.

52. Клебанов, Ф.С. Воздух в шахте [Текст] / Ф.С. Клебанов. – М.: Имидж-Сет, 1995. – 574 с.

53. Белоножко, А.В. Исследование работоспособности термодаталитических датчиков метана при аварийных загазованиях шахт [Текст] / А.В. Белоножко, В.Е. Фрундин // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – С. 225-229.

54. Голинько, В.И. Исследование работоспособности термokatалитических датчиков метана после их длительной эксплуатации [Текст] / В.И. Голинько, А.В. Белоножко // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №10. – С. 72-75.

55. Голинько, В.И. Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов [Текст] / В.И. Голинько, А.В. Белоножко // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №7. – С. 60-65.

56. Белоножко, А.В. К вопросу о надежности контроля взрывоопасности горных выработок термokatалитическими газоанализаторами [Текст] / А.В. Белоножко // Матер. междунац. конф. «Форум горняков». – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2007. – С. 262-267.

57. Голинько, В.И. Исследования термokatалитических датчиков метана с различными тепловыми режимами чувствительных элементов [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров, А.В. Белоножко // Матер. междунац. конф. «Форум горняков». – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2009. – С. 7-14.

58. Измерители метана, кислорода, токсичных газов и температуры Сигнал-9. Руководство по эксплуатации 1957.02.000 РЭ [Текст]. – Конотоп: ОАО НПО «Красный металлист», 2008. – 61 с.

59. Голинько, В.И. Исследование процесса окисления метана в термokatалитических датчиках [Текст] / В.И. Голинько, В.В. Белоножко // Науковий вісник НГУ. – 2003. – №7. – С. 62-65.

60. Голинько, В.И. Исследование температурных режимов термоэлементов в мостовых измерительных схемах термокондуктометрических анализаторов метана [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №12. – С. 55-58.

61. Анализаторы метана АТ1-1 и АТ3-1. Руководство по эксплуатации 1364.01.000 РЭ. – Конотоп: ОАО НПО «Красный металлист», 2004. – 55 с.

62. Голинько, В.И. Совершенствование термokatалитического метода контроля содержания метана в рудничной атмосфере [Текст] / В.И. Голинько,

А.В. Белоношко // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип.77. – С. 81-87.

63. Спосіб вимірювання вмісту горючих газів та пристрій для його реалізації [Текст]: пат. 82781 Україна: МПК G01N 25/22 / В.І. Голинько О.В. Білоношко, О.К. Котляров, В.Є. Фрундін. – № а 2006 12098; заявл.17.11.08; опубл. 12.05.08; Бюл. №9.

64. Голинько, В.И. Обоснование параметров и режимов работы однокамерного термокондуктометрического датчика метана [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров // Науковий вісник НГУ. – 2007 – №3. – С. 57-60.

65. Голинько, В.И. Разработка и исследование однокамерного термокондуктометрического датчика метана [Текст] / В.И. Голинько, А.К. Котляров // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №.6 – С. 85-89.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової
роботи, проф.

_____ О.С.Бешта
 “ _____ ” _____ 2011 р.

**ЗАВДАННЯ №
на проведення патентних досліджень**

за темою ГП-422 «Наукові основи керування просторовою системою
«масив-кріплення» з урахуванням граничного і позамежного стану
та уніфікованими засобами контролю газових сумішей»

Етап 3. «Вплив глибини розташування пластової виробки на НДС системи, розробка програмного забезпечення системи на базі їх просторового відображення та методів контролю вибухонебезпечності газових сумішей у трубопроводах на основі уніфікованих датчиків концентрації метану».

Мета патентних досліджень: Визначення патентної ситуації НДР стосовно методів контролю вибухонебезпечності газових сумішей в шахтній атмосфері та у трубопроводах на основі уніфікованих датчиків концентрації метану.

Таблиця А.1

Види робіт під час проведення патентних досліджень та виконавці

Види робіт	Підрозділи-виконавці	Відповідальні виконавці (П.І.Б.)	Строки виконання робіт	Звітний документ
1. Визначення техніко-економічних показників	каф. АОП	Голінко Василь Іванович	9.2011р.	ф. Г.1.1. ф. Г.1.4.
2. Аналіз можливості застосування в ОТД відомих об'єктів промислової власності		Колесник Валерій Євгенійович	10.2011р.	ф. Г.1.5. ф. Г.2.4.
3. Підготовка звіту про патентні дослідження			11.2011р.	Звіт

Зав. каф. АОП, д.т.н, проф.

В.І. Голінько

Зав. ПЛВ

О.О. Філонова

Державний ВНЗ
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
_____ **О.С. Бешта**
«__» _____ 2011 р.

ЗВІТ
про патентні дослідження

№ _____
(дата)

«Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення»
з урахуванням граничного і позамежного стану та уніфікованими
засобами контролю газових сумішей»

ГП-422

Етап «ВПЛИВ ГЛИБИНИ РОЗТАШУВАННЯ ПЛАСТОВОЇ ВИРОБКИ НА
НДС СИСТЕМИ, РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ
НА БАЗІ ЇХ ПРОСТОРОВОГО ВІДОБРАЖЕННЯ ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ
ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ У ТРУБОПРОВОДАХ НА
ОСНОВІ УНІФІКОВАНИХ ДАТЧИКІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ»

(заключний)

Заступник проректора
з наукової роботи,
начальник НДЧ

Р.О. Дичковський

Керівник
підрозділу-виконавця

В.І. Голінько

Керівник НДР

В.І. Голінько

Керівник ПЛВ

О.О. Філонова

Нормоконтролер

Л.С. Шломіна

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Об'єктом патентних досліджень є способи й пристрої, запропоновані для контролю вибухонебезпечності газових сумішей у гірничих виробках і дегазаційних трубопроводах вугільних шахт на основі уніфікованих датчиків метану.

1.2 Контроль базується на оцінці вибухонебезпечності гірничих виробок і дегазаційних трубопроводів за фактором вмісту метану в їхній атмосфері.

1.3 Дослідження орієнтовані на створення уніфікованих датчиків контролю вмісту метану в шахтній атмосфері і дегазаційних трубопроводах

1.4 Створення датчиків метану спрямовано:

– на підвищення безпеки ведення гірничих робіт і дегазації вугільних пластів за рахунок забезпечення однозначності контролю вмісту метану в діапазоні від 0 до 99,9% і підвищеної точності його визначення як у гірничих виробках, так і в дегазаційних трубопроводах.

– на зниження експлуатаційних витрат, у порівнянні з існуючими термокаталітичними і термокондуктометричними датчиками контролю метану, за рахунок вибору раціональних режимів роботи їх термоелементів і покращення метрологічних та експлуатаційних характеристик.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник,
гол. наук. співр., д-р техн. наук,

Відповідальний виконавець,
пров. наук. співр., д-р. техн. наук

В.І. Голінько
(керівництво роботами
по каф. АОП)

В.Є. Колесник
(аналіз джерел патентної
і науково-технічної
літератури, форми Г. 1.1.
Р.1.4; Г.1.5; Г.2.4)

Форма Г. 1.1. Довідка про патентний пошук

Предмет пошуку (об'єкт, його складові)	Країна пошуку	Класифікаційні індекси	По фонду якої організації виконаний пошук	Джерела інформації	
				Науково-технічна документація, найменування, дата публікацій, вихідні дані із вказівкою границь перегляду (від і до)	Патентна документація, найменування патентного бюлетеня, журналів, охоронних документів, номери й дати публікацій із вказівкою границь перегляду
Засоби контролю вибухонебезпечності за метаном	Великобританія, Німеччина, США, Франція, Японія, Україна, Росія	G01№25/2 2 E21F1/00 E21F5/00 E21F17/18	ДВНЗ «НГУ», Обласна бібліотека	Реферативний журнал «Гірнична справа» розділ В, 1980 р. №1-1991 р. №3. Журнал «Глюкауф» №1 1983 р. – №12 1999 р.. Проспекти фірм Sieger, Draiger Проспект об'єднання «EMAG» Проспект фірми Рікен-кейкі	Бюлетень Держкомвинаходів «Відкриття, винаходу» 1983 р., №1. – 1991р., №48 Патентний бюлетень Держпатента «Винаходу» 1992 р., №1 – 1998 р., №36 Реферативний журнал «Винаходу країн світу» 1985-1993 р. вип. 87, 63 Патентний бюлетень Укрпатента «Промислова власність» 1993 р., №1. – 2011 р., №9

Форма Г. 1.4. Техніко-економічні показники ОГД
і об'єктів аналогічного призначення

Техніко-економічні показники				
Найменування, одиниці виміру й облік специфічних факторів	об'єкта за стандартом або технічним умовам	об'єкта-аналога(країна фірма, організація, модель, рік освоєння)	ОГД	перспективного зразка
Показники призначення	ДСТ 24032-80 «Прилади шахтні газоаналітичні. Загальні технічні вимоги. Методи випробувань»	Комплекси «Метан». АКМ, АКРД. Технічні описи й інструкції по експлуатації. – Конотоп. НВО «Червоний металіст» (Комплекси серійно випускаються НВО «Червоний металіст»)	(термокаталітичні та термокондуктометричні датчики контролю вмісту метану в шахтній атмосфері і дегазаційних трубопроводах)	Уніфіковані датчики метану с контролем метану як у гірничих виробках, так і в трубопроводах
Діапазон концентрацій метану, об. %	0-100	0,1-10; 10-99	0,1-99	0,1 -99
Погрішність контролю вмісту метану, %	10 %	10	<10	<10
Контроль вмісту метану в єдиному діапазоні	не має	не має	є	є
Відтворюємість показання після впливу граничних значень гірничотехнічних й експлуатаційних факторів	передбачена	не має	є	є

Форма Г.1.5 Аналіз новизни, винахідницького рівня
й промислової застосовності ОГД

ОГД, його складові частини		Прототип		Очікуваний результат	Можливість використання в промисловості або іншій сфері діяльності	Номер поданої заявки, дата подачі заявки
Назва	Сукупність ознак	Бібліографічні дані	Сукупність ознак			
Методи й засоби контролю вибухонебезпечності гірничих виробок	Термокатоли-тичний датчик, у вимірювальний міст якого включені елементи для регулювання вольт-амперних характеристик в автоматичному режимі	Комплекс "Метан". Технічний опис й інструкція по експлуатації. – Конопот. НВО "Червоний металіст", 1982. – 44 с.	Термокатоли-тичні датчики з нерівноважними мостами	Підвищення точності визначення змісту метану. Незалежність показань від напруги живлення Підвищення строку експлуатації. Відтворюваність показань після впливу граничних значень горно-технічних й експлуатаційних факторів	Готується до серійного виробництва для використання на вугільних шахтах небезпечних по газу й пилу	Патент №61224А, Опубл. 17.11.03 р. Бюл. № 11., а також патенти: 62861А, 62857А, 62171А, 76648, 61839,
	Засоби реєстрації, даних про вміст метану, сигналізації захисту при небезпечній концентрації	«Комплекс аерогазовий інформаційний КАГІ» ТУ В 33.3-32087543-2002	Засоби реєстрації, передачі, сигналізації й захисту	Достовірність сигналізації й захисту у всьому діапазоні змін концентрації метану	"-"	Патент України 61611А, Опубл. 17.11.03 р. Бюл. № 11.
	Аналізатор горючих газів. На основі універсальних датчиків метану Термокондуктометричний датчик. Газо-дифузійний фільтр.	«Апаратура контролю складу параметрів атмосфери АКСП-1». ТЗ 23999857.00 6-2000		Забезпечує стійкість роботи вимірника метану під впливом гірничотехнічних факторів (вода, удари) в широкому діапазоні концентрацій метану	"-"	Заявка на патент А2005001 28 від 05.01.05, а також патенти: 79969, 62857, 82781

Пошук по патентних і науково-технічних матеріалах показав, що аналізатори метану, що випускають, не відповідають сучасним вимогам. Тому розробка нових датчиків метану – актуальна.

**Форма Г.2.4. Аналіз можливості застосування в ОГД
відомих об'єктів промислової власності**

ОГД, його складові частини	Документ на об'єкти промислової власності	Суть об'єкта промислової власності	Очікуваний результат від застосування
<p>Методи й засоби контролю вибухонебезпечності гірничих виробок на основі термокаталітичних та термокондуктометричних датчиків метану.</p> <p>Термокаталітичний датчик, у вимірювальний міст якого включені елементи для регулювання вольт-амперних характеристик в автоматичному режимі.</p> <p>Аналізатор горючих газів.</p> <p>Подвійний газодифузійний фільтр.</p> <p>Чутливий елемент шахтних газоаналізаторів.</p> <p>Термокондуктометричний датчик.</p>	<p>Патент України 61224А, МК(01№25(22, Е21(1.00). / Спосіб вимірювання вмісту горючих газів у шахтній атмосфері та пристрій для його реалізації (В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, О. Котляров та інші). Опубл. 17.11.03 р. Бюл. № 11.</p> <p>Патент України 61611А, Мкл(01№25(22, Е21(17(18. /Система контролю вмісту горючого газу в шахтній атмосфері (В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, О. Котляров та інші). Опубл. 17.11.03 р. Бюл. № 11.</p> <p>Патент України 79969, МПК МПК Е21F 17/18, G01N 25/22. Аналізатор горючих газів / О.К. Котляров, В.І. Голінько, О.В. Білоножко, В.В. Білоножко // Опубл. 10.08.07. Бюл. №12.</p> <p>Заявка на патент України А200500128 МКЕ21F17/18, G01№25/22. /Аналізатор горючих газів (А.К. Котляров, В.И. Голинько й ін.)від 05.01.05 р.</p> <p>Патент України 61839, МПК G01N 25/22, G01N 27/14. Чутливий елемент шахтних газоаналізаторів і спосіб його виготовлення / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.В. Волкогон, .В.І. Голінько, О.К. Котляров // Опубл. 25.07.07. Бюл. №11</p> <p>Патент України 62857, МПК Е21F 17/18, G01N 25/22. Датчик шахтного газоаналізатора і спосіб його виготовлення / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.В. Волкогон, .В.І. Голінько, О.К. Котляров, // Опубл. 10.10.07. Бюл. №16.</p> <p>Пат. 82781 Україна, МПК G01N 25/22. Спосіб вимірювання вмісту горючих газів та пристрій для його реалізації / В.І. Голінько О.В. Білоножко, О.К. Котляров, В.С. Фрундін (Україна) – № а 2006 12098; заявл.17.11.08; опубл. 12.05.08. Бюл. №9.</p>	<p>Забезпечення автоматичного безперервного контролю вмісту метану в атмосфері гірничих виробок вугільних шахт, небезпечних по газу й пилу в умовах помірною й холодного клімату а також передачі даних про вміст метану на поверхневий комплект апаратури.</p>	<p>Підвищення безпеки ведення гірничих робіт за рахунок забезпечення однозначності контролю вмісту метану в діапазоні від 0 до 99,9% і підвищеної точності його визначення.</p> <p>Зниження експлуатаційних витрат за рахунок забезпечення автоматичного коректування нульових показань аналізаторів метану в атмосфері гірничих виробок при наявності в ній горючих газів і контролю граничного стану проникності фільтруючого елемента й чутливості термокаталітичного датчика.</p> <p>Підвищення точності контролю вмісту метану за рахунок застосування термокондуктометрії при високих (до 100%) концентраціях метану.</p>

ВИСНОВКИ

Невизначеність і неоднозначність визначення рівня вибухонебезпечності гірничих виробок та дегазаційних трубопроводів, за фактором вмісту метану може привести до помилкового включення машин і механізмів при наявності вибухонебезпечної концентрації метану, внаслідок. Дотепер причини неоднозначності роботи засобів контролю метану не були в достатній мері вивчені, що в певній мері спричинялося відсутності технічних рішень що дозволяють виконати вимоги відповідних нормативних документів.

Тому була поставлена й вирішене завдання підвищення ефективності й вірогідності контролю вибухонебезпечності гірничих виробок та дегазаційних трубопроводів вугільних шахт за рахунок вдосконалення термokatалітичних і термокондуктометричних датчиків метану шляхом науково обґрунтованого вибору режимів чутливих елементів та конструктивних рішень виконання датчиків.

Суть вирішення завдання заснована на виявлених особливостях роботи термokatалітичних і термокондуктометричних датчиків та їх термогруп при низьких і високих концентраціях метану, урахуванні термічних процесів на чутливих елементах та дифузії газу до них, термokatалітичного окислювання метану при застосуванні газодифузійних фільтрів різної провідності, а також за рахунок підвищення точності визначення вмісту метану і підвищення стабільності нульових показань датчиків, що досягається регулюванням вольт-амперних характеристик вимірювальних мостів датчиків метану..

З урахуванням виявлених залежностей й ефектів запропоновані методи підвищення точності виміру вмісту метану в шахтній атмосфері та дегазаційних трубопроводах та відповідні конструкції чутливих елементів датчиків, режимів їх роботи

На основі запропонованих методів розроблені нові способи й технічні засоби, які захищені патентами України: № 61224А, 61611А, 61839А, 62861А, 62857А, 62171А, 76648, 61839, 79969, 62857, 82781.

НОУ-ХАУ втримується в частині регулювання вимірювальних мостів датчиків метану й діагностики стану газоаналізатора.

Таким чином, виконаний пошук й аналіз дозволяють зробити висновок про те, що розробка перевищує сучасний рівень науки й техніки, зокрема, по показниках призначення: погрішність контролю вмісту метану; відтворюємість показань датчика метану після впливу граничних значень гірничотехнічних й експлуатаційних факторів; виявлення (ідентифікація) достовірної роботи датчиків.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
О. С. Бешта
« _____ » _____ 2011 р.

ДОВІДКА
про оцінку науково-технічного рівня НДР

**ГП-422 «Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення»
з урахуванням граничного і позамежного стану та уніфікованими засобами
контролю газових сумішей»**

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Найменування й одиниця виміру	Значення техніко-економічних показників	
	Кращого аналога	Розробленого об'єкта
Показники призначення	Комплекс «Метан». Технічний опис й інструкція по експлуатації. – Контотоп. НВО «Червоний металіст», 1982. – 44 с.	Методи і засоби автоматичного контролю вмісту метану в шахтній атмосфері і дегазаційних трубопроводах
Діапазон концентрацій метану, мг/м ³	0,1-10; 10-99	0,1-99
Погрішність контролю вмісту метану, %	10	<10
Контроль вмісту метану в єдиному діапазоні	не має	є
Відтворюваність показання після впливу граничних значень гірничотехнічних і експлуатаційних факторів	не має	є
Виявлення (ідентифікація) достовірної роботи датчиків	не має	є

У розроблених засобах контролю вибухобезпечності гірничих виробок, використовуються технічні рішення, що володіють новизною, захищеною патентами України (Патенти України: 61224А, МК G01N25/22, E21F1/00. Спосіб вимірювання вмісту горючих газів в шахтній атмосфері та пристрій для його реалізації / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 17.11.03 Бюл. №11; 61611А, МК G01N25/22, E21F17/18. Система контролю вмісту горючого газу в шахтній атмосфері / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 17.11.03 Бюл. №11; 61839А, МК E21F17/16. Чутливий елемент шахтних газоаналізаторів і спосіб його виготовлення / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 17.11.03 Бюл. №11; 62861А, МК G01N27/18. Схема включення термокatalітичного датчика і спосіб її балансування / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 15.12.03 Бюл. №12; 62857А, МК G01N27/18. Датчик шахтних газоаналізаторів і спосіб його виготовлення / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 15.12.03 Бюл. №12; 62171А, МК G01N27/18. Сигналізатор метану, сполучений із шахтним головним світільником / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 15.12.03 Бюл. №12; 76648, МПК E21F 17/18, G01F 15/00. Спосіб підвищення механічної стійкості термокatalітичного датчика горючих газів / О.К. Котляров, В.І. Голінько О.В. Білоножко, В.В. Білоножко // Опубл. 01.08.06. Бюл. №8; 61839, МПК G01N 25/22, G01N 27/14. Чутливий елемент шахтних газоаналізаторів і спосіб його виготовлення / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.В. Волкогон, В.І. Голінько, О.К. Котляров // Опубл. 25.07.07. Бюл. №11; 79969, МПК МПК E21F 17/18, G01N 25/22. Аналізатор горючих газів / О.К. Котляров, В.І. Голінько, О.В. Білоножко, В.В. Білоножко // Опубл. 10.08.07. Бюл. №12; 62857, МПК E21F 17/18, G01N 25/22. Датчик шахтного газоаналізатора і спосіб його виготовлення / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.В. Волкогон, В.І. Голінько, О.К. Котляров, // Опубл. 10.10.07. Бюл. №16; 82781 Україна, МПК G01N 25/22. Спосіб вимірювання вмісту горючих газів та пристрій для його реалізації / В.І. Голінько О.В. Білоножко, О.К. Котляров, В.С. Фрундін (Україна) – № а 2006 12098; заявл.17.11.08; опубл. 12.05.08. Бюл. №9. При цьому в частині регулювання вимірювальних мостів датчика метану й діагностики стану газоаналізатора міститься НОУ-ХАУ.

ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ НДР

Перевищує сучасний рівень науки й техніки по технічній суті й показникам призначення: Погрішність контролю вмісту метану, відтворюваність показань датчика метану після впливу граничних значень гірничотехнічних й експлуатаційних факторів і виявлення (ідентифікація) достовірної роботи датчиків

Погоджено:

Зав. відділом ПЛВ
О.О. Філонова
« _____ » _____ 2011 р.

Керівник НДР
В. І. Голінько

Додаток Б

ВИТЯГ

з протоколу №6/19 засідання кафедри підземної розробки родовищ
ДВНЗ «Національний гірничий університет»

м. Дніпропетровськ

05 грудня 2011 р.

ПРИСУТНІ: проф. Бондаренко В.І., проф. Кузьменко О.М., 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., Фальштинський В.С.; асистенти: Доценко В.І., Лапко В.В., Мамайкін О.Р. та ін.

СЛУХАЛИ: повідомлення керівника теми ГП-422 Бондаренка В.І. про результати виконання науково-дослідної роботи «Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення» з урахуванням граничного і поза межного стану та уніфікованими засобами контролю газових сумішей».

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 розроблені методи прогнозу стійкості підготовчих виробок у дрібношаруватому масиві, що є актуальною проблемою для гірничої справи. А також робота спрямована на підвищення рівня безпеки гірників за

рахунок розробки уніфікованих засобів контролю вмісту метану у гірничих виробках та дегазаційних мережах шляхом наукового обґрунтування методів удосконалення аналізаторів, що забезпечать високий рівень достовірності вимірювань концентрацій метану в їх широкому діапазоні, як в режимі нормальної експлуатації, так і при аварійних загазуваннях.

У практичному плані використовуються при розробці нормативно-технічної документації з розрахунку раціональних параметрів системи «масив-кріплення виробки». Розроблені та випробувані експериментальні зразки уніфікованих засобів контролю метану в гірничих виробках.

3. Робота не містить матеріали, що можуть скласти предмет винаходу або конфіденційних зведень «ноу-хау» (ст. 30/31 Закону України «Про підприємства в Україні»), які 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-422 затвердити.

**Завідувач кафедри
д-р техн. наук, професор**

В.І. Бондаренко

**Секретар кафедри,
асистент**

О.А. Долгий

Додаток В

ВИТЯГ

з протоколу №4 засідання наукової ради з напрямку
«Прогресивні технології видобутку і переробки корисних копалин»
ДВНЗ «Національний гірничий університет»

м. Дніпропетровськ

23 грудня 2011 р.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ: розгляд звітів за результатами науково-дослідних робіт у 2011 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. Тюря Ю.І., члени ради: д.т.н., проф. Бузило В.І., д.т.н., проф. Голінько В.І., 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-422 «Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення» з урахуванням граничного і позамежного стану та уніфікованими засобами контролю газових сумішей».

ВИСТУПИЛИ: проф. Кузьменко О.М., проф. Бузило В.І.

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

Розроблено уніфіковані засоби контролю вмісту метану в гірничих виробках та дегазаційних мережах шляхом наукового обґрунтування методів удосконалення аналізаторів, що забезпечать високий рівень достовірності вимірювань концентрацій метану в їх широкому діапазоні, як в режимі нормальної експлуатації, так і при аварійних загазуваннях.

УХВАЛИЛИ:

1. Вважати, що робота виконана в повному обсязі відповідно до календарного плану і технічному завданню.

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 розроблені методи прогнозу стійкості підготовчих виробок у дрібношаруватому масиві та уніфіковані засоби контролю вмісту метану в гірничих виробках.

У практичному плані – використовуються при розробці методики вибору раціональних параметрів кріплення. Розроблені та випробувані експериментальні зразки уніфікованих засобів контролю метану в гірничих виробках.

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

4. Заключний звіт по темі ГП-422 схвалити та рекомендувати до затвердження.

**Голова ради,
д.т.н., професор**

П.І. Пілов

**Учений секретар,
к.т.н.**

Ю.І. Тюрня

Додаток Г

РЕЦЕНЗІЯ

на науково-дослідну роботу по темі ГП-422
«Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення»
з урахуванням граничного і позамежного стану та уніфікованими засобами
контролю газових сумішей»

У роботі встановлені закономірності зміни НДС елементів системи «масив-кріплення» залежно від деформаційних характеристик породних шарів та обґрунтовані методи й способи розробки уніфікованих засобів контролю метану.

Також робота спрямована на підвищення рівня безпеки гірників за рахунок наукового обґрунтування методів удосконалення аналізаторів, що забезпечать високий рівень достовірності вимірювань концентрацій метану в їх широкому діапазоні, як в режимі нормальної експлуатації, так і при аварійних загазуваннях.

У практичному плані розроблені методи контролю вибухонебезпечності газових сумішей на основі уніфікованих датчиків. На базі встановлених закономірностей поля зміщень шарів навколо виробки розроблені пропозиції з підвищення стійкості пластових виробок.

Такі наукові та практичні результати дозволять перейти на якісно новий рівень захисту працюючих на вугільних шахтах України.

Таким чином, вважаю, що робота «Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення» з урахуванням граничного і позамежного стану та уніфікованими засобами контролю газових сумішей» є дуже актуальною і своєчасною. Виконана робота на високому рівні та відповідає світовому рівню досліджень у цій галузі.

**Рецензент,
д.т.н., професор,
декан гірничого факультету
Державного ВНЗ «НГУ»**

В.І. Бузило