

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**Шишов Максим Валерійович**

УДК 622.834.3

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕХАНІЧНИХ І  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ЛАВ З  
УРАХУВАННЯМ ДЕГАЗАЦІЇ ПІДРОБЛЕНОЇ НАДВУГІЛЬНОЇ ТОВЩІ**

184 – «Гірництво»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_М.В. Шишов

Науковий керівник  
доктор технічних наук, професор  
Бондаренко Володимир Ілліч

Дніпро – 2024

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	16
Розділ 1 НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ ПРИ РОБОТІ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ЛАВ У НОВІТНІХ СВІТОВИХ ТРЕНДАХ ВУГЛЕВИДОБУТКУ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА АЛГОРИТМ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ .....	22
1.1 Сучасні тенденції вуглевидобутку у їх комплексному розгляді .....	22
1.2 Аналіз методів і засобів дегазації виїмкових ділянок і утилізації метану .....	26
1.3 Систематизація уявлень про вплив геомеханічних і технологічних факторів щодо підвищення ефективності ділянок дегазації .....	31
1.4 Мета і завдання досліджень. Алгоритм їх реалізації .....	35
1.5 Висновки за розділом .....	39
Список використаних джерел до розділу 1 .....	41
Розділ 2 МЕХАНІЗМ ЗСУВУ ГАЗОНАСИЧЕНОЇ НАДВУГІЛЬНОЇ ТОВЩІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ЙОГО ДОСЛІДЖЕНЬ МСЕ. ВПЛИВ ГЛИБИНИ ВЕДЕННЯ ОЧИСНИХ РОБІТ НА ПАРАМЕТРИ ДЕФОРМУВАННЯ СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНОГО ГІРСЬКОГО МАСИВУ .....	52
2.1 Узагальнення особливостей механізму деформування літотипів надвугільної товщі поблизу лави .....	52
2.2 Алгоритм досліджень стану гірського масиву МСЕ .....	64
2.2.1 Загальні положення .....	64
2.2.2 Обґрунтування параметрів геомеханічних моделей .....	66
2.3 Вплив глибини ведення очисних робіт на параметри зсуву надвугільної товщі .....	72
2.3.1 Особливості розповсюдження згинальних деформацій .....	72
2.3.2 Закономірності зрушень за падінням-підняттям вугільного пласта, що відпрацьовується .....	74

2.3.3 Тенденції впливу за простяганням .....	81
2.4 Порівняльний аналіз до існуючих досліджень МСЕ .....	84
2.5 Висновки за розділом.....	87
Список використаних джерел до розділу 2 .....	89
<b>Розділ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗТАШУВАННЯ</b>	
<b>ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ</b>	
<b>МОДЕЛЮВАННЯ МСЕ .....</b>	
3.1 Вплив текстури надвугільної товщі на параметри її зсуву	
у вироблений простір .....	95
3.1.1 Закономірності впливу текстури за падінням-підняттям .....	95
3.1.2 Закономірності за простяганням .....	99
3.2 Вплив механічних властивостей порід надвугільної товщі	
на НДС прилеглого до лави масиву .....	102
3.2.1 Закономірності за падінням-підняттям.....	103
3.2.2 Закономірності за простяганням .....	110
3.3 Вплив швидкості посування очисного вибою на НДС	
прилеглого масиву .....	114
3.3.1 Загальні положення .....	114
3.3.2 Закономірності зміни параметрів $\beta_1$ і $\alpha_{II}$ зсуву у напрямку	
падіння-підняття.....	119
3.3.3 Закономірності зміни параметра $\beta_3$ зсуву у напрямку	
простягання .....	122
3.4 Обґрунтування критеріїв і вибір параметрів розташування	
дільничних дегазаційних свердловин за результатами	
обчислювальних експериментів .....	125
3.4.1 Критерії визначення доцільних трас розташування	
дегазаційних свердловин .....	125
3.4.2 Методика вибору параметрів розташування дегазаційних	
свердловин за результатами моделювання МСЕ .....	130
3.5 Висновки та за розділом .....	134
Список використаних джерел до розділу 3 .....	137

## Розділ 4 ШАХТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ ЕФЕКТИВНОСТІ

## ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ З ГЕОМЕХАНІЧНИМИ І

## ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО

## ВІДПРАЦЮВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ. МЕТОДИКА

ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ .....	140
4.1 Методика виконання досліджень .....	140
4.1.1 Загальні положення .....	140
4.1.2 Алгоритм проведення шахтних експериментів .....	144
4.2 Загальна оцінка об'єктивності вибору параметрів технології дільничної дегазації .....	151
4.3 Вплив геомеханічних факторів на показники дільничної дегазації .....	154
4.4 Вплив технологічних факторів на показники дільничної дегазації .....	158
4.5 Методика вибору параметрів дільничної дегазації .....	165
4.6 Висновки за розділом .....	167
Список використаних джерел до розділу 4 .....	170
ВИСНОВКИ .....	172
Додаток А. Приклад розрахунку параметрів дегазації високонавантажених виїмкових дільниць у програмному середовищі Microsoft Visual Studio Community 2022 .....	177
Додаток Б. Методика вибору параметрів дегазації високонавантажених виїмкових дільниць шахт Західного Донбасу .....	191
Додаток В. Довідка щодо фактичного економічного ефекту від впровадження експериментальних параметрів буріння та збільшення діаметру дегазаційних свердловин на шатах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» .....	198

## АНОТАЦІЯ

*Шишов М.В.* Обґрунтування раціональних геомеханічних і технологічних параметрів високонавантажених лав з урахуванням дегазації підробленої надвугільної товщі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 «Гірництво», – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2024.

Представлена дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, у якій надано обґрунтування і наукове та практичне вирішення актуальної задачі встановлення закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процеси газовиділення і газозуловлювання у виробках виїмкових ділянок шахт Західного Донбасу та обґрунтування раціональних параметрів діляночної дегазації високонавантажених лав, що сприяє підвищенню їх продуктивності праці.

На основі проведеного аналізу існуючих досліджень встановлено багаторазове перевищення запасів метану вугільних родовищ України над запасами природного газу. Існує дві складові забезпечення енергоносіями: видобуток вугілля і утилізація метану з вуглевмісної товщі; обидві тісно пов'язані між собою, особливо у ракурсі продуктивності роботи високонавантажених лав. У цьому сенсі, незважаючи на накопичений практичний досвід та численні дослідження, залишається низка питань, яка пов'язана з особливостями родовищ Західного Донбасу як у гірничо-геологічному, так і гірничотехнічному плані.

У даній роботі розглядається узагальнена задача підвищення продуктивності видобувних ділянок шахт Західного Донбасу за рахунок визначення параметрів ефективної дегазації підробленого масиву на основі використання встановлених закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів.

Базою отримання наукових і практичних результатів є розвиток уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу з погляду визначення зон максимального розшарування і тріщиноутворень в районі ведення очисних робіт. Механізм зсуву розглянуто у просторовій постановці за двома

напрямами деформування породних шарів – підняттям і простяганням. На основі його розгляду обґрунтовані подальші дослідження щодо встановлення параметрів зон максимального розшарування і тріщиноутворення за допомогою моделювання МСЕ, а вплив головних технологічних факторів визначається на основі експериментальних досліджень у шахтних умовах.

За загальним алгоритмом досліджень виконано загальний розрахунок і аналіз НДС просторової геомеханічної моделі, що побудована за сучасними вимогами проведення обчислювальних експериментів і включає: частину гірського масиву попереду лави і з боку недоторканої вуглепородної товщі, вироблений простір позаду лави, виїмковий штрек і саму лаву з імітатором механізованого кріплення. Змінними параметрами є глибина розташування лави, текстура надвугільної товщі і узагальнені (за висотою основної покрівлі) механічні властивості її літотипів.

Багатоваріантні обчислювальні експерименти дозволили визначити залежності зміни координат зон максимального розшарування і тріщиноутворення при коливаннях основних геомеханічних факторів щодо умов Західного Донбасу. На основі методів кореляційно-дисперсійного аналізу отримані рівняння регресії з визначення кутів нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину породних шарів основної покрівлі позаду лави та відстані (від очисного вибою) максимального вигину породних шарів у зоні фронтального опорного тиску попереду лави.

Моделювання МСЕ також дозволило визначити вплив швидкості посування очисного вибою, що увійшов складовою до рівнянь регресії. Вплив цього технологічного параметру визначається також експериментально в шахтних умовах, що є запорукою до підтвердження достовірності подальших рекомендацій з вибору раціональних параметрів технології дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу.

Виконано комплекс експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів за різних глибин розташування лави, текстури і механічних властивостей порід надвугільної товщі. Для цього експериментальні вимірювання здійснено на двох шахтах із залученням шести виїмкових дільниць для більш

обґрунтованої розробки рекомендацій. Узагальнюючим критерієм прийнятий коефіцієнт дегазації, що опосередковано визначає ступінь ефективності обраних параметрів розташування дегазаційних свердловин. Паралельно оцінено відповідність один одному аналітичних та експериментальних закономірностей впливу геомеханічних параметрів (глибина ведення очисних робіт, текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі). Експериментально визначено доцільні інтервали зміни кутів нахилу (за підняттям і простяганням) дегазаційних свердловин і крок їх буріння уздовж виїмкової виробки.

На заключному етапі досліджень розроблено методику вибору раціональних параметрів технології дільничної дегазації, що є кінцевим практичним результатом рекомендацій з підвищення продуктивності очисних робіт на шахтах Західного Донбасу.

Проведені техніко-економічні розрахунки дозволили отримати економічний ефект від підвищення продуктивності роботи очисних комплексів у розмірі 91,71 млн грн по шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

*Ключові слова:* вугільна шахта, дегазація, геомеханічні і технологічні фактори, параметри, свердловини, утилізація метану.

## Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

*Статті у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:*

1. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Ковалєвська, І.А., Симанович, Г.А., **Шишов, М.В.**, & Малова, О.К. (2023). Розвиток уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі з погляду його впливу на параметри дільничної дегазації в умовах Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*, (72), 27-39. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.027>

*Здобувач провів аналіз достовірності запропонованих параметрів розташування дегазаційних свердловин позаду лави в умовах слабометаморфізованих порід.*

2. Шека, І.В., Салєєв, І.А., **Шишов, М.В.**, Малова, О.К., Почепов, В.М., & Мамайкін, О.Р. (2023). Аналіз використання композитних матеріалів для подальшого застосування у кріпленнях гірничих виробок. *Збірник наукових праць НГУ*, (72), 62-76. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.062>

*Здобувач провів аналіз даних ринку матеріалів, об'єму потужностей їх виробництва, вартісних показників.*

3. Шишов, М.В. (2024). Аналіз методів і засобів дегазації виїмкових дільниць та утилізації метану для підвищення ефективності дільничної дегазації в умовах шахт Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*, (77), 56-73. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/77.056>

*Здобувачем проаналізовано методи і засоби дегазації виїмкових дільниць й утилізації метану та систематизовано уявлення про механізм зсуву надвугільної товщі в умовах шахт Західного Донбасу з погляду визначення зон розшарування і тріщиноутворення у породах покрівлі при відпрацюванні вугільних пластів.*

*Статті у виданнях інших держав, що індексуються в наукометричній базі даних Scopus і Web of Science:*

4. Symanovych, H., Salieiev I., **Shyshov, M.**, Odnovol, M. (2022). Substantiating the optimization solutions for the mine working fastening system interaction with the



enclosing rock mass. *Mining of Mineral Deposits*, 16(3), 54-60.  
<https://doi.org/10.33271/mining16.03.054>

*Здобувач взяв участь у розробці методики отримання деформаційно-силової характеристики масиву, що знеміцнюється, залежно від глибини розміщення виробки, текстури порід надвугільної товщі та її міцнісних характеристик.*

5. Bondarenko, V.I., Symanovych, H.A., Kovalevska, I.A., **Shyshov, M.V.**, & Yakovenko, V.H. (2023). Geomechanical substantiation of parameters for safe completion of mining the coal reserves adjacent to main workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 46-52.  
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/046>

*Здобувач провів аналіз гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов підтримання мережі магістральних виробок, шахтних спостережень за їх станом з виявленням особливостей проявів гірського тиску та прогнозуванням ймовірних негативних наслідків ведення очисних робіт.*

6. Bondarenko, V., Salieiev, I., Symanovych, H., Kovalevska I., & **Shyshov, M.** (2023). Substantiating the Patterns of Geomechanical Factors Influence on the Shear Parameters of the Coal-Overlaying Formation Requiring Degassing at High Advance Rates of Stopping Faces in the Western Donbas. *Inżynieria Mineralna*, 1(51), 23-32.  
<http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-03>

*Здобувачем проведено узагальнення особливостей механізму деформування літотипів надвугільної товщі поблизу лави й обґрунтовано методіку його дослідження методом скінченних елементів.*

7. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Chervatiuk, V., Malashkevych, D., **Shyshov, M.**, & Chernyak, V. (2023). A new concept for complex mining of mineral raw material resources from DTEK coal mines based on sustainable development and ESG strategy. *Mining of Mineral Deposits*, 17(1), 1-16.  
<https://doi.org/10.33271/mining17.01.001>

*Здобувач взяв участь у розробці комплексного підходу до аналізу наявного досвіду та наявних технологій видобутку і переробки мінеральних ресурсів із вугільних шахт з переходом на багатопродуктове виробництво.*

8. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Symanovych, H., & **Shyshov, M.** (2023). Substantiating the expedient route parameters for the location of the site outgassing wells in the Western Donbas conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (1348), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012032>

*Здобувачем обгрунтовано параметри просторової геомеханічної моделі, яка містить зони шаруватого слабометаморфізованого гірського масиву попереду і позаду лави з частиною недоторканої вуглепородної товщі з боку сусідньої виїмкової ділянки. Також здобувач визначив кількісний зв'язок параметрів зсуву надвугільної товщі з глибиною розташування лави, який дозволяє обирати доцільні схеми розташування дегазаційних свердловин.*

9. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, H., Salieiev, I., & **Shyshov, M.** (2024). Consideration of multifactorial geomechanical-technological factors in determining the rational parameters for site outgassing technology at the Western Donbas mines (Ukraine). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (1415), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012024>

*Здобувач розробив алгоритм урахування впливу швидкості посування лави на параметри зсуву надвугільної товщі у вироблений простір, що дозволило визначити координати доцільних трас розташування дільничних дегазаційних свердловин.*

*Матеріали міжнародних наукових конференцій:*

10. Bondarenko, V.I., Kovalevska, I.A., & **Shyshov, M.V.** (2022). Creating of models for the formation and development of the stress-strain state anomalies in the mass using the latest technologies for maintaining extraction workings under conditions of high advance velocity of stope faces. *The V International Scientific and Technical Conference* (pp. 104-106). Petroșani, Romania: University of Petrosani.

*Здобувачем розроблено алгоритм проведення комп'ютерного моделювання в умовах слабометаморфізованих порід при високих швидкостях посування очисного вибою.*

11. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Malashkevych, D., Salieiev, I., & **Shyshov, M.** (2023). A new concept for the transformation of coal mines into an industrial and economic complex with an expanded use of mineral resources in a closed cycle. *XXXII Szkola Eksploatacyj Podzemnej* (27.02-01.03.2023). Krakow, Poland.

*Здобувачем проаналізовано нову концепцію трансформації вугільних шахт у контексті замкнутого циклу.*

12. Kovalevska, I., **Shyshov, M.**, & Cherednychenko, Yu. (2023). Development of ideas on deformation of the gas-saturated coal-overlying formation in the conditions of stratified mass of weakly metamorphosed Western Donbas rocks. *XVIth International Scientific & Practical Conference “Ukrainian School of Mining Engineering”* (pp. 3-4). Skhidnytsia, Ukraine. <https://doi.org/10.33271/usme16.003>

*Здобувач взяв участь у розробці механізму перетворень текстури шаруватого масиву слабких гірських порід у зв'язку з параметрами технології дегазації виїмкової ділянки вугільної шахти.*

13. Kovalevska, I., **Shyshov, M.**, & Voronin, S. (2024). Основні принципи інноваційної методики розрахунку раціональних параметрів технології дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу. *XVIIth International Scientific & Practical Conference “Ukrainian School of Mining Engineering”* (pp. 15-16). Skhidnytsia, Ukraine. <https://doi.org/10.33271/usme17.000>

*Здобувач розробив методику визначення доцільних координат буріння дегазаційних свердловин за результатами моделювання методами скінченних елементів.*

14. **ШИШОВ, М.**, Малашкевич, Д., & Руських, В. (2024). Впровадження методів машинного навчання для прогнозу потужності пласта на прикладі геоінформаційних даних шахти ім. Героїв Космосу. *XVII Міжнародна науково-практична конференція «Українська школа гірничої інженерії»* (pp. 47-48). Східниця, Україна. <https://doi.org/10.33271/usme17.000>

*Здобувач провів експериментальні дослідження з прогнозування потужності пласта на шахті ім. Героїв Космосу. Також провів обробку даних та обґрунтував їх достовірність.*

*Патенти*

15. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Ковалєвська, І.А., Черватюк, В.Г., Симанович, Г.А., **Шишов, М.В.**, Малашкевич, Д.С., Саїк, П.Б., Сушкова, В.В, & Малова, О.К. (2023). *Стенд дослідження шахтної води*. Патент на корисну модель №154108, Україна, МПК В01D 61/02; заявник і власник патенту НТУ «Дніпровська політехніка», №u202301079; заяв. 16.03.2023; опубл. 11.10.2023; Бюл. №41. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=286538>

*Здобувач розробив елементи для стенду з дослідження шахтної води.*

## ABSTRACT

*Shyshov M.V.* Substantiation of rational geomechanical and technological parameters for highly stressed longwall faces taking into account outgassing of undermined coal-overlying formation. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 184 “Mining”, – Dnipro University of Technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2024.

The presented dissertation is a completed scientific-research work that provides substantiation and a scientific-practical solution to the actual problem of determining the patterns of geomechanical and technological factors, influencing the outgassing and gas capture processes in the mine workings of the extraction sites in the Western Donbas mines. In addition, site outgassing rational parameters for highly stressed longwall faces are substantiated, which contributes to increase in their productivity.

Based on the performed analysis of existing studies, it has been revealed that methane reserves of Ukrainian coal deposits are many times higher than natural gas. There are two energy source components: coal mining and methane utilization from the coal-bearing stratum; both are closely related, especially in terms of the productivity of highly stressed longwall faces. In this sense, despite the accumulated practical experience and numerous studies, a number of questions remain that are related to the peculiarities of the Western Donbas deposits, both in mining-geological and mining-technical terms.

This research deals with the generalized problem of increasing the productivity of mining sites in the Western Donbas mines by determining the effective outgassing parameters for the undermined rock mass based on the use of determined patterns of influence of geomechanical and technological factors.

The basis for obtaining scientific-practical results is the development of ideas about the mechanism of coal-overlying formation shear in the conditions of Western Donbas in terms of identifying the zones of maximum stratification and fracturing in the zone of stope operations. The shear mechanism is considered in a spatial formulation according to two directions of deformation of rock layers – to the rise and along the

strike. Based on its consideration, further research on determining the parameters of zones of maximum stratification and fracturing using FEM modeling is substantiated, and the influence of the main technological factors is determined on the basis of experimental research in mine conditions.

General calculation and analysis of the SSS of spatial geomechanical model, constructed in accordance with modern requirements of conducting computational experiments, have been performed using the general research algorithm, including: a part of the rock mass ahead the longwall face and from the side of the virgin coal-rock stratum, the mined-out space behind the longwall face, an extraction drift and the longwall face itself with a simulated powered support. The variable parameters are the longwall face depth, the coal-overlying formation texture, and the generalized (throughout the height of the main roof) mechanical properties of its lithotypes.

Multivariate computational experiments have made it possible to determine the dependences of changes in the coordinates of zones of maximum stratification and fracturing when the main geomechanical factors fluctuate depending on the Western Donbas conditions. Based on the methods of correlation-dispersion analysis, regression equations have been obtained for determining the gradient angles of the line of changing curvature sign of the main roof rock layers bending behind the longwall face and the distance (from the stoping face) of the maximum bending of the rock layers in the frontal bearing pressure zone ahead the longwall face.

FEM modeling also makes it possible to determine the influence of the stoping face advance velocity, which forms an integral part of the regression equations. The influence of this technological parameter is also determined experimentally in mine conditions, which is the key to confirm the validity of further recommendations on the choice of rational parameters for site outgassing technology in the Western Donbas mines.

A set of experimental studies has been performed on the influence of technological parameters at different depths of longwall face location, texture and mechanical properties of coal-overlying formation rocks. For this purpose, experimental measurements have been conducted at two mines involving six mining sites to better

inform the development of recommendations. The general criterion is the outgassing coefficient, which indirectly determines the degree of effectiveness of the selected parameters for outgassing well location. At the same time, the correspondence between the analytical and experimental patterns of influence of geomechanical parameters (depth of stope operations, texture and mechanical properties of coal-overlying formation rocks) has been assessed. Expedient intervals for changing the gradient angles (to the rise and along the strike) of outgassing wells and the step of their drilling along the extraction working have been determined experimentally.

At the final stage of the research, a methodology for selecting rational parameters for site outgassing technology has been developed, which is the final practical result of recommendations for increasing the productivity of stope operations in the Western Donbas mines.

The conducted technical and economic calculations have made it possible to obtain an economic effect from the increase in the productivity of stope complexes in the amount of UAH 91.71 million per year for mines PJC “DTEK Pavlohradvuhillia”

*Keywords:* coal mine, draining-out of gases, geomechanical and technological factors, parameters, wells, methane utilization.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасні умови зовнішньо- і внутрішньополітичної ситуації, радикального падіння ВВП України та скорочення виробництва у багатьох галузях народного господарства потребують всебічної і комплексної розробки перспективного плану відродження України, в якому енергетична складова займає ключове місце. За обмежених запасів і об'ємів видобутку з газових покладів вугільна галузь залишається зараз і на тривалу перспективу головною у побудові засад енергонезалежності України.

Існуючі розробки та дослідження однозначно стверджують про багаторазове перевищення запасів метану вугільних родовищ України над запасами природного газу, і це в планах розвитку промисловості повинно займати належне місце, але вилучення газу нерозривно пов'язане з видобутком вугілля у прямолінійній залежності. Тобто, є дві складові забезпечення енергоносіями: видобуток вугілля і утилізація метану з вуглевмісної товщі; обидві складові мають спільні тенденції зміни. Але існує й інший фактор – газовиділення обмежує темпи видобутку вугілля за сучасних високопродуктивних механізованих комплексів.

Тому узгодження і вирішення даних протиріч є актуальним завданням розвитку вуглевидобутку країни. У цьому сенсі, незважаючи на накопичений практичний досвід та численні наукові дослідження, все ж таки залишилась низка питань, яка пов'язана з особливостями Західного Донбасу як у гірничо-геологічному, так і гірничотехнічному плані. Гірничо-геологічна складова – відмінності у текстурі і фізико-механічних властивостях слабометаморфізованих порід; гірничотехнічна складова – високопродуктивні механізовані комплекси, сучасний підземний транспорт, повторне використання виїмкових штреків з новітніми технологіями їх підтримки.

У ракурсі успішного вирішення зазначених питань встановлення закономірностей газовиділення у виробках виїмкових дільниць шахт Західного Донбасу та обґрунтування параметрів дільничної дегазації високонавантажених лав є актуальною науковою задачею, вирішення якої має суттєвий вплив на



підвищення вуглевидобутку у цьому регіоні, що на даний час є головним в Україні.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України «Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці», стратегією розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року «Вугільна промисловість» і планів держбюджетних НДР: тема ГП-504 «Наукові та практичні основи оптимізації розрахунку параметрів інноваційних технологій при видобутку корисних копалин підземним способом» (№ держреєстрації 0120U102077), ГП-509 «Наукове та практичне обґрунтування оптимізаційних рішень при впровадженні інноваційних технологій мінімізації ризиків при закритті вугільних шахт» (№ держреєстарції 0122U001719), ГП-514 «Розробка геомеханічних моделей гірського масиву та інноваційних технологій комплексного видобутку мінеральних ресурсів вугільних шахт» (№ держреєстарції 0123U101808), де автор був виконавцем.

**Мета роботи** – підвищення продуктивності видобувних діляниць шахт Західного Донбасу за рахунок визначення параметрів ефективної дегазації підробленого масиву позаду лави на основі використання встановлених закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів.

**Для реалізації поставленої мети сформульовані та вирішені наступні завдання дослідження:**

1. Обґрунтувати домінуючі геомеханічні фактори і розкрити механізм їх впливу на газовиділення у підробленій вуглевмісній товщі за підвищених швидкостей посування лави в умовах Західного Донбасу.

2. Визначити закономірності зміни газовиділення у процесі зсуву підробленої надвугільної товщі та розробити методику оцінки впливу геомеханічних факторів.

3. Встановити зв'язок інтенсивності газовиділення з технологічними факторами високошвидкісного відпрацювання вугільних пластів з урахуванням параметрів технології дегазації позаду лави.

4. Розробити методику вибору раціональних параметрів технології дегазації високонавантажених лав в умовах Західного Донбасу.

**Ідея роботи** полягає у використанні встановлених закономірностей впливу домінуючих геомеханічних і технологічних факторів на процеси газовиділення з вуглевмісної товщі для обґрунтування параметрів дегазації високонавантажених лав виїмкових ділянок шахт Західного Донбасу.

**Об'єкт дослідження** – геомеханічні процеси газовиділення з підробленої вуглевмісної товщі в умовах Західного Донбасу.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни газовиділення під впливом домінуючих геомеханічних і технологічних факторів відпрацювання вугільних пластів у гірському масиві слабометаморфізованих порід.

**Методи досліджень.** Для вирішення поставлених завдань у роботі використано комплекс взаємопов'язаних методів: узагальнення існуючих розробок з виділенням домінуючих факторів; обчислювального експерименту з використанням методу скінченних елементів (МСЕ); шахтні інструментальні спостереження за проявами гірського тиску і закономірностями зміни газовиділення позаду лави; методи кореляційно-дисперсійного аналізу показників експериментальних досліджень; стандартні методи вимірювання параметрів.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Отримано нові емпіричні залежності газовиділення на видобувній ділянці від низки геомеханічних і технологічних факторів. Їх відмінність від існуючих полягає у статистичній обробці великого об'єму експериментальних даних по шахтах Західного Донбасу і тому запропоновані вирази не тільки мають підвищену достовірність, але й враховують взаємодію між собою усього комплексу домінуючих факторів.

2. Вперше встановлено, що ефективність дегазації виїмкової ділянки пов'язана з координатами розташування дегазаційних свердловин; вони повинні перетинати області зміни знаку кривизни вигину літотипів (позаду лави) за падінням і простяганням одночасно, а також проходити крізь зони максимальних вигинів найбільш жорстких літотипів у привибійних зонах дії фронтального

опорного тиску; при цьому ступінь дегазації має степеневі залежності від кута нахилу дегазаційних свердловин і відстані між ними, що дозволяє обґрунтовано розробляти паспорти дегазації виїмкових ділянок з підвищеним навантаженням на очисні вибої.

3. Розкрито зв'язок інтенсивності газовиділення з процесами зсуву надвугільної товщі, який відрізняється від існуючих урахуванням геомеханічних особливостей текстури і фізико-механічних властивостей слабометаморфізованих порід Західного Донбасу за підвищених швидкостей посування очисних вибоїв.

**Наукове значення** роботи полягає у розвитку уявлень про механізм газовиділення в умовах роботи високонавантажених лав шахт Західного Донбасу, а також встановленні закономірностей зміни газовиділення під впливом геомеханічних (глибина очисних робіт, текстура і фізико-механічні властивості порід надвугільної товщі) і технологічних (швидкість посування і продуктивність лави, параметри розташування дегазаційних свердловин) факторів.

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується коректною постановкою й рішенням задач із використанням апробованих методів механіки гірських порід, методів скінченних елементів, експериментальним визначенням показників газовиділення, кореляційно-дисперсійним аналізом результатів; достовірність при замірах газовиділення склала 87 – 94%.

**Практичне значення отриманих результатів:**

– встановлено раціональні параметри технології дільничної дегазації, що дозволило підвищити процес газовиділення з подробленого вуглевмісного масиву;

– розроблено «Методику вибору параметрів дегазації високонавантажених виїмкових ділянок шахт Західного Донбасу», яка прийнята до використання у ТОВ «ДТЕК Енерго»;

– розроблено програму для розрахунку параметрів дегазації високонавантажених виїмкових ділянок шахт Західного Донбасу в програмному середовищі Microsoft Visual Studio Community 2022;

– обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри розташування дільничних дегазаційних свердловин при відпрацюванні запасів пласта  $C_5$  на ВСП «ШУ ім. Героїв Космосу» ТОВ «ДТЕК Енерго», що дозволило підвищити навантаження на 501-ій і 503-ій лавах на 12,7%.

**Реалізація результатів роботи.** Результати дисертаційної роботи впроваджені у вигляді: створення експериментальної дільниці в ВСП «ШУ ім. Героїв Космосу»; розробки «Методики вибору параметрів дегазації високонавантажених виїмкових дільниць шахт Західного Донбасу», яка використовується науковцями НТУ «Дніпровська політехніка» під час проведення дослідження за тематиками; отримання патентів.

Економічний ефект, що очікується від впровадження «Методики вибору параметрів дегазації високонавантажених виїмкових дільниць шахт Західного Донбасу», склав 91,71 млн грн.

Отриманий економічний ефект від підвищення продуктивності 501 і 503 лав пласта  $C_5$  на ВСП «ШУ ім. Героїв Космосу» склав 6,07 млн грн.

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні мети і завдань, об'єкта і предмета досліджень, ідеї роботи і наукових положень, висновків і рекомендацій з їх практичної реалізації; розроблено математичну модель зсуву надвугільної товщі у вироблений простір та виконано аналіз напружено-деформованого стану (НДС); виконано узагальнення закономірностей впливу домінуючих геомеханічних і технологічних факторів на процес газовиділення з підробленого вуглевмісного масиву; автор безпосередньо приймав участь у проведенні експериментальних досліджень і розробці «Методики вибору параметрів дегазації високонавантажених виїмкових дільниць шахт Західного Донбасу». Текст дисертації викладено автором особисто.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: Українська школа гірничої інженерії (Східниця, 2023, 2024), Школа експлуатації підземної (Краків, Польща, 2023), V міжнародна науково-практична конференція (Петросані, Румунія, 2022), V міжнародна

науково-технічна конференція «Стійкий розвиток» (Дніпро, 2024), а також на науково-технічних нарадах шахт ТОВ «ДТЕК Енерго».

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 3 статті у фахових наукових виданнях з переліку МОН України, 6 статей у виданнях, що індексуються у наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science, 5 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій та патент на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел зі 171 найменування на 19 сторінках; містить 156 сторінок машинописного тексту, 39 рисунків на 20 сторінках і 3 додатки на 26 сторінках; загальний обсяг дисертації – 202 сторінки.

## РОЗДІЛ 1

# НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ ПРИ РОБОТІ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ЛАВ У НОВІТНІХ СВІТОВИХ ТRENДАХ ВУГЛЕВИДОБУТКУ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА АЛГОРИТМ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

### 1.1 Сучасні тенденції вуглевидобутку у їх комплексному розгляді

У сучасних трендах вуглевидобутку спостерігається певний напрям, якщо їх розглядати з урахуванням супутніх факторів світового масштабу. Тому зроблена спроба оцінки і винайти дещо компромісні шляхи найбільш доцільного напрямку розвитку бази для переважно комплексного вирішення більшості задач сталого функціонування вугільних підприємств України на перспективу.

Міжнародна Енергетична Агенція ІЕА (International Energy Agency; [www.iea.org](http://www.iea.org)) стверджувала у 2016 році про міцні позиції вугілля [1] з щорічним споживанням на рівні 7 млрд т у 2020 – 2021 рр. Відомо, що максимальний рівень вуглевидобутку був у 2013 р. (приблизно 8,3 млрд т), але потім мало місце його зниження [2], [3]. Стверджується [4], [5], що основні країни-споживачі кам'яного вугілля у перспективі будуть стабілізувати або зменшувати його споживання; за прогнозними розрахунками зменшення може скласти 0,8% на рік. Прогнозна динаміка споживання кам'яного вугілля свідчить, що головні країни-вуглеспоживачі під час виробництва електроенергії та тепла здійснюють перехід до більш ефективного використання вторинних ресурсів, а також залучають альтернативні джерела енергії.

Фахівці стверджують, що від'ємна динаміка тренду споживання буде мати довгостроковий характер [6], воно впаде до 6,5 – 6,6 млрд т у 2025 р. і до 5,7 – 6,0 млрд т у 2035 р. Очікується, що до 2040 р. глобальна частка вугілля впаде до 19% і це падіння буде компенсоване [7] відновлювальними джерелами енергії (19%) і природним газом (25%).

Викладені прогнозні дані характеризують перший світовий тренд на виробництво і споживання кам'яного вугілля. Але існують й інші фактори

світового масштабу. Серед них безпосередньо пов'язана (з першим трендом) тенденція зменшення викидів парникових газів, наприклад, за даними [8] у навколосемну атмосферу щорічно викидалося 1,25 – 1,30 млрд м<sup>3</sup> вугільного метану станом на середину 2000 років. У той же час, сьогодні метан вугільних пластів вважається одним з перспективних джерел природної сировини; тому станом на 2020 р. світовий видобуток метану з вугільних пластів становить 78 млрд м<sup>3</sup>, а на 2040 р. прогнозується 157 млрд м<sup>3</sup> [9] – [11]. Світовими лідерами в цьому напрямі є США, Канада, Австралія та Китай.

Екологічно чиста утилізація метану базується на можливості його повного спалення у замкненому циклі очищення й переробки продуктів згорання [12]. Сучасні технології дозволяють відбирати і захоронити вуглекислий газ у самих вугільних пластах – це дозволяє реалізувати вкрай важливе завдання зниження викиду парникових газів до атмосфери. Активно розробляється (США, Англія, Австралія, Німеччина, Японія та ін.) технологія витиснення метану з вугільних пластів та вуглевміщуючих порід за допомогою вуглекислого газу та азоту [13], [14].

З жорсткими вимогами до охорони навколишнього середовища розробляються у Польщі [15], [16] технології видобутку альтернативних ресурсів з вугілля; проводяться широкомасштабні дослідження з цього питання та викладений досвід впровадження новітніх технологій [17] – [21]. Важливість утилізації метану в польських вугільних шахтах [22] обґрунтовується великими об'ємами газу – підтверджений баланс становить 85,9 млрд м<sup>3</sup> [23]. У цій країні дуже прискіпливо відносяться до безпеки розробки метанонасичених вугільних пластів [24]; відмічений великий вміст метану [25] – [27] не тільки на території вугільних родовищ Польщі, а й Чехії. Тому виконується комплекс досліджень [28] емісії метану з вугільних пластів і розробляються методи його дренажу для забезпечення безпеки і захисту навколишнього середовища. Встановлено, що метанонасиченість підвищується із зростанням глибини  $H$  розташування вугільного пласта, але найбільш небезпечний інтервал складає  $500 \leq H \leq 1100$  м [29], [30]; також підвищується ризик небезпечних проявів за підсилення

концентрації гірничих робіт [31], [32]. У цьому сенсі розглядається різноманітна техніка буріння дегазаційних свердловин [33], у тому числі в обвалену покрівлю виробленого простору [34] – [36], а також застосування випереджаючих свердловин [37]. Разом з технічними питаннями виконуються дослідження з оптимізації параметрів дегазації у лаві [38], а також розробляються методи контролю процесів утилізації її метану [39], [40].

Що стосується України, то розглянута проблема видобутку і використання метану вугільних родовищ дозволить поєднати забезпечення її енергоносіями з ростом безпеки роботи вугільних шахт та зменшення негативного впливу парникових газів [41] – [44]. За даними Державного комітету України по геології і використанню надр загальні запаси шахтного метану на Донбасі оцінювалися в 1,3 трлн м<sup>3</sup>; за іншими оцінками ресурси метану тільки у вугільних пластах Донбасу можуть перевищувати 4,0 трлн м<sup>3</sup> [45], [46], що у 3,0 – 3,5 рази більше, ніж доведені запаси природного газу.

На сьогодні в Україні використовують [47] приблизно 0,5% від потреб країни в газі. Для порівняння, наприклад, у США споживається близько 10%; також високий показник має місце в країнах з розвиненою вугільною промисловістю – Канаді, Великій Британії, Австралії, Німеччині та Польщі [48]. У цьому сенсі доречно нагадати, що метан, який викидається в атмосферу вентиляційними системами вугільних шахт, сприяє створенню парникового ефекту. У роботі [49] приблизно підтвержені відомості, що запаси метану вугільних родовищ України у 2,0 – 2,5 рази перевищують запаси природного газу та надається оцінка технічним можливостям його видобутку на рівні 1,2 – 3,6 трлн м<sup>3</sup>. Майже на порядок вищий позитивний прогноз [50] щодо об'ємів загального ресурсу метану (у вугленосній товщі Донбасу) – він становить від 12 трлн м<sup>3</sup> до 25 трлн м<sup>3</sup> і наголошується, що методи шахтної дегазації дуже перспективні в майбутніх технологіях видобутку вугілля. У цьому ракурсі провідні фахівці доволі однозначно стверджують про перспективність розвитку газововугільного напрямку в енергонезалежності України поряд із великим соціальним і політичним значенням. Наприклад, у роботі [51], як і у багатьох інших, ставлять на перший план три основних аспекти



комплексної розробки газовугільних родовищ, серед яких завдання дільничної дегазації займає не останнє значення у сфері безпеки ведення гірничих робіт та підвищення їх ефективності.

Викладені вище новітні напрями газовугільних технологій активно впроваджуються в компанії ДТЕК Енерго: вони допомагають знизити негативний вплив промислового виробництва на екологічний стан регіонів. Проект реалізовано спільно з компанією Recycling Solutions. Тепер небезпечний газ, що виділяється у гірничих виробках під час видобутку вугілля, відкачується на поверхню і перетворюється на електрику й тепло на спеціальному когенераційному обладнанні. Це, насамперед, скорочення викидів парникових газів і крок у бік декарбонізації.

Оцінка ресурсного потенціалу шахтного метану на шахтах Західного Донбасу сягнула 2,36 млрд м<sup>3</sup>. Наявне на сьогодні застосування дегазаційних систем на шахтах ім. Героїв Космосу, «Західно-Донбаська», «Ювілейна», «Степова» та «Дніпровська» обумовлює перспективність застосування когенераційних установок для підвищення енергоефективності та екологізації видобутку вугілля. Їх використання дає змогу покривати потреби електроенергії шахт на рівні 35 – 50%, а в разі функціонування в перспективі двох дегазаційних комплексів на шахті ім. Героїв Космосу з'являється можливість покриття її потреб в електричній енергії на всі 100%.

У підсумку бачимо, що другий світовий тренд (розвиток газовугільних технологій) має єдиний напрям з першим і дозволяє з поміркованим оптимізмом прогнозувати створення екологічно ощадливих способів і засобів перетворення вторинної сировини на корисну і безпечну продукцію життєзабезпечення населення.

## **1.2 Аналіз методів і засобів дегазації виїмкових дільниць та утилізації метану**

Досвід розробки вугільних родовищ свідчить про максимально негативні соціальні, технологічні, економічні та екологічні наслідки. У цьому сенсі каптування метану з відведенням його на земну поверхню є значно безпечнішим і дешевшим, ніж розбавлення його повітрям і транспортування гірничими виробками. При цьому забезпечується можливість використання метану, що компенсує певну частку витрат на процеси дегазації. Важливим є той факт, що підвищення ефективності дегазації сучасними засобами дає змогу видобувати метан за якістю та кількістю, придатними для його переробки на електроенергію та тепло, з одночасним підвищенням безпеки ведення гірничих робіт і запобігання забрудненню атмосфери. Підвищення продуктивності видобутку вугілля сучасним обладнанням також пов'язане з вирішенням головної проблеми – дегазацією вуглепородного масиву.

Фахівці гірничої справи ще у 60 – 70 рр. минулого століття виділили декілька напрямів дегазації вуглепородного масиву: свердловинами, що пробурені із земної поверхні; попередня дегазація; підземна дегазація; дегазація після експлуатації.

До початку розробки вугільних родовищ (попередня дегазація) роботи з вилучення метану активно розвивалися ще з 80 – 90 рр. минулого століття з головною метою запобігання раптових викидів вугілля та газу, суфлярних виділень метану і створення газової безпеки шахт. Як основний спосіб застосовується гідророзрив вугільних пластів і породних шарів [52] – [55].

Попередня дегазація реалізується шляхом буріння з земної поверхні низки вертикальних, похилих і горизонтальних свердловин за певною схемою їх розташування. Ці схеми залежать від багатьох факторів геомеханічного і технологічного характеру. Їхній вплив розглянуто у багатьох наукових працях, наприклад, [56] – [62]. З боку технологічних факторів виникає проблема точності буріння, тобто боротьби з відхиленнями траси залежно від гірничо-геологічних умов [60] – [62], контролю, корегування та моделювання траєкторії свердловини

[63] – [70]; особливо це важливо під час буріння локальних дегазаційних свердловин в обмежених районах небезпечного скупчення газу [71]. Треба зазначити, що досвід практичного застосування в Україні засобів попередньої дегазації шляхом гідророзриву показав їхню невелику ефективність – не забезпечується потрібне зменшення газоносності за немалих витрат.

Підземну технологію дегазації зазвичай поділяють на три складові: попередня пластова дегазація; поточна дегазація свердловинами, пробуреними з гірничих виробок; дегазація виробленого простору.

Попередню дегазацію вугільних пластів, що розробляються, доцільно здійснювати за певного відносного показника виділення метану в лаві шляхом буріння свердловин паралельно або під кутом до очисного вибою. Щодо типових схем попередньої дегазації на шахтах Донбасу, то їх ефективність зазвичай становить 25 – 30%. Однак є відомості, що комбінація двох систем свердловин, які по-різному зорієнтовані у вугільному пласті, дозволяє досягати коефіцієнту дегазації до 45 – 55%, а саме ця величина забезпечує попередження раптових викидів вугілля, як встановлено з досвіду попередньої дегазації.

Якщо дегазація вуглепородного масиву свердловинами не забезпечує потрібної ефективності, то для виключення обмежень навантаження на очисний вибій за газовим фактором треба виключити вплив метановиділення із виробленого простору. Для вирішення цієї проблеми існує декілька варіантів дегазації (залежно від гірничотехнічних умов відпрацювання конкретного вугільного пласта), але всі вони мають ті чи інші недоліки.

Джерела газовиділення у процесі вуглевидобутку, розвантаження від гірського тиску та інтенсивного вивільнення від метану ефективно дегазуються свердловинами, що буряться услід за лавою (поточна дегазація). Розташування зон підвищеного газовиділення залежить від гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів [51], [55], [72] – [82]. До перших відноситься глибина розробки і кут падіння пласта, потужність і літотипний склад масиву. До других факторів – система розробки, схеми дегазації і провітрювання виїмкових ділянок, довжина і швидкість посування лави.

Обрана схема дегазації повинна забезпечувати [83], [84]: газову безпеку дільниці; максимальне навантаження на очисний вибій; виведення газової суміші на земну поверхню за максимальної концентрації в ній метану. Під час буріння свердловин позаду очисного вибою забезпечуються найсприятливіші умови їх функціонування: свердловина не підробляється очисним вибієм; гирла свердловин захищені від руйнування охоронною конструкцією виїмкового штреку, що використовується повторно. Досвід експлуатації таких свердловин показав, що ефективність дегазації вуглепородного масиву сягає 60 – 70% при вмісті метану близько 30%.

На шахтах Західного Донбасу в більшості схем дільничної дегазації вдається каптувати до 50% газу, а метан, що не каптується системою дегазації, розбавляється до концентрацій менше 1% і виводиться в атмосферу. Наведемо декілька прикладів схем дегазації, що застосовуються на шахтах Західного Донбасу.

На шахті ім. Героїв Космосу під час відпрацювання 501 лави передбачена дегазація покрівлі свердловинами, пробуреними за очисним вибоєм з вентиляційної виїмкової виробки (рис. 1.1). На шахті «Степова» дегазація покрівлі на виїмкових дільницях 153 і 178 лав пласта  $C_6$  здійснюється за допомогою буріння дегазаційних свердловин позаду очисного вибою з розворотом у бік його руху по 153 і 180 збірних штреках (рис. 1.2). На шахті «Ювілейна» відпрацювання пласта  $C_6$  також здійснюється технологією дільничної дегазації покрівлі (рис. 1.3). Аналогічну схему дегазації прийнято на шахті «Дніпровська» (рис. 1.4) при відпрацюванні пласта  $C_{10}^e$ ; фактичний коефіцієнт дегазації 1186 виїмкової дільниці становить 42%. Станом на сьогодні на шахтах «Павлоградська», «Самарська» і «Тернівська» технологія дегазації не застосовується.

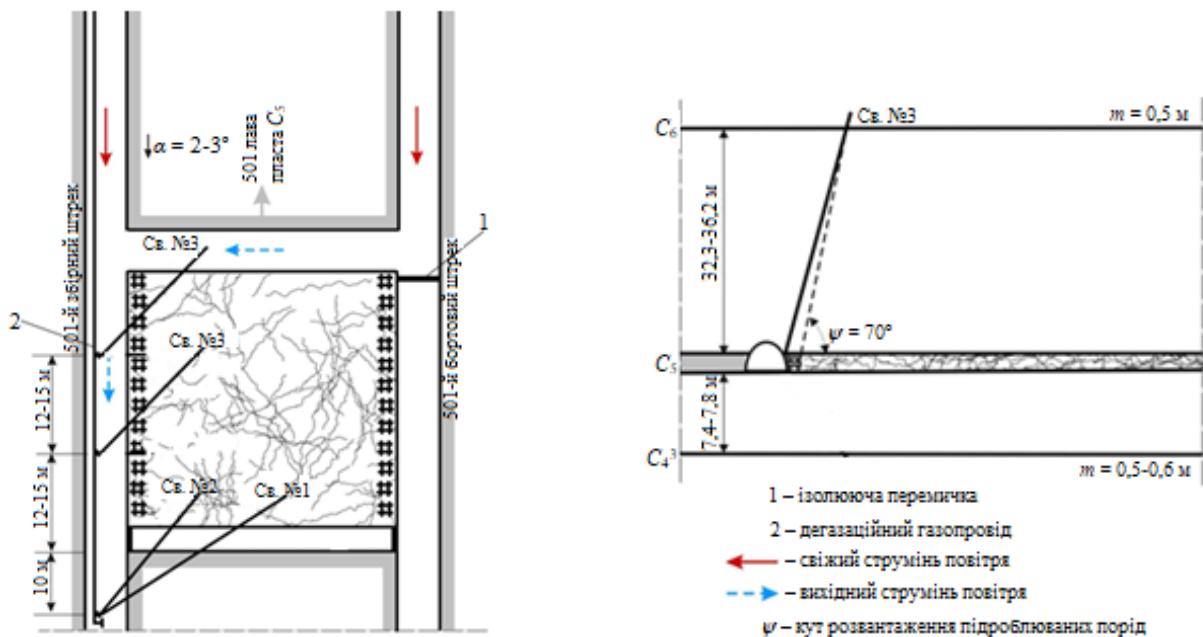


Рисунок 1.1 – Схема буріння дегазаційних свердловин у покрівлю на виїмковій дільниці 501 лави пласта  $C_5$  шахти ім. Героїв Космосу

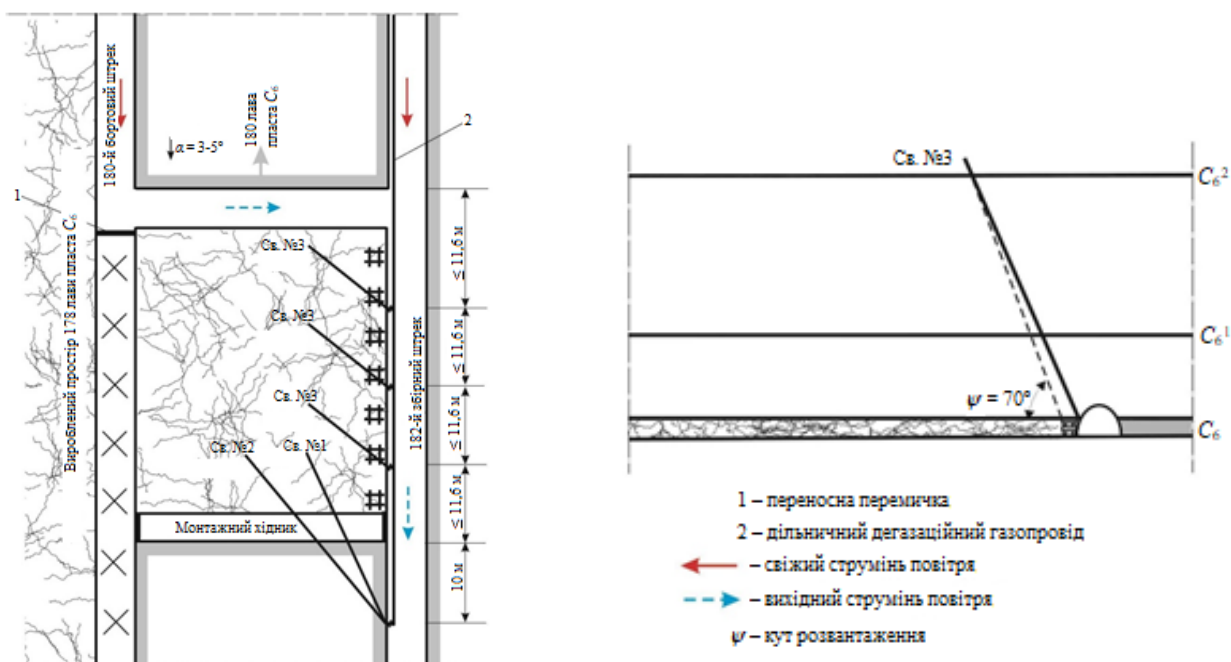


Рисунок 1.2 – Схема буріння дегазаційних свердловин у покрівлю на виїмковій дільниці 180 лави пласта  $C_6$  шахти «Степова»

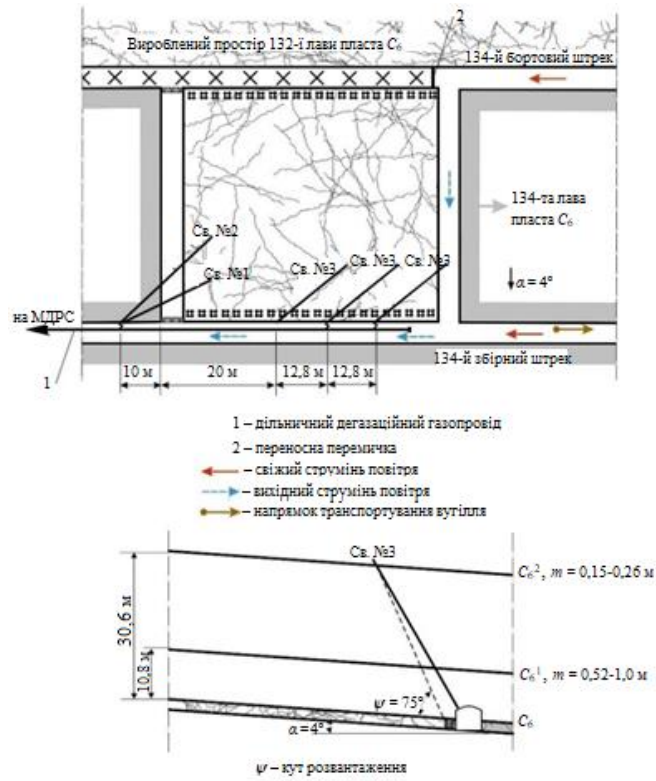


Рисунок 1.3 – Схема буріння дегазаційних свердловин на виїмковій ділянці 134 лави пласта  $C_6$  шахти «Ювілейна»

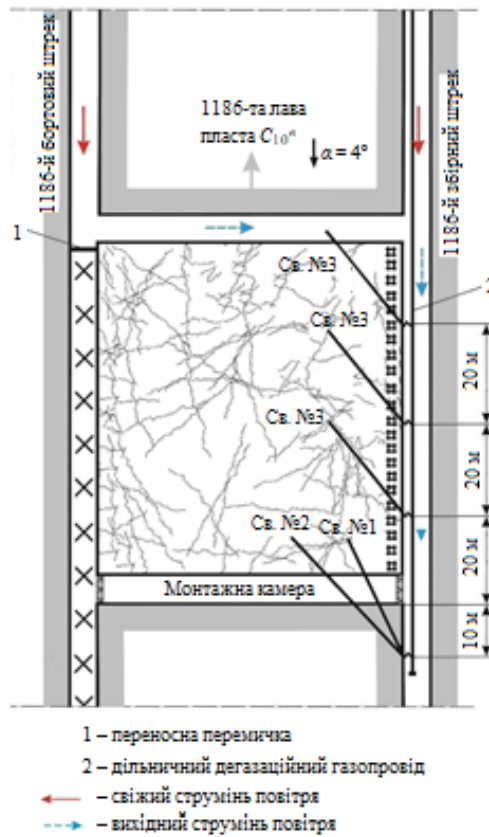


Рисунок 1.4 – Схема буріння дегазаційних свердловин у покрівлю на виїмковій ділянці 1186 лави пласта  $C_{10}^6$  шахти «Дніпровська»

Узагальнений аналіз фактичних показників в умовах розглянутих п'яти шахт (шахти ім. Героїв Космосу, «Західно-Донбаська», «Степова», «Ювілейна» та «Дніпровська») показав задовільну ефективність дегазації з перспективою вилучення метано-повітряної суміші з концентрацією метану на рівні 25 – 45%, що створює умови для розвитку напрямів утилізації метану шляхом його спалення у когенераційних установках з метою виробництва теплової і електричної енергії. Разом з тим, існують значні резерви підвищення ефективності дегазації за рахунок вибору раціональних параметрів технології цього процесу з урахуванням впливу геомеханічних і технологічних факторів.

### **1.3 Систематизація уявлень про вплив геомеханічних і технологічних факторів щодо підвищення ефективності дільничної дегазації**

Широко відомі результати вивчення геомеханічних процесів під час відпрацювання вугільних пластів вказують на можливість їх використання для визначення параметрів зон дренавання газу в породах покрівлі і подошви вугільних пластів, оцінки ресурсу газу у цих зонах, вибору методів і засобів вилучення метану. Принципово важливим є питання не про дегазацію порід покрівлі чи подошви взагалі, а про дегазацію конкретних геодинамічних зон, що формуються над і під вугільним пластом у процесі його відпрацювання. Такий підхід дозволяє суттєво обмежити перетікання метану з одних зон до інших поблизу вибою лави.

Відомо, що фільтрація відбувається у напрямку пониження градієнта газового тиску. У недоторканому (гірничими роботами) вуглепородному масиві основна кількість метану міститься у вугільних пластах і пісковиках. У вугільних пластах метан знаходиться здебільшого у сорбованому стані (до 90%), а невелика його газова фаза зачинена в порах і тріщинах внаслідок значних напружень стиску. Тому газопроникність вугільного пласта у недоторканому масиві практично відсутня. Газовиділення відбувається тільки після порушення рівноважного стану, зниження напружень і розкриття тріщин. У газонасичених

пісковиках метан, як правило, міститься у вигляді вільного газу і за наявності перепаду тиску може дренувати за законами фільтрації.

За останні десятиліття набула популярності ідея врахування і використання геомеханічних процесів, що відбуваються у підроблених газоносних породах покрівлі, для інтенсифікації газоуловлювання дільничними свердловинами. Її сутність полягає в тому, що на межі сполучення недоторканого масиву з підробленими породами покрівлі утворюються зони найбільших прогинів [85], у шарах яких виникають деформації розтягу у перпендикулярному до нашарування напрямку. В результаті відбувається розшарування порід, знижується газовий тиск, зростає проникність і фільтраційна здатність порід, особливо в напрямку нашарування.

Наведене уявлення розвинуто в роботі [74], де стверджується, що ефективна дегазація пов'язана з порушеннями текстури масиву, особливо його підробкою, коли в процесі опускання надвугільної товщі вона зазнає інтенсивного тріщиноутворення і руйнування – утворюється вільний метан, що по тріщинах дренує у свердловини й прилеглі виробки. Тому можна обґрунтувати доцільність розташування дегазаційних свердловин відразу позаду лави, де в умовах Західного Донбасу відбувається найбільш інтенсивне розшарування і обвалення порід покрівлі. Також сформульовано думку, що інтенсивна дегазація пластів-супутників і прилеглих порід виникає за підвищених швидкостей посування очисного вибою і тому цей технологічний параметр повинен враховуватися у сучасних методиках прогнозу.

Встановлено залежності [76] дебіту газу від відстані дегазаційної свердловини від лави, досліджено характер зміни геомеханічних і газодинамічних параметрів у часі після гідродинамічної дії на вугільній пласт. Але ці дослідження не враховують особливості вугленосної товщі Західного Донбасу.

У роботі [52] на базі аналізу сучасних уявлень про механізм руйнування газонасичених вугільних пластів (при їх відпрацюванні) зроблено висновки про значний вплив на процес дегазації низки факторів: опорного тиску, фізико-механічних властивостей вугільних пластів, їх фільтраційної проникності та



швидкості посування очисного вибою. Ці фактори потрібно врахувати при обґрунтуванні параметрів дегазації вугільних пластів.

Здійснено спробу [50] підвищення достовірності прогнозу параметрів процесу розвантаження привибійній частини вугільного пласта, що надає нові уявлення про механізм впливу домінуючих факторів у технології дегазації виїмкової ділянки, у тому числі шляхом буріння свердловин позаду лави.

Робота [51] спрямована на розкриття на молекулярному рівні механізму формування метанопроявів у шахтах, а в практичному плані вона поліпшує достовірність прогнозу виділення метану з відповідним корегуванням технологічних параметрів видобутку вугілля.

Загальновідома тенденція зростання небезпеки виникнення газодинамічних явищ зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт та їх інтенсифікацією [72]. Для більш достовірного прогнозування газовиділення метану встановлено закономірності зміни фізико-механічних властивостей пісковиків у небезпечних зонах як у непорушеному вуглепородному масиві, так і під час гірничих робіт, що, серед іншого, дає змогу більш обґрунтовано підійти до їх планування в ракурсі діляничної дегазації.

Мають практичне значення дослідження закономірностей розподілу газовиділення у виїмкову виробку при застосуванні гідравлічного знеміцнення вугільного пласта [54]. Сформульовано низку висновків на базі аналізу газового фактору при роботі очисного комплексу з оцінкою динаміки процесу газовиділення.

Спробі комплексного розгляду проблем дегазації вуглепородного масиву присвячена робота [55], де серед інших завдань досліджено тенденції розподілу метану з урахуванням стадії стабілізації деформаційних процесів як у підробленому, так і недоторканому масиві, а також вивчено залежності дебіту з дегазаційних свердловин від текстури і механічних властивостей гірського масиву. Встановлено залежності зміни газової проникності гірських порід від ступеня негідростатичності компонент їх НДС – з падінням мінімальної компоненти коефіцієнт газової проникності зростає; ця тенденція підтверджена у

роботі [86]. Таким чином, найбільш ефективно вилучення метану відбувається позаду лави у зруйнованих і знеміцнених породах виробленого простору, а ще у зонах максимуму вигину цілісних літотипів покрівлі, де є найбільша різниця між різновекторними компонентами напружень. З цього приводу сформульовано висновок, що підвищення ефективності заходів дегазації напряду залежать від урахування епюри розподілу основних компонент НДС гірського масиву навколо виїмкової дільниці. Наприклад, обирати напрямок буріння дегазаційних свердловин треба у найбільш сприятливих зонах масиву з максимально різновеликими компонентами його НДС.

На підставі виконаних досліджень [55] рекомендується кут нахилу дегазаційних свердловин обирати за умови перетину найбільшого прогину порід у його середній частині, а власне максимальний прогин літотипів покрівлі пласта залежить від кута його падіння та кута повних зрушень порід позаду лави.

Загальновідомо, що газовиділення у виїмкової виробки безперервно змінюється під впливом геомеханічних та технологічних факторів і цей процес певною мірою носить динамічний характер. Тому важливою є не тільки середньопрогнозована величина газовиділення, але й її коливання (у той чи інший бік) під впливом цих факторів. У цьому сенсі актуальними є завдання встановлення закономірностей впливу геомеханічних процесів зсуву надвугільної товщі, прогнозу газовиділення під спільною дією параметрів розвитку гірничих робіт, зміною навантаження на очисний вибій і деяких інших технологічних факторів [87]. Тут прискіпливу увагу приділено виїмковим дільницям, бо, як показує досвід, основне газовиділення (іноді більше 90%) дають подроблені літотипи різного ступеня порушеності.

Зокрема, у роботі [87] стверджується, що максимальне метановиділення в гірничі виробки визначається певними співвідношеннями розмірів виробленого простору і глибини ведення очисних робіт. Встановлений експоненціальний зв'язок цих параметрів, включаючи відстань відходу лави від монтажної виробки. Навантаження на лаву має лінійний вплив на зміну газовиділення і ці закономірності у підсумку дозволяють планувати технологічні параметри очисних

робіт на виїмковій ділянці шахти. Оскільки основні геомеханічні фактори пов'язані з процесами зсуву надвугільної товщі, то треба приділяти особливу увагу впливу параметрів текстури і фізико-механічних властивостей літотипів, що складають надвугільну товщу. В процесі досліджень створених математичних моделей виявлено необхідність враховувати близько двадцяти параметрів гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов, однак, виділено основні фактори, до яких увійшли: глибина ведення очисних робіт, потужність вугільного пласта, кут його падіння, кути повних зрушень, відстань відходу лави від монтажної виробки, навантаження на очисний вибій і швидкість його посування. Щодо останнього фактору, то виявлено деяке відставання у часі між зміною газовиділення і коливаннями швидкості посування лави. У цьому питанні встановлення закономірностей газовиділення від швидкості посування лави треба виділити також публікації [88], [89].

У підсумку треба констатувати, що визначення закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процес газовиділення певною мірою базується на вивченні механізму дегазації [90] і моделюванні [91] цього процесу різними методами.

#### **1.4 Мета і завдання досліджень. Алгоритм їх реалізації**

На базі виконаного аналізу світових досліджень процесу дегазації вуглепородного масиву, що підробляється, сформовано мету і завдання поглиблення уявлень про механізм протікання газовиділення, ступеня впливу на нього геомеханічних і технологічних факторів та шляхи підвищення ефективності метаноуловлювання при відпрацюванні вугільних пластів Західного Донбасу. У ракурсі успішного вирішення зазначених питань поставлено актуальне науково-практичне завдання, реалізація якого має суттєвий вплив на підвищення вуглевидобутку у цьому регіоні, що на даній час є головним у вугільній галузі України.

Метою роботи є підвищення продуктивності видобувних ділянок шахт Західного Донбасу за рахунок визначення параметрів ефективної дегазації

підробленого масиву позаду лави на основі використання закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів.

Реалізація поставленої мети здійснюється шляхом вирішення таких завдань дослідження:

1. Обґрунтувати домінуючі геомеханічні фактори і розкрити механізм їх впливу на газовиділення у підробленій вуглевмісній товщі за підвищених швидкостей посування лави в умовах Західного Донбасу.

2. Визначити закономірності зміни газовиділення у процесі зсуву підробленої надвугільної товщі та розробити методику оцінки впливу геомеханічних факторів.

3. Встановити зв'язок інтенсивності газовиділення з технологічними факторами високошвидкісного відпрацювання вугільних пластів з урахуванням параметрів технології дегазації позаду лави.

4. Розробити методику вибору раціональних параметрів технології дегазації високонавантажених лав в умовах Західного Донбасу.

Чотири основні завдання досліджень об'єднує узагальнена ідея роботи – використання встановлених закономірностей впливу домінуючих геомеханічних і технологічних факторів на процеси газовиділення з вуглевмісної товщі для обґрунтування параметрів дегазації високонавантажених лав виїмкових ділянок шахт Західного Донбасу.

Для наочності відображення взаємозв'язку завдань дослідження та послідовності їх реалізації побудовано загальну структурно-логічну схему виконання роботи (рис. 1.5), яка містить низку етапів дослідження, об'єднаних у три основні блоки.

Блок I передбачає розвиток уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу з погляду визначення (у якісному плані) зон розшарування і тріщиноутворення у породах покрівлі при відпрацюванні вугільних пластів. На основі виконаного аналізу публікацій про процеси зсуву надвугільної товщі і рекомендацій щодо координат доцільних трас розташування діляничних дегазаційних свердловин основну увагу приділено дослідженням параметрів зон максимального розшарування і тріщиноутворення, які містяться у

двох зонах: попереду лави у привибійній частині вугільного пласта, де діє максимальний опорний тиск; позаду лави в областях зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі. Механізм зсуву розглянутий у просторовій постановці за двома напрямками деформування породних шарів – за підняттям і простяганням; на основі його розгляду обґрунтовано подальші дослідження щодо встановлення параметрів зон максимального розшарування і тріщиноутворення вже у кількісному плані за допомогою моделювання МСЕ. Вплив головних технологічних факторів передбачено визначити на основі експериментальних досліджень у шахтних умовах.

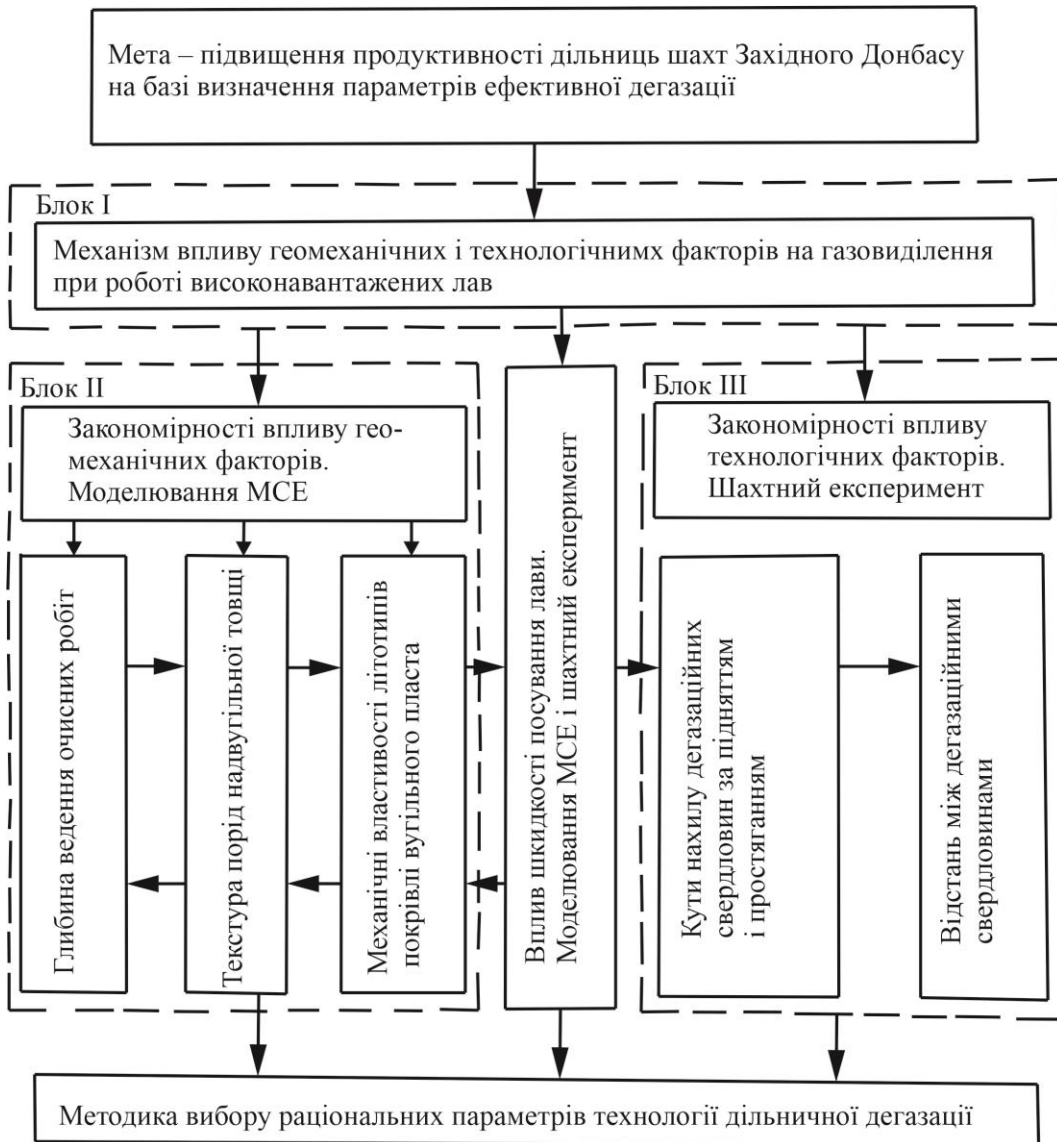


Рисунок 1.5 – Структурно-логічна схема досліджень

Таким чином, блок I надає напрями подальших аналітичних і експериментальних досліджень, що реалізовані у наступних блоках II і III.

Блок II присвячений розрахунку й аналізу НДС просторової геомеханічної моделі, що побудована за сучасними вимогами проведення обчислювального експерименту і містить: частину гірського масиву попереду лави і з боку недоторканої товщі, вироблений простір позаду лави, виїмковий штрек і саму лаву з імітатором механізованого кріплення. Змінними параметрами є глибина розташування лави, текстура надвугільної товщі й узагальнені (за висотою основної покрівлі) механічні властивості її літотипів. Багатоваріантні обчислювальні експерименти дозволили визначити залежності зміни координат зон максимального розшарування і тріщиноутворення при коливаннях основних геомеханічних факторів (глибина розташування лави, текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі) щодо умов Західного Донбасу. На основі методів кореляційно-дисперсійного аналізу отримані відповідні рівняння регресії щодо визначення кутів нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину породних шарів основної покрівлі позаду лави та відстані (від очисного вибою) максимального вигину породних шарів у зоні фронтального опорного тиску попереду лави.

Моделювання МСЕ також дозволило визначити вплив швидкості посування очисного вибою, що увійшов складовою до рівнянь регресії. Вплив цього технологічного параметру визначався також експериментально в шахтних умовах, що є запорукою до підтвердження достовірності подальших рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів технології дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу.

Блок III містить комплекс експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів за різних глибин розташування лави, текстури і механічних властивостей порід надвугільної товщі. Для цього експериментальні вимірювання здійснені на двох шахтах із залученням шести виїмкових дільниць для більш обґрунтованої розробки рекомендацій. Узагальнюючим критерієм прийнято коефіцієнт дегазації, що опосередковано визначає ступінь ефективності обраних параметрів розташування дегазаційних свердловин. Паралельно

оцінюється відповідність аналітичних і експериментальних закономірностей впливу таких геомеханічних параметрів, як глибина ведення очисних робіт, текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі. Експериментально визначається доцільний інтервал зміни кутів нахилу (за підняттям і простяганням) дегазаційних свердловин і крок їх буріння уздовж виїмкової виробки.

На заключному етапі досліджень розробляється методика вибору раціональних параметрів технології дільничної дегазації, що є кінцевим практичним результатом рекомендацій з підвищення продуктивності очисних робіт на шахтах Західного Донбасу. Розроблений алгоритм досліджень містить наукову і практичну складову та вносить певний вклад у вирішення завдання інтенсифікації вуглевидобутку.

### **1.5 Висновки за розділом**

1. Аналіз сучасних світових прогнозних даних щодо видобутку вугілля вказує на негативну динаміку тренду споживання цієї сировини, що матиме довгостроковий характер із загальним падінням до 5,7 – 6,0 млрд т у 2035 р. Очікується, що у 2040 р. глобальна частка вугілля впаде до 19%, і це падіння буде компенсоване поновлюваними джерелами енергії (19%) та природним газом (25%). Цей перший тренд вказує на скорочення викидів парникових газів.

2. Екологічно чиста утилізація метану базується на можливості його повного спалювання в замкненому циклі очищення і переробки продуктів згоряння. Сучасні технології дають змогу відбирати і захоронити вуглекислий газ у самих вугільних пластах – це дає змогу реалізувати вкрай важливу проблему зниження викидів парникових газів в атмосферу. Таким є другий світовий тренд - розвиток газовугільних технологій має єдиний напрям із першим і дає змогу з помірним оптимізмом прогнозувати створення екологічно безпечних способів і засобів перетворення вторинної сировини на корисну і безпечну продукцію життєзабезпечення людей.

3. Каптування метану з відведенням його на земну поверхню значно безпечніше і дешевше, ніж розбавлення його повітрям і транспортування

гірничими виробками. При цьому з'являється можливість використання метану для компенсації витрат на процеси дегазації з активним розвитком так званої дільничної дегазації. Узагальнений аналіз фактичних показників на шахтах Західного Донбасу засвідчив задовільну ефективність дегазації з перспективою вилучення метано-повітряної суміші з концентрацією метану на рівні 25 – 45%, що створює умови для розвитку напрямів утилізації метану шляхом його спалювання в когенераційних установках з метою виробництва електричної та теплової енергії, якої за прогнозними оцінками вистачить на 100% задоволення потреб шахти.

4. Аналіз сучасних досліджень методів і засобів дільничної дегазації довів існування значних резервів підвищення її ефективності за рахунок вибору раціональних параметрів технології цього процесу з урахуванням впливу геомеханічних і технологічних факторів. За останні десятиліття набула популярності ідея не тільки врахування, а й використання геомеханічних процесів зсуву надвугільної товщі для інтенсифікації газоуловлювання дільничними свердловинами. Її сутність полягає у виборі трас дегазаційних свердловин по найсприятливіших зонах масиву з максимально різновеликими компонентами його НДС. Тому визначення закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процеси газовиділення повинне базуватися на вивченні механізму дегазації, моделюванні цього процесу й оцінці достовірності за результатами шахтних експериментів.

5. На підставі отриманих знань сформовано мету і завдання поглиблення уявлень про механізм протікання газовиділення, ступінь впливу на нього геомеханічних і технологічних факторів та шляхи підвищення ефективності метаноуловлювання під час відпрацювання вугільних пластів Західного Донбасу. Для наочності взаємозв'язку завдань досліджень і послідовності їх реалізації побудовано загальну структурно-логічну схему виконання роботи. Успішне розв'язання поставленого науково-практичного завдання матиме суттєвий вплив на підвищення вуглевидобутку за рахунок зростання продуктивності роботи очисних вибоїв шахт Західного Донбасу.



## Список використаних джерел до розділу 1

1. International Energy Agency. (2016). *Coal Information*, 543 s. <https://doi.org/10.1787/coal-2016-en>
2. Snihur, V., Malashkevych, D., & Vvedenska, T. (2016). Tendencies of coal industry development in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 1-8. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.001>
3. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Chervatiuk, V., Malashkevych, D., Shyshov, M., & Chernyak, V. (2023). A new concept for complex mining of mineral raw material resources from DTEK coal mines based on sustainable development and ESG strategy. *Mining of Mineral Deposits*, 17(1), 1-16. <https://doi.org/10.33271/mining17.01.001>
4. BP Statistical Review of World Energy. (2018). Retrieved from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
5. International Energy Agency. (2017). *Coal Information*, 500 s. Retrieved from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9f9f4b45-66c4-4790-a16f-7cf5799b8fdf/Coal2017.pdf>
6. Atashi, H., & Veiskarami, S. (2018). Green fuel from coal via Fischer–Tropsch process: scenario of optimal condition of process and modelling. *International Journal of Coal Science and Technology*, 5(2), 230-243. <https://doi.org/10.1007/s40789-018-0204-7>
7. Stala-Szlugaj, K., & Grudziński, Z. (2021). Price trends on the international steam coal market in 2000-2020. *Gospodarka surowcami mineralnymi – Mineral resources management*, 37(4), 177-198. <https://doi.org/10.24425/gsm.2021.139743>
8. Gavurova, B., Rigelsky, M., & Ivankova, V. (2021). Greenhouse Gas Emissions and Health in the Countries of the European Union. *Front. Public Health*, (9), 756652. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.756652>
9. Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Ganushevych, K. (2014). *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 534 p. <https://doi.org/10.1201/b17547>

10. Pivnyak, G., Bondarenko, V., & Kovalevska, I. (2015). *New Developments in Mining Engineering 2015*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 616 p. <https://doi.org/10.1201/b19901>
11. Bondarenko, V.I., Kharin, Ye.N., Antoshchenko, N.I., & Gasyuk, R.L. (2013). Basic scientific positions of forecast of the dynamics of methane release when mining the gas bearing coal seams. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 24-30.
12. Фальштинський, В.С., Дичковський, Р.О., Лозинський, В.Г., & Саїк, П.Б. (2012). Комбінований спосіб видобування бідних газових сумішей при дегазації вугільних пластів та їх адаптація для промислової переробки. *Збірник наукових праць НГУ*, (37), 65-69.
13. Сторишко, В.Є., Кирик, Г.В., & Стадник, О.Д. (2008). Нові технології та обладнання для збільшення метановіддачі вугільних пластів. *Геотехнічна механіка*, 40-46.
14. Szlązak, N., Tor, A., Jakubów, A., & Gatnar, K. (2004). Methane as a Source of Energy in an AirConditioning System in “Pniówek” Coal Mine. *International Mining Forum*, 83-98.
15. Koroviaka, Y., Pinka, J., Tymchenko, S., Rastsvietaiev, V., Astakhov, V., & Dmytruk, O. (2020). Elaborating a scheme for mine methane capturing while developing coal gas seams. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 21-27. <https://doi.org/10.33271/mining14.03.021>
16. Medunić, G., Mondol, D., Rađenović, A., & Nazir, S. (2018). Review of the latest research on coal, environment, and clean technologies. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 33(3), 13-21. <https://doi.org/10.17794/rgn.2018.3.2>
17. Zubkova, V., Strojwas, A., Bielecki, M., Kieush, L., & Koverya, A. (2019). Comparative study of pyrolytic behavior of the biomass wastes originating in the Ukraine and potential application of such biomass. Part 1. Analysis of the course of pyrolysis process and the composition of formed products. *Fuel*, (254), 115688. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115688>

18. Nosić, A., Karasalihović Sedlar, D., & Jukić, L. (2017). Oil and gas futures and options market. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 32(4), 45-54. <https://doi.org/10.17794/rgn.2017.4.5>
19. Saik, P., Petlovanyi, M., Lozynskiy, V., Sai, K., & Merzlikin, A. (2018). Innovative approach to the integrated use of energy resources of underground coal gasification. *Solid State Phenomena*, (277), 221-231. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.221>
20. Lozynskiy, V.G., Dychkovskiy, R.O., Falshtynskiy, V.S., Saik, P.B., & Malanchuk, Ye.Z. (2016). Experimental study of the influence of crossing the disjunctive geological faults on thermal regime of underground gasifier. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 21-29.
21. Bondarenko, V., Lozynskiy, V., Sai, K., & Anikushyna, K. (2015). An overview and perspectives of practical application of the biomass gasification technology in Ukraine. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 27-32. <https://doi.org/10.1201/b19901-6>
22. Nawrat, S., & Napieraj, S. (2012). Utilization of the methane from Polish mines. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 36(3), 269-282. <https://doi.org/10.7494/MINING.2012.36.3.269>
23. Wołkowicz, S., Smakowski, T., & Speczik, S. (2011). *Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski – Metan pokładów węgla*. Warszawa, Polska: PIG-PIB, 262 s.
24. Szlązak, N., Obracaj, D., & Swolkień, J. (2020). Enhancing Safety in the Polish High-Methane Coal Mines: an Overview. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37(2), 567-579. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00190-0>
25. Kędzior, S. (2009). Accumulation of coal-bed methane in the south-west part of the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland). *International Journal of Coal Geology*, 80(1), 20-34. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.08.003>

26. Kędzior, S. (2015). Methane contents and coal-rank variability in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*, (139), 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.09.009>
27. Kędzior, S., Kotarba, M. J., & Pękała, Z. (2013). Geology, spatial distribution of methane content and origin of coalbed gases in Upper Carboniferous (Upper Mississippian and Pennsylvanian) strata in the south-eastern part of the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*, (105), 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.11.007>
- 28 Zheng, C., Jiang, B., Xue, S., Chen, Z., & Li, H. (2019). Coalbed methane emissions and drainage methods in underground mining for mining safety and environmental benefits: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, (127), 103-124. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.010>
29. Szlązak, N., Borowski, M., Obracaj, D., Swolkień, J., & Korzec, M. (2014). Comparison of Methane Drainage Methods Used in Polish Coal Mines. *Archives of Mining Sciences*, 59(3), 655-675. <https://doi.org/10.2478/amsc-2014-0046>
30. Szlązak, N., Borowski, M., Obracaj, D., Swolkień, J., Korzec, M., Piergies, K. (2017) *Current ventilation problems in hard coal mines*. Krakow, Poland: AGH University of Science and Technology Press, 155 p.
31. Shi, L., Wang, J., Zhang, G., Cheng, X., & Zhao, X. (2017). A risk assessment method to quantitatively investigate the methane explosion in underground coal mine. *Process Safety and Environmental Protection*, (107), 317-333. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.023>
32. Tong, R., Yang, Y., Ma, X., Zhang, Y., Li, S., & Yang, H. (2019). Risk Assessment of Miners' Unsafe Behaviors: A Case Study of Gas Explosion Accidents in Coal Mine, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1765. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101765>
33. Hummel, J.A., Ruiz, F.A., & Kelafant, J.R. (2018). Quantifying the benefits of coal mine methane recovery and use projects: Case study on the application of in-mine horizontal pre-drainage boreholes at gassy coal mines in India and the optimization of

drainage system design using reservoir simulation. *Environmental Technology & Innovation*, (10), 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.03.003>

34. Qin, B., Li, L., Ma, D., Lu, Y., Zhong, X., & Jia, Y. (2016). Control technology for the avoidance of the simultaneous occurrence of a methane explosion and spontaneous coal combustion in a coal mine: A case study. *Process Safety and Environmental Protection*, (103), 203-211. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.07.005>

35. Song, Z., & Kuenzer, C. (2014). Coal fires in China over the last decade: A comprehensive review. *International Journal of Coal Geology*, (133), 72-99. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.09.004>

36. Xia, T., Zhou, F., Gao, F., Kang, J., Liu, J., & Wang, J. (2015). Simulation of coal self-heating processes in underground methane-rich coal seams. *International Journal of Coal Geology*, (141–142), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2015.02.007>

37. Jureczka, J., Kasza, P., & Kroplewski, Ł. (2018) Pre-mine drainage of methane from coal seams in the USCB – Geo-Methane Program. *XXVII School of Underground Mining. Session – Coal Mine Methane as a Valuable Energy Source*. Retrieved from: [https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/CMM/CMM\\_CE/SEP - 11. Pre-mine Drainage of Methane from Coal Seams in the USCB %E2%80%93 Geo-Methane Program.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/CMM/CMM_CE/SEP - 11. Pre-mine Drainage of Methane from Coal Seams in the USCB %E2%80%93 Geo-Methane Program.pdf)

38. Qin, J., Qingdong, Q., & Guo, H. (2017). CFD simulations for longwall gas drainage design optimisation. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(5), 777-782. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.012>

39. Szlązak N., Obracaj, D., Borowski M., Swolkień J., & Korzec, M. (2016) Methane in Polish coal mines-methods of control and utilisation. In *24th World Mining Congress proceedings: mining in a world of innovation* (pp. 287-297). Rio-de-Janeiro, Brazil: IBRAM.

40. Szlązak, N., Obracaj, D., & Swolkień, J. (2019) Methods of methane control in Polish coal mines. In *Proceedings of the 11th International mine ventilation congress* (pp. 292-307). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1420-9\\_25](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1420-9_25)

41. Perov, M.O., Makarov, V.M., & Novitsky, I.Yu. (2019). Utilization and directions of methane use at the mines of Ukraine. *The Problems of General Energy*, (3), 60-66. <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.060>

42. Булат, А.Ф., & Чемерис, І.Ф. (2006). Перспективи створення енергетичних комплексів на базі вуглевидобувних підприємств. *Вугілля України*, (2), 3-6.

43. Майдукова, С.С. (2013). *Трансформування механізмів управління мінерально-енергетичними ресурсами вугільної промисловості*: Дис. на здобуття наук. ступеня кандидата екон. наук. Спец.: 08.00.06. Донецьк, Україна: Донецький державний науково-дослідний вугільний інститут, 212 с.

44. Карп, І.М. (2005). Метан вугільних пластів. *Екологія та ресурсозбереження*, (1), 5-9.

45. Гомель, І.І., & Рябич, О.М. (2006). Геотехнології та управління виробництвом ХХІ сторіччя. *Особливості реалізації проектів сучасного впровадження у вугільній промисловості* (с. 73-79). Донецьк, Україна: Вид-во ДонНТУ.

46. Білецький, В.С. (2007). *Мала гірнича енциклопедія*. Т. 2. Донецьк, Україна: Донбас, 652 с.

47. Коровяка, Є.А., Манукян, Е.С., & Василенко, Є.О. (2004). Перспективи вилучення шахтного метану та його утилізація в умовах шахти «Західно-Донбаська» ТОВ «Павлоградвугілля». *Науковий вісник НГУ*, (4), 39-43.

48. Майдуков, Г.Л. (2015). Ресурсний потенціал шахтного метану в енергетиці України. *Вугілля України*, (10), 38-45.

49. Агаєв, Р.А. (2015). *Обґрунтування параметрів пневмодинамічного способу інтенсифікації притоку метану в поверхневу дегазаційну свердловину*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 20 с.

50. Пимоненко, Д.М. (2018). *Обґрунтування геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт*: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 24 с.

51. Чеснокова, О.В. (2019). *Динаміка тріщин і масоперенос флюїдів у газонасичених вугільних пластах при їх відпрацюванні*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут фізики гірничих процесів, 20 с.

52. Гаврилов, В.І. (2015). *Розвиток науково-технічних основ інтенсифікації дегазації напружених газонасичених вугільних пластів гідродинамічною дією*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 38 с.

53. Чередніков, В.В. (2011). *Обґрунтування параметрів пневмогідродинамічного способу інтенсифікації притоку метану в поверхневій дегазаційній свердловині*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпропетровськ, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 19 с.

54. Потапенко, О.О. (2014). *Обґрунтування параметрів гідравлічного розміцнення вугілля в привибійній зоні газодинамічно-активних пластів*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпропетровськ, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 19 с.

55. Васильєв, Д.Л. (2019). *Розвиток наукових основ визначення параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: ІГТМ НАН України, 45 с.

56. Ma, Y., & Xu, Y. (2022). Research into technology for precision directional drilling of gas-drainage boreholes. *Mining of Mineral Deposits*, 16(2), 27-32. <https://doi.org/10.33271/mining16.02.027>

57. Zhao-feng, W., Jie, X., Jin-sheng, C., Xue-chen, L., Yan-fei, L., & Xiong-wei, M. (2021). Research on the timeliness of multi-purpose gas drainage by drilling one hole in the floor rock roadway. *Coal Science and Technology*, (1), 248-256. <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.01.021>

58. Hong-min, Yang., Fa-ke, Ren., Zhao-feng, W., Shan-wen, C., & Guanzhen, P. (2019). Quality detection and quantitative evaluation method of gas drainage drilling

hole sealing. *Chinese Journal of Coal*, (S1), 164-170.  
<https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2018.1176>

59. Hong-min, Y., Shu-tuan, X., Li-wei, C., & Qiang, C. (2018). Research on the non-equidistant hole arrangement and drainage effect evaluation method in this coal seam. *Coal Mine Safety*, (2), 147-150. <https://doi.org/10.13347/j.cnki.mkaq.2018.02.040>

60. Jun, L., Ning, L., Jin-qi, W., & Tong, Y. (2019). The spatiotemporal response of the effective influence radius of discharge boreholes with different diameters. *China Safety Production Science and Technology*, (8), 82-87.

61. Guang-yi, L., & Yan-peng, X. (2017). Research on gas drainage technology of ultra-long directional high-level boreholes in the roof of goaf. *Coal Engineering*, (8), 88-91. <https://doi.org/10.16186/j.cnki.1673-9787.2019.5.1>

62. Xing-quan, L., & Yan-peng, X. (2017). Research on the effect of different permeability distributions on hydraulic perforation drainage. *Coal Mine Modernization*, (2), 128-131. <https://doi.org/10.13606/j.cnki.37-1205/td.2017.02.050>

63. Zhen, S., Zhi-wen, L., Weixin, Y., En-ying, W., & Hong-bo, X. (2020). Analysis of the deviation law and causes of drilling along the seam in coal seam gas drainage. *Coal Technology*, (3), 103-106. <https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2020.03.030>

64. Yan-peng, X., Yang-yang, F., Jian-gong, Y., & Xin-xian, Z. (2018). Experimental study on the deflection law of bedding drilling in coal mine gas drainage. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, (6), 1-7. <https://doi.org/10.16186/j.cnki.1673-9787.2018.06.1>

65. Hu, H., Bao-hua, D., Wei, P., & Deng-feng, Z. (2020). Analysis of the causes of drilling deflection and the measures to correct the deflection. *Western Prospecting Engineering*, (7), 32-36.

66. Chao-jie, Z., & Cheng-lin, J. (2016). Study on vertical migration law of drilled drilling along the bed. *Coal Technology*, (2), 188-189. <https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2016.02.073>

67. Ju-bo, J., Hong, H., & Kai, S. (2021). Status quo and prospect of downhole straight drilling technology in coal mine. *Drilling Engineering*, (7), 14-19.



68. Guo-long, M. (2017). Study on construction deviation of gas drainage drilling drilling. *Coal Mine Safety*, (3), 147-151. <https://doi.org/10.13347/j.cnki.mkaq.2017.03.040>

69. Jia-nan, K. (2020). Establishment of original borehole trajectory model and accuracy comparison of simulation methods. *Energy and Environmental Protection*, (4), 87-91+96. <https://doi.org/10.19389/j.cnki.1003-0506.2020.04.018>

70. Chang-jun, L., Dian-sen, Y., Wei-zhong, C., & Jin-quan, L. (2017). Defect correction of general calculation formula of drilling trajectory using equal-angle full-distance method. *Science Technology and Engineering*, (10), 108-113.

71. Sofiiskyi, K., & Petukh, O. (2019). The results of experimental research of the parameters of methane capturing by local degassing wells in the undermining area. *E3S Web of Conferences*, (109), 00097. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900097>

72. Каргаполов, А.А. (2017). *Обгрунтування критеріїв прогнозу вуглепородного масиву, небезпечних за газодинамічними проявами*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 21 с.

73. Дудля, К.Є. (2017). *Обгрунтування параметрів і розробка засобів підвищення безпеки транспортування та утилізації метану вугільних шахт*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.26.01. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 21 с.

74. Филимонов, П.Є. (2013). *Фізико-технічні основи інтенсифікації способів видобутку та підвищення якості вугілля в єдиному шахтному технологічному комплексі*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02; 05.15.09. Дніпропетровськ, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 39 с.

75. Єфремов, І.О. (2011). *Фізико-технічні основи комплексної дегазації і використання метану вугільних шахт*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02. Дніпропетровськ, Україна: ІГТМ НАН України, 36 с.

76. Філатьєв, М.В. (2019). *Розвиток наукових основ безпечної відробки газоносних вугільних пластів при зсовуванні масиву гірських порід*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02; 05.26.01. Дніпро, Україна: ІГТМ НАН України, 38 с.

77. Лукінов, В.В., Безручко, К.А., & Приходченко, О.В. (2015). Оцінка розподілу метану у вугільно-породному масиві за даними щодо метановості виїмкових ділянок. *Вугілля України*, (11), 16-19.

78. Лукінов, В.В., & Чернорай, А.М. (2017). Прогнозна оцінка статичного метанового потенціалу вугільних шахт. *Вугілля України*, (5-6), 21-25.

79. Антощенко, М.І. (2003). Експериментальна оцінка газовиділень при активізації зсуву порід. *Вугілля України*, (2), 38-39.

80. Харин, Б.М., Антощенко, М.І., & Гасюк, Р.Л. (2014). Нерівномірність газовиділення з вугільних пластів і порід, що підробляються. *Вугілля України*, (1), 32-35.

81. Філатьєв, М.В., Антощенко, М.І., & Крижанівський, Ю.Ю. (2014). Теоретичні та практичні положення прогнозу динаміки газовиділення з підроблюваних вугільних пластів і вміщуючих порід. *Збірник наукових праць ДонДТУ*, 2(43), 4-11.

82. Чепурна, Л.О., & Антощенко, Н.І. (2015). Прогнозування зон газовиділення з вугільних пластів, що підробляються. *Вугілля України*, (3-4), 51-54.

83. Філатьєв, М.В., Антощенко, М.І., & Дубовик, О.І. (2017). *Геомеханічні процеси підроблених порід та обґрунтування методики прогнозу газовиділення у вугільних шахтах*. Лисичанськ, Україна: ДонДТУ, 298 с.

84. Антощенко, М.І. (2014). *Безпечне відпрацювання газоносних вугільних пластів з урахуванням геомеханічних процесів зсуву підроблених порід*. Алчевськ, Україна: ДонДТУ, 339 с.

85. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, H., Barabash, M., Chervatiuk, V., Husiev, O., & Snihur, V. (2020). *Combined roof-bolting systems of mine workings*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 283 p.

86. Sabitova, D.K. (2015). Exploration Potential of Coalbed Methane in Karaganda Field. *Modern Applied Science*, 9(6). <https://doi.org/10.5539/mas.v9n6p145>

87. Бурчак, О.В. (2018). *Розвиток теорії та розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопроявів у вугільних шахтах*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут геотехнічної механіки НАН України, 37 с.

88. Ільяшов, М.О., Агафонов, О.В., Боднар, А.А., & Кочерга, В.М. (2010). Про коригування урахування метанообільності виробок при інтенсивній розробці тонких пологих вугільних пластів. *Школа підземної розробки*, 25-29.

89. Мінеєв, С.П., Кочерга, В.М., & Янжула, О.С. (2015). Закономірності метановиділення при високих швидкостях посування очисного вибою. *Вугілля України*, (7), 26-31.

90. Kanduč, T., Sedlar, J., Novak, R., Zadnik, I., Jamnikar, S., Verbovšek, T., Grassa, F., & Rošar, J. (2021). Exploring the 2013-2018 degassing mechanism from the Pesje and Preloge excavation fields in the Velenje Coal basin, Slovenia: insights from molecular composition and stable isotopes. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 57(6), 585-609. <https://doi.org/10.1080/10256016.2021.1981309>

91. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Черватюк, В.Г., Симанович, Г.А., & Ковалевська, І.А. (2024). *Прикладні задачі геомеханіки вугільних шахт. Книга 1. Моделювання гірського масиву*. Дніпро: ЛПрес, 516 с.

## РОЗДІЛ 2

# МЕХАНІЗМ ЗСУВУ ГАЗОНАСИЧЕНОЇ НАДВУГІЛЬНОЇ ТОВЩІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ЙОГО ДОСЛІДЖЕНЬ МСЕ. ВПЛИВ ГЛИБИНИ ВЕДЕННЯ ОЧИСНИХ РОБІТ НА ПАРАМЕТРИ ДЕФОРМУВАННЯ СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНОГО ГІРСЬКОГО МАСИВУ

### 2.1 Узагальнення особливостей механізму деформування літотипів надвугільної товщі поблизу лави

Загальновідома думка, що ефективна дегазація пов'язана з порушеннями текстури масиву, особливо, його підробкою, коли в процесі опускання надвугільної товщі вона зазнає інтенсивного розшарування, тріщиноутворення і руйнування [1] – [3]. Більш конкретно, є рекомендації [2], [3] щодо перетину дільничними дегазаційними свердловинами місць максимального вигину літотипів, де найбільш інтенсивно розкриваються тріщини і визволяється найбільша кількість метану. Такі уявлення мають власну логіку, а їх поширення серед фахівців доводить певну обґрунтованість і доцільність існування у загальному уявленні про механізм зсуву надвугільної товщі і пов'язаним з ним процесом газовиділення.

Взявши за основу базові уявлення, мета даних досліджень полягає у розвитку знань про особливості механізму деформування шаруватого масиву поблизу лави стосовно текстури і властивостей слабометаморфізованих порід вугленосної товщі та підвищених швидкостей посування очисних вибоїв. З погляду на таке завдання треба відзначити роботи [4] – [8], [45], де розкривається як механізм зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу, так і наведена низка розрахунків її НДС за допомогою МСЕ. Основні висновки з означених робіт наступні.

По-перше, по всьому регіону (Західний Донбас) спостерігається стабільне співвідношення механічних властивостей літотипів: породи безпосередніх і основних покрівель та подошви вугільних пластів мають нижчі міцнісні

характеристики, ніж самий вугільний пласт, що підлягає відпрацюванню. Підсилюють цю різницю послаблюючі фактори тріщинуватості (особливо у наближених шарах покрівлі і пісковіку), вологонасичення та суттєвих проявів реологічних властивостей. Щодо деформаційних характеристик, то у аргілітів і алевролітів вони приблизно відповідають таким для вугільних пластів, але їх вологонасиченість і «чутливість» до повзучості деформацій багаторазово знижує ці показники; пісковіки за рахунок вельми поширеної тріщинуватості теж мають низькі деформаційні характеристики. Отже, за існуючими геомеханічними теоріями [4], [9] – [12] зона опорного тиску (попереду лави і в її боках) наближається до поверхні очисного вибою, а максимум фронтального опорного тиску розташовується, зазвичай, на відстані 2 – 5 м від неї. Теоретичні висновки підтверджуються вимірами зсуву контуру виїмкових штреків: зазвичай, вплив очисного вибою починає суттєво виявлятися на відстані до 20 – 30 м від нього, а найбільш великий градієнт росту переміщень (наприклад, швидкість зближення покрівлі і підосви) зафіксований за декілька метрів від лави [4], [5], [8], [13] – [15].

Викладена особливість нас цікавить з приводу існуючих рекомендацій про розташування дегазаційних свердловин у зонах максимумів вигину літотипів, тобто, починаючи (у безпосередній близькості до виїмкових штреків) з малих відстаней від очисного вибою за підняттям і поруч з боковими породами покрівлі за простяганням.

По-друге, через причину низьких (насамперед) міцнісних властивостей літотипів покрівлі їх знеміцнення починається ще попереду лави у зоні фронтального опорного тиску, як це показано схематично у роботах [4], [5], [8]. Породні шари при своєму опусканні у порожнину лави мають згинальні горизонтальні напруження  $\sigma_{x,z}$ , які ще у привибійній ділянці викликають появу тріщин розриву (приблизно перпендикулярно до площини нашарування) у верхній частині власної потужності і концентрацію стискних  $\sigma_{x,z}$  у нижній частині потужності шару. При подальшому посуванні очисного вибою тріщина і концентрація стискних  $\sigma_{x,z}$  переміщуються і лягають на перекриття секцій

механізованого комплексу (безпосередньо чи через нижні шари) і потім на обвалені породи за огороженням гідравлічного кріплення. При цьому вигін шарів змінює знак кривизни вигину і розтяг відбувається у нижній частині потужності шару з появою відповідних тріщин розриву; верхня і нижня тріщина з'єднуються між собою, відокремлюючи від літотипу так званий породний блок. Оскільки опір розтягу порід Західного Донбасу дуже малий (на рівні 1 – 4МПа), зчеплення між шарами майже відсутнє, а присутні не менше двох систем природних тріщин, то утворюються невеликі за довжиною породні блоки, які не мають суттєвого «вильоту» за межі чи то секції механізованого кріплення за падінням, чи то охоронної конструкції за простяганням.

Отже, лінія розташування областей зміни знаку кривизни вигину породних шарів по висоті надвугільної товщі має підвищений кут до площини нашарування і його можна попередньо оцінити у  $\beta_1 = 60 - 75^\circ$ . Це означає, що дегазаційні свердловини доцільно розташовувати за простяганням під кутом у  $60 - 75^\circ$ . Що стосується напрямку підняття (падіння), то тут треба більш детально розглядати процес зсуву за висотою надвугільної товщі з урахуванням технологічних операцій буріння дегазаційних свердловин вже позаду лави. І таке прискіпливе вивчення стосується не тільки областей зміни знаку кривизни вигину породних шарів (за падінням-підняттям), але й зон найбільш інтенсивного руйнування у покрівлі пласта на проєктну висоту буріння. У зв'язку з цим достатня достовірність відображення стану шаруватого масиву із зонами знеміцнення і руйнування можлива при застосуванні МСЕ для розрахунку НДС такої неоднорідної за текстурою і механічними властивостями геомеханічної моделі, що і було реалізовано у подальшому.

По-третє, за тієї ж самої причини низьких міцнісних і деформаційних властивостей літотипів вуглевмісного масиву скорочується позаду лави ділянка загасання швидкостей зсуву гірського масиву, що зафіксовано експериментально, наприклад, у роботах [13] – [15]. Вже було зазначено, що обвалення безпосередньої і нижніх шарів основної покрівлі відбувається відразу після проходження лави (майже впритул до огороження секцій механізованого кріплення).

Тобто, процес утворення зони безладного обвалення [4], [12], [16], [17] пришвидшується на ділянці позаду лави, а після цього і одночасно з ним починає зростати геостатичний тиск на порушені породи, і вони ущільнюються. Цьому допомагає зволоження аргілітів і алевролітів безпосередньої і першого шару основної покрівлі. Підвищений опір ущільнених порід уповільнює розвиток зсуву більш віддалених зон покрівлі, а саме зростання опускання порід покрівлі загасає з відносною стабілізацією на більш обмеженій ділянці (зазвичай, до 40 – 60м) позаду лави.

З точки зору параметрів розташування дегазаційних свердловин означена особливість процесу зсуву надвугільної товщі у Західному Донбасі впливає наступним чином. Якщо узагальнити існуючий досвід та паспорти дегазації виїмкових ділянок, то можна стверджувати, що у середньому відстань від лави до найближчої дегазаційної свердловини складає 15 – 20 м, а далі відстань між сусідніми свердловинами коливається у межах 12 – 15 м. Тобто, на ділянці до початку стабілізації проявів гірського тиску в умовах Західного Донбасу розташовується 3 – 4 свердловини і саме вони дають найбільше газовиділення, оскільки перетинають рухливі середовища покрівлі з немалою кількістю порожнин різного розміру, у які виділяється метан із знеміцнених і зруйнованих зон масиву. Такий висновок має певну рацію, бо далі по штреку ущільнені (під дією геостатичного тиску) породи зон безладного обвалення і шарнірно-блокового зсуву різко знижують процес газовиділення, а верхні породи плавного вигину шарів не мають суттєвих техногенних порушень і також є проблемними щодо ефективної дегазації. Таким чином, основну увагу слід приділяти декільком дегазаційним свердловинам поблизу лави, а на відстані від неї більше 40 м доцільно скорочувати (демонтувати) дегазаційний трубопровід.

По-четверте, в умовах Західного Донбасу підвищується ступінь впливу [4], [5] швидкості посування очисного вибою  $V_{o,e}$  на процеси зсуву надвугільної товщі у порівнянні з іншими вугленосними регіонами [10], [18] – [23], [46], хоча основні закономірності зберігаються у якісному плані. Основна причина більш вагомого впливу  $V_{o,e}$  має, на наш погляд, дві складові: низькі механічні властивості, за яких

(за інших рівних умов) розвиваються більші посування масиву [47]; більш виражені реологічні властивості літотипів з активним проявом деформації повзучості; останні залежать від тривалості дії аномалій гірського тиску, а вона, у свою чергу, – від швидкості посування очисного вибою.

Основна тенденція впливу полягає в обмеженні проявів гірського тиску зі збільшенням швидкості  $V_{o.g}$  посування очисного вибою. Ці твердження ґрунтуються на власних спостереженнях за динамікою наростання переміщень контуру виїмкових виробок як попереду, так і позаду лави. Звісно, власні експериментальні дослідження мають обмежене поширення на увесь спектр гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов відпрацювання вугільних пластів Західного Донбасу. Але існує достатня кількість досліджень інших авторів стосовно проявів гірського тиску у виїмкових виробках Західного Донбасу [4], [5], [7], [8], [13] – [15], [24], [25]. Особливо слід відзначити певним чином унікальні дослідження закономірностей впливу технологічних параметрів ведення очисних робіт (у тому числі й швидкості посування очисного вибою) на процес навантаження на секції механізованого комплексу у реальному часі його роботи [4], [5]. Таке узгодження (як мінімум у якісному плані) закономірностей впливу не тільки підтверджує власні результати, але й розширює висновки на більшість гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов Західного Донбасу [48].

Надалі постає цілком очевидне питання про зв'язок зазначених тенденцій з механізмом деформування літотипів у покрівлі з точки зору протікання процесів газовиділення. Раніше ми згадували рекомендації щодо доцільності розташування свердловин у місцях найбільшого вигину літотипів покрівлі і ще краще – на ділянках зміни знаку кривизни їх вигину. Тому виникає інтерес до місць розташування цих ділянок за мінливої швидкості посування  $V_{o.g}$  очисного вибою. Різноманітні дослідження впливу  $V_{o.g}$ , у тому числі і на шахтах Західного Донбасу [4], [5], стверджують про наступні зміни параметрів зсуву надвугільної товщі при підвищених швидкостях посування очисного вибою:

– попереду лави скорочується розповсюдження зони фронтального опорного тиску, а його максимум наближається до очисного вибою з відповідним



максимальним вигином породних шарів покрівлі; тому, за фіксованої відстані від лави початку буріння свердловини її кут спрямування бажано збільшити відносно горизонталі;

– позаду лави над огороженням секцій механізованого комплексу збільшується довжина (виліт) завислих породних консолей: з точки зору газовиділення це зменшує ступінь знеміцнення основної покрівлі у зоні шарнірно-блокового зсуву з відповідним падінням надходження метану у дегазаційну свердловину; щодо її нахилу (за падінням-підняттям) цей фактор також сприяє збільшенню кута буріння відносно горизонталі;

– у напрямку простягання діє аналогічна тенденція збільшення вильоту породних консолей у вироблений простір, що пересуває області зміни знаку кривизни вигину літотипів подалі від охоронної системи виїмкової виробки – тобто, доцільно зменшувати кут  $\beta_3$  нахилу свердловини до напрямку простягання.

Сформульовані висновки по тенденціях зсуву порід надвугільної товщі при відпрацюванні пластів у Західному Донбасі узагальнені в схемах розкриття механізму деформування гірського масиву поблизу району ведення очисних робіт щодо вибору доцільних параметрів розташування дегазаційних свердловин.

Перша схема наочно описує уявлення про деформування будь-якого шару основної покрівлі позаду району сполучення лави і виїмкової виробки (рис. 2.1). Вона розкриває механізм тріщиноутворення при розгляді породного шару як плити, що має нежорстке зацмелення [26] – [28] з двох боків (лінія очисного вибою і кромка охоронної конструкції) і вільне опускання по двох інших боках (вироблений простір). На схемі ми спробували відобразити деформування породного шару покрівлі (плити) за обома напрямками – падінню і простяганню, а також пояснити перші два висновки стосовно доцільності розташування дегазаційних свердловин у зонах максимального вигину літотипів і зміни знаку кривизни їх вигину.

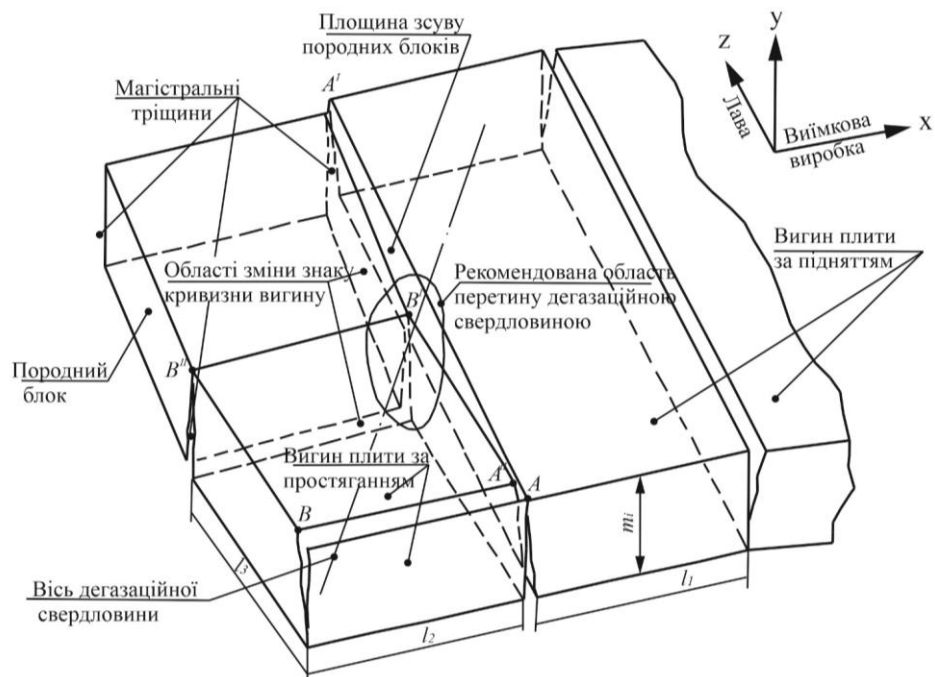


Рисунок 2.1 – Схема утворення породних блоків над виробленим простором з формуванням областей зміни знаку кривизни вигину літотипів за падінням і простяганням вугільного пласта

У напрямку підняття (координатах  $X$  центральної осі виїмкової виробки) максимальний вигин плити, як було зазначено раніше, починається за декілька метрів до очисного вибою і при опусканні породного шару у робочий простір лави утворюється тріщина розриву (від розтягуючих напружень  $\sigma_x$ ), яка розвивається з верхньої поверхні нашарування вглиб аж до 75% потужності літотипу [16]; на залишковій частині потужності діють стискні напруження  $\sigma_x$ . На деякій відстані  $l_1$  у напрямку падіння виникає площина  $YZ$  (на схемі позначена  $AA'$ ), де вигин плити відбувається у протилежний бік. Це пов'язано з опором механізованого кріплення і порід зони безладного обвалення, що в умовах Західного Донбасу виникає відразу позаду огороження секцій. Тобто, площина  $AA'$  характеризує область зміни знаку кривизни вигину, у якій техногенні тріщини перетворюються на так звані «магістральні», що перетинають усю потужність породного шару майже перпендикулярно площині нашарування (має напрямок, наблизений до вертикального). Причина появи магістральних тріщин очевидна – зміна знаку кривизни вигину призводить до появи розтягуючих  $\sigma_x$  у

нижній частині потужності літотипу, які формують тріщину назустріч вже існуючій у верхній частині шару; вони з'єднуються і утворюють магістральну тріщину, завдяки якій відокремлюється породний блок у напрямку падіння.

Аналогічний процес відбувається у напрямку простягання. Наступний за падінням породний блок на своїй довжині  $l_2$  вже спирається тільки одним боком на охоронну конструкцію виїмкової виробки, а інші його вертикальні грані взаємодіють (без спирання, але за рахунок розпору) з утвореними над виробленим простором породними блоками. Десь на довжині вильоту породної консолі над охоронною конструкцією діють максимальні згинальні напруження  $\sigma_z$  і на лінії  $A''A$  утворюється і починає розвиватися вглиб потужності шару тріщина розвитку від дії розтягуючих  $\sigma_z$ ; відповідно до [16] глибина тріщини складе близько трьох чвертей потужності шару  $m_i$  (див. рис. 2.1). Цей породний блок опускається у вироблений простір і близько лінії  $B'B''$  відбувається вигин плити у зворотному напрямку зі зміною знаку кривизни: розтягуючі  $\sigma_z$  формують тріщину у нижній частині літотипу з розвитком тріщини угору назустріч вже існуючій, що утворює магістральну тріщину.

На прикладі формування блоку  $A''BB'B''$  пояснено виникнення магістральних тріщин в обох напрямках зміни знаку кривизни вигину (за падінням та простяганням); вони перетинаються на ребрі блоку, що визначається відстанями  $l_1$  і  $l_3$ . Саме цю зону бажано (за існуючими і нашими поглядами) перетнути дегазаційною свердловиною для збільшення дебіту метану. Звісно, у кожному породному шарі рекомендовані зони перетину дегазаційною свердловиною (див. рис. 2.1) мають власні координати розташування, але набір таких зон по висоті надвугільної товщі дають доцільний напрямок буріння. Що стосується відстані між свердловинами уздовж виїмкової виробки, то мається її узгодження з розмірами  $l_2$  породного блоку.

Третій з раніше сформульованих висновків має основну сутність щодо узгодження координати  $X$  буріння дегазаційних свердловин з особливостями (для умов Західного Донбасу) наростання зміщень контуру виїмкової виробки на

ділянці впливу очисних робіт – від початку зони фронтального опорного тиску попереду лави до зони стабілізації проявів гірського тиску позаду лави. Для подальшого наочного уявлення механізму зсуву надвугільної товщі побудовано схему на рис. 2.2. Вона відображає (на основі широкомасштабних експериментальних досліджень) геометричну будову основних характеристик зсуву порід покрівлі в районі очисних робіт у напрямку підняття вугільного пласта, тобто, за центральною віссю виїмкової виробки.

Основні положення існуючих схем зсуву надвугільної товщі у вироблений простір [10]–[12], [16], [17] вказують на формування трьох характерних перетворень текстури масиву: зона безладного обвалення породних шарів безпосередньої і близьких літотипів основної покрівлі; зона шарнірно-блокового зсуву і зона плавного вигину шарів без порушення їх суцільності. Перші дві зони мають сумарну потужність, яка, зазвичай, не перевищує 15 – 20 м і дегазаційні свердловини їх обов’язково перетинають, а порушення текстури породних шарів сприяє збільшенню дебіту метану. Назва третьої зони покрівлі говорить про відсутність суттєвих порушень суцільності літотипів, але там часто залягають вугільні пласти чи пісковики, що містять метан. Тому, зазвичай, дегазаційні свердловини бурять до перетину цих літотипів, що поліпшує загальний рівень дегазації, а сама довжина свердловини, як правило, не перевищує 50 – 60м.

На схемі рис. 2.2 наведено групу пунктирних ліній, які в якісному плані характеризують такі зони:

- межа впливу очисних робіт попереду лави, яка (в умовах Західного Донбасу) віддалена від очисного вибою, зазвичай, до 20 – 30 м і тісно пов’язана із зоною фронтального опорного тиску; в цій області починається і розвивається тріщиноутворення у безпосередній і наближеній частині основної покрівлі; по висоті вона здебільшого локалізується у межах зони шарнірно-блокового зсуву, тобто, у рамках 12 – 15м і бажано, щоб найбільш розкриті тріщини літотипів знаходилися біля траси дегазаційної свердловини;

- лінія обвалення породних консолей позаду секцій механізованого кріплення, яка зазвичай співпадає з класичною лінією (кут нахилу  $\beta_3$ ) повних

посувань нестійкої надвугільної товщі у вироблений простір; за великим рахунком ця лінія (чи поверхня) не є прямою, а на деякій висоті вона виположується і обмежує зону впливу очисних робіт [13], поза якою гірські породи знаходяться у природньому геостатичному стані недоторканого масиву;

– лінія межі зони стабілізації проявів гірського тиску обмежує (разом з попередньою лінією) зону найбільш інтенсивних розшарувань покрівлі, де утворюється найбільша кількість порожнин і пустот, що заповнюються газом; тому саме цю зону (на відстані від лави до 40 – 60 м) найбільш доцільно піддавати дегазації;

– лінія зміни знаку кривизни вигину літотипів характеризує розташування (по висоті надвугільної товщі) зон з максимальним тріщиноутворенням і тому бажано, щоб дегазаційні свердловини (у своїй сукупності) перетинали ці ділянки літотипів, як це показано на рис. 2.2.

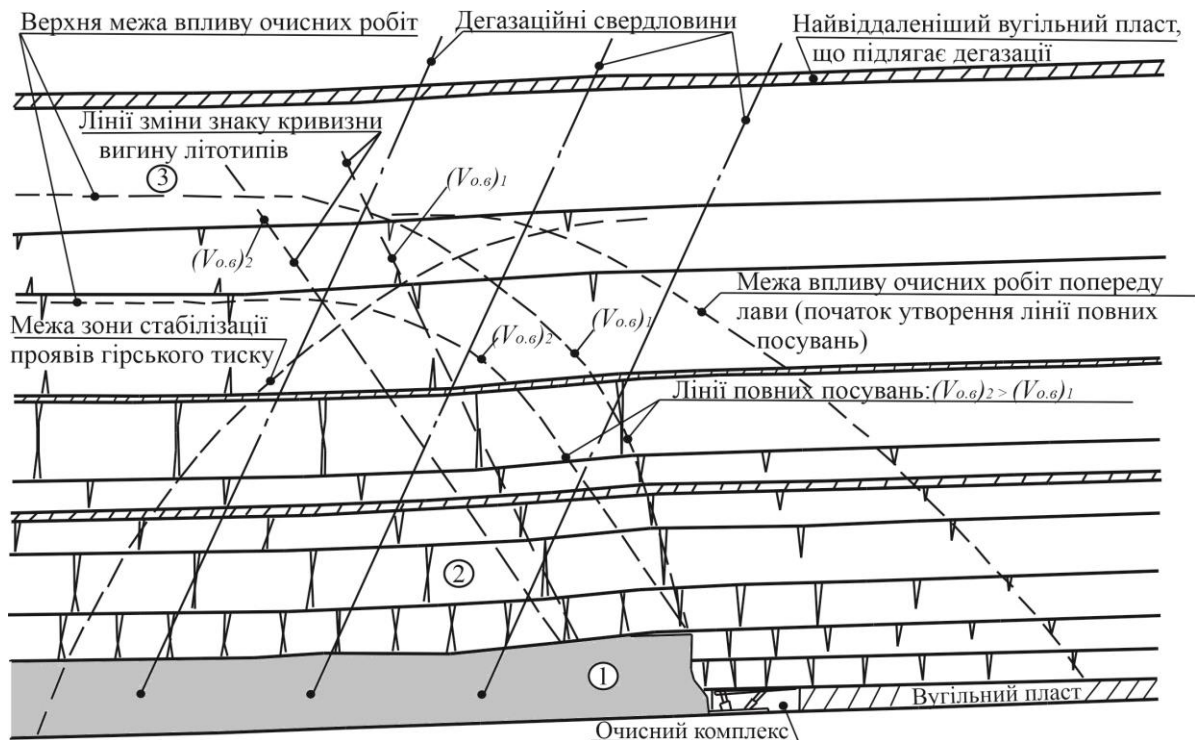


Рисунок 2.2 – Схема зсуву порід порід надвугільної товщі уздовж виїмкової ділянки з розташуванням дегазаційних свердловин: 1 – зона безладного обвалення порід покрівлі; 2 – зона шарнірно-блокового зсуву; 3 – зона плавного вигину породних шарів без порушення суцільності

Отже, з наведеної схеми можна зробити наступні основні висновки:

- підтримка й експлуатація дегазаційних свердловин доцільні на ділянці до 40 – 60 м позаду лави до межі зони стабілізації проявів гірського тиску; сама зона добре визначається при постійному маркшейдерському моніторингу переміщень контуру виїмкової виробки;

- довжина дегазаційних свердловин обирається з умови обов'язкового перетину зони шарнірно-блокового зсуву і метанонасичених літотипів зони плавного вигину шарів без порушення суцільності на технічно досяжній висоті;

- доцільно, щоб траса свердловини перетинала області зміни знаку кривизни вигину для можливо більшої кількості літотипів.

На завершення розгляду уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу розглянемо процес по координаті  $Z$  поперечного напрямку виїмкової ділянки, тобто, за довжиною лави; схему наведено на рис. 2.3. Принципово механізм опускання породних шарів на зруйновані породи зони безладного обвалення не змінюється; тому залишається сталим процес утворення породних блоків (за координатою  $Z$ ) за рахунок розвитку магістральних тріщин у кожному літотипі зони шарнірно-блокового зсуву. Як і раніше, найбільш розвинена система магістральних тріщин техногенного характеру розташована в області зміни знаку кривизни вигину літотипів; тому рекомендується проводити трасу дегазаційних свердловин таким чином, щоб вона зачіпала більшу кількість таких областей по висоті зони шарнірно-блокового зсуву (див. рис. 2.3).

Щодо впливу швидкості посування  $V_{o.g}$  очисного вибою, то тут має місце наступний механізм. Загальновідомо [4], [12], [16], що зі збільшенням  $V_{o.g}$  подовжуються породні консоли, що зависають як над лавою, так і над охоронною конструкцією. Це пов'язано певною мірою з розвиненими реологічними властивостями порід Західного Донбасу, коли менший період дії фронтального і бокового опорного тиску сприяє зменшенню деформацій літотипів покрівлі і меншому падінні у часі їх механічних характеристик. Ця тенденція сприяє віддаленню ліній зміни знаку кривизни вигину літотипів у напрямках  $X$  і  $Z$

виробленого простору, як це показано на рис. 2.2 і 2.3. Надалі означену якісну тенденцію буде перетворено у кількісні закономірності впливу  $V_{o,e}$  на координати розташування областей зміни знаку кривизни вигину по усій потужності зони шарнірно-блокового зсуву. Адже за попередніми рекомендаціями дегазаційні свердловини доцільно розташовувати поблизу саме цих найбільш порушених зон надвугільної товщі.

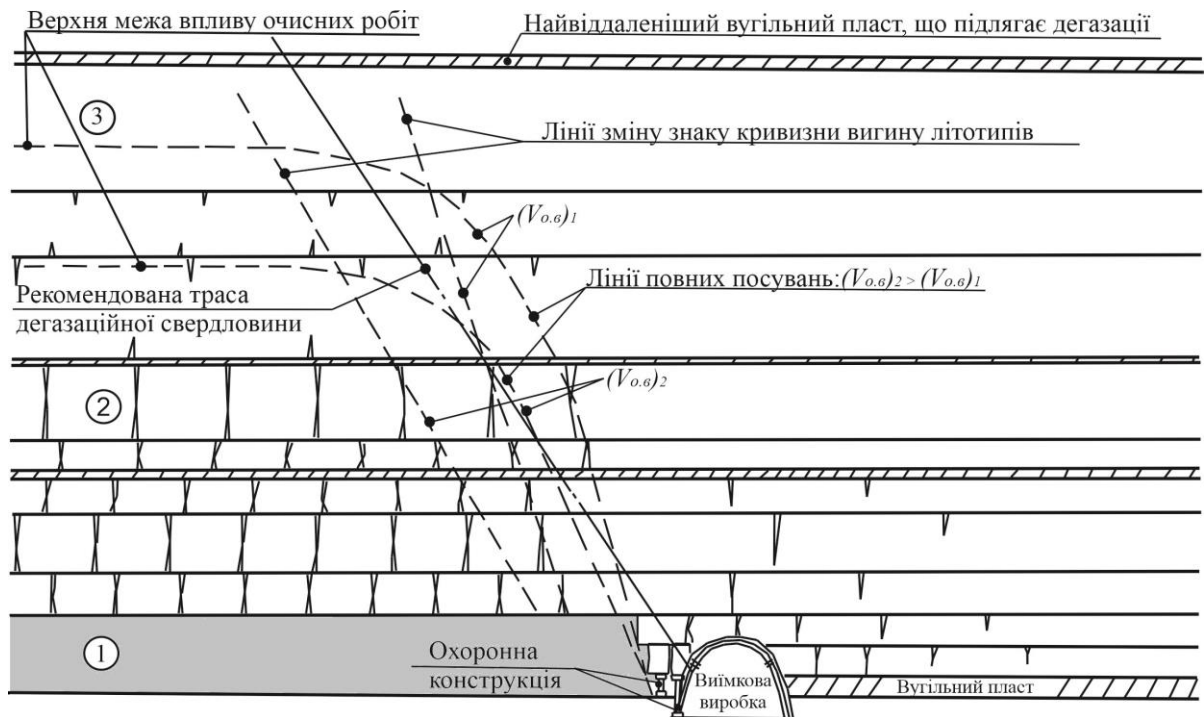


Рисунок 2.3 – Схема зсуву порідк надвугільної товщі порідк виїмкової ділянки з розташуванням дегазаційних свердловин: 1 – зона безладного обвалення порідк покрівлі; 2 – зона шарнірно-блокового зсуву; 3 – зона плавного вигину породних шарів без порушення суцільності

Підсумовуючи викладені уявлення про особливості механізму зсуву порідк надвугільної товщі поблизу лави, будуть цілком логічними наступні задачі по моделюванню МСЕ стану цієї зони гірського масиву у сукупності з експериментальними дослідженнями проявів гірського тиску у виїмковій виробці з урахуванням існуючих тенденцій впливу швидкості посування очисного вибою безпосередньо у лаві, що встановлені іншими фахівцями.

## 2.2 Алгоритм досліджень стану гірського масиву МСЕ

### 2.2.1 Загальні положення

Кількісні показники процесу зсуву надвугільної товщі, який у якісному плані розкритий у попередньому параграфі, найбільш адекватно встановлюються за допомогою сучасних методів моделювання геомеханічних об'єктів, з яких найпоширенішим є МСЕ [29] – [33]. Що стосується умов Західного Донбасу, то тут немалий досвід набули дослідження [4] – [6], [8], [13], які і були використані для встановлення закономірностей впливу гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів на процес перетворень текстури гірського масиву поблизу району введення очисних робіт; тут доречно нагадати, що за існуючими уявленнями розшарування, знеміцнення, тріщиноутворення і т.п. у літотипах надвугільної товщі суттєво впливають на газовиділення у підробленому масиві.

Дослідження виконуються шляхом проведення низки обчислювальних експериментів, за якими визначаються поля розподілу основних компонент напружень: вертикальних  $\sigma_y$ , горизонтальних  $\sigma_{x,z}$  та інтегрального показника – інтенсивності напружень  $\sigma$ . Оскільки нас особливо цікавлять розшарування і деформації вигину породних шарів, то прискіплива увага (при аналізі НДС) приділена горизонтальним напруженням  $\sigma_{x,z}$ , які найбільш наочно відображають ці види деформацій. При цьому алгоритм досліджень передбачає виявлення (по епюрах  $\sigma_{x,z}$ ) особливостей розповсюдження зон максимального вигину літотипів у гірському масиві під впливом геомеханічних і технологічних факторів. Серед фахівців відзначається [1] – [3], [34] – [36], що значний вплив на процес дегазації має низка факторів, таких, як, наприклад, опорний тиск, фізико-механічні властивості, ступінь розшарування і порушення порід надвугільної товщі, глибина ведення очисних робіт, швидкість посування лави, розміри виробленого простору і т.п. Тому в рамках наведених досліджень заплановано вивчення закономірностей впливу таких геомеханічних факторів, як глибина ведення очисних робіт, текстура і механічні властивості літотипів надвугільної товщі, параметри зон опорного тиску і розвантаження; серед найбільш суттєвих технологічних факторів вивчається вплив



швидкості посування очисного вибою, розмірів виробленого простору, параметрів розташування дегазаційних свердловин. Власні результати обчислювальних експериментів порівнюються з відповідними дослідженнями інших фахівців і робляться висновки щодо ступеня впливу перелічених факторів і потреби їх урахування у наступних етапах вивчення особливостей зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу стосовно закономірностей розвитку процесів газовиділення за підвищених швидкостей посування очисних вибоїв.

Механізм деформування літотипів надвугільної товщі переконливо довів про просторовий характер цього процесу, тобто, необхідність його розгляду одночасно за падінням-підняттям і простяганням вугільного пласта. Тому об'єктивна ситуація вимагає побудови просторових геомеханічних моделей, які дають можливість дослідити ці процеси у будь-якому напрямку. Також треба вивчати вплив аномалій гірського тиску у вигляді зон фронтального опорного тиску попереду лави, бічного опорного тиску у неробочому борті виїмкової виробки і зони розвантаження позаду лави. Для цього обираються відповідні розміри геомеханічних моделей, щоб повністю відобразити параметри аномалій гірського тиску.

Задеклароване вивчення впливу текстури і механічних властивостей літотипів надвугільної товщі реалізується наступним чином. Обрана базова модель текстури, що відображає гірничо-геологічні умови 501 і 503 виїмкових ділянок шахти ім. Героїв Космосу. Вона потрібна для подальшого порівняння результатів обчислювального та шахтного експериментів і знаходження між ними критично важливих зв'язків, що будуть потрібні у подальших дослідженнях. Тим не менш, моделюються ще дві, характерні для умов Західного Донбасу, текстури надвугільної товщі: переважно крупно- і середньосарувата та переважно тонко- і середньосарувата. У сукупності з базовою текстурою гірського масиву така варіація дозволить більш об'єктивно дослідити вплив текстури на процес зсуву надвугільної товщі.

Механічні властивості літотипів усереднюються, що обґрунтовано дією таких факторів. По-перше, серед механічних властивостей гірських порід найбільший

вплив на процеси зсуву надвугільної товщі мають опір стиску та модуль пружності (деформації). Опір розтягу зразків літотипів дуже малий (у середньому 1 – 4 МПа), а з урахуванням дії тріщинуватості і зволоження гірського масиву він практично відсутній. Теж саме стосується і зчеплення по поверхнях нашарування літотипів, яке або дуже мале, або взагалі відсутнє. По-друге, дані геологорозвідувальних робіт і випробування зразків у лабораторних умовах дають досить великий розкид показників опору стиску – зазвичай діапазон складає 2 – 3 рази. Ця відносна невизначеність підсилюється дією послаблюючих факторів тріщинуватості і вологонасичення. Тому похибка у призначенні показника опору стиску є досить великою; теж саме стосується і показника модуля пружності. По-третє, слабометаморфізовані породи Західного Донбасу характеризуються переважно досить стабільними показниками (за видами літотипів) опору стиску і модуля пружності з відносно обмеженою варіацією. Усі ці аргументи дають підставу усереднити показники механічних властивостей літотипів надвугільної товщі, а з метою підвищення надійності результатів моделювання обрана нижня межа їх варіації, що як раз відповідає гірничо-геологічним умовам шахти ім. Героїв Космосу.

Останнім пунктом загальних положень слід виділити вимогу до обрання фізичної моделі поведінки літотипів гірського масиву. На наш погляд, пружно-пластична модель найбільш доцільна до використання, що також обґрунтовано в роботах [4] – [6], [8], [13], [37], [38]. Ця модель дозволяє, з одного боку, враховувати пластичні деформації слабких порід Західного Донбасу, а, з іншого, – не надто складна (у білінійній постановці) і потребує помірного обчислювального ресурсу. До того ж, покрокова технологія обчислень дає можливість варіації глибини ведення очисних робіт у рамках одного обчислювального експерименту.

### **2.2.2 Обґрунтування параметрів геомеханічних моделей**

Об'єкт дослідження – процеси газовиділення при зсуві надвугільної товщі у вироблений простір, – має складову, пов'язану з вивченням аномалій гірського тиску у районі ведення очисних робіт, яка для умов Західного Донбасу (з погляду

моделювання) досить докладно викладена у багатьох наукових працях, наприклад, [4] – [6], [8], [13], [37], [38]. Тому при побудові геомеханічної моделі та обґрунтуванні її параметрів ми використали низку апробованих рекомендацій саме цих досліджень.

Будь-яка геомеханічна модель за загально визнаними принципами МСЕ мусить бути обґрунтована за такими її складовими, як: форма розрахункової зони, її розміри, текстура гірського масиву, механічні властивості його літотипів, умови їх взаємодії по площинах контактів, умови навантаження на границях моделі, гірничотехнічні об'єкти зі значним впливом на загальний НДС моделі, характеристика зв'язку напружень і деформацій в елементах моделі та критерії визначення граничного стану [49]. За наведеними складовими були послідовно обґрунтовані параметри трьох геомеханічних моделей, за якими проведені обчислювальні експерименти з розрахунку їх НДС.

Нагадаємо, що необхідність побудови трьох геомеханічних моделей викликана потребою визначення тенденцій впливу текстури надвугільної товщі на параметри її зсуву у вироблений простір (див. §2.2.1). Решта складових моделей залишається сталою (у межах варіації досліджуваних параметрів) і тому розміри усіх моделей однакові.

За переліком складових побудови моделей почнемо з форми розрахункової зони. За існуючими рекомендаціями обрана форма прямокутного паралелепіпеда, яка є найдоцільнішою (за критеріями адекватності і мінімальної похибки) для відображення зони шаруватого гірського масиву, що вміщує виїмкову виробку і частину лави з механізованим кріпленням. Щодо об'єктивності і достовірності розрахункової зони, то вона повинна відображати наступні об'єкти:

– частину недоторканого гірського масиву попереду лави, що повністю вміщує розповсюдження фронтального опорного тиску; за існуючими експериментальними дослідженнями вплив лави починає відчуватися на відстані до 20 – 30 м;

– частину підробленого масиву позаду лави, де поступово стабілізуються прояви гірського тиску; ця відстань за даними спостережень в умовах Західного

Донбасу оцінюється до 40 – 60 м;

– частину недоторканого масиву з неробочого борту виїмкової виробки, де утворюється так званий бічний опорний тиск; відповідно до існуючих аналітичних досліджень і результатів обчислювальних експериментів ця аномалія НДС розповсюджується вглиб вуглевмісної товщі на відстань до 20 – 30 м;

– частину гірського масиву з боку лави; за аналітичними й експериментальними дослідженнями у напрямку простягання (уздовж лави) НДС надвугільної товщі і прояви гірського тиску стабілізуються на відстані до 20 – 30 м від виїмкової виробки;

– у породах покрівлі вугільного пласта активний зсув надвугільної товщі припиняється у зоні плавного вигину породних шарів без порушення суцільності; для умов Західного Донбасу нижні зони безладного обвалення і шарнірно-блокового зсуву займають по висоті до 12 – 15 вийманих потужностей вугільного пласта, що зазвичай складає близько 1,05 м;

– у породах підшви вугільного пласта відповідно до існуючих результатів обчислювальних експериментів для Західного Донбасу аномалії гірського тиску розповсюджені на глибину до 15 – 20 м.

За наведеними даними обґрунтовано мінімально достатні розміри просторових геомеханічних моделей, які характеризують три координати:  $Y$  – висота (глибина) масиву;  $X$  – довжина за падінням (підняттям) пласта, тобто, напрямом уздовж виїмкової виробки;  $Z$  – ширина за простяганням пласта, тобто, напрямом уздовж лави. Власне геомеханічна модель та її розміри представлена на рис. 2.4 і з деяким запасом раніше вказаних відстаней модель має: довжину за підняттям (падінням)  $X = 100$  м, ширину за простяганням  $Z = 65$  м, висоту  $Y = 61$  м; тут врахована ширина лави 5 м, ширина виїмкової виробки 5 м і виймана потужність вугільного пласта 1,0 м.

Стосовно текстури вуглевмісного масиву її базовий варіант обраний за даними гірничо-геологічних розрізів по 501 і 503 збірних і бортових штреках та геологічної характеристики виїмкових ділянок 501 і 503 лав шахти ім. Героїв Космосу. Варіант текстури переважно крупно- і середньосаруватої включає

значення потужності шарів більш високої половини діапазону їх коливань (відомості взяті з таблиць фізико-механічних властивостей геологічної документації шахти). Варіант текстури переважно тонко- і середньшаруватої включає значення потужності породних шарів нижньої половини діапазону їх коливань.

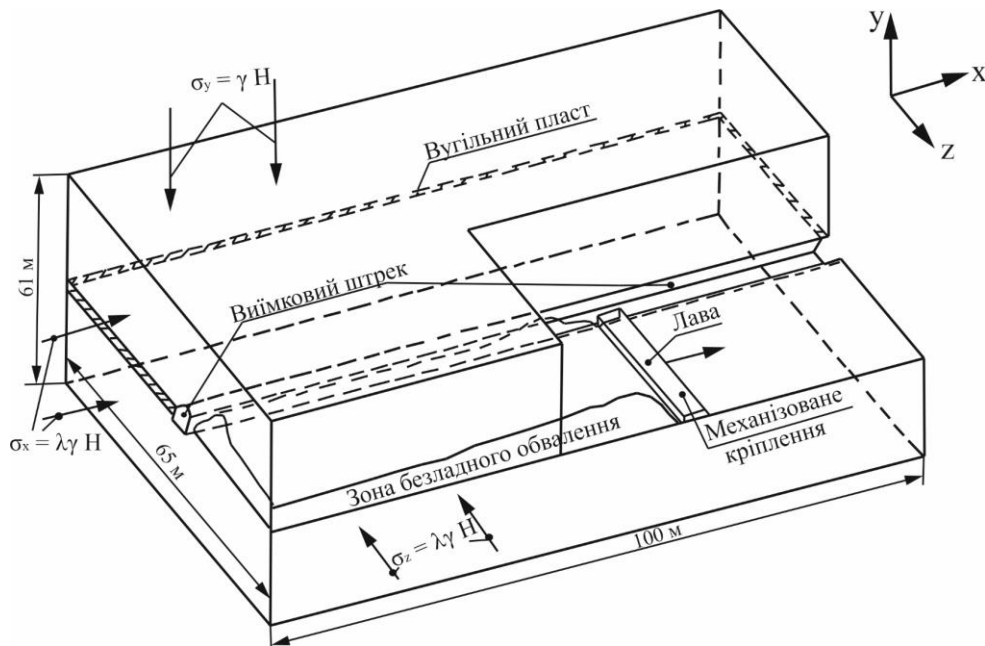


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема геомеханічної моделі відпрацювання виймкової ділянки

Окремо приділено увагу моделюванню двох зон (позаду лави), де суттєво перетворюється текстура надвугільної товщі: зона безладного обвалення і зона шарнірно-блокового зсуву. Тектурні порушення, потужність та механічні властивості порід у цих зонах відображено відповідно до рекомендацій [4] – [6], що сформульовані для умов Західного Донбасу.

Механічні властивості літотипів покрівлі і підшви пласта  $C_5$  обрані за даними відповідних гірничо-геологічних розрізів, а інші потрібні механічні характеристики взяті з даних досліджень [24], [25] суто для умов Західного Донбасу. Розрахунковий опір стиску визначений за нормативним документом [39] з доповненнями [5] щодо врахування дії послаблюючих факторів тріщинуватості, зволоження та реології.

Відповідно до існуючих даних геологорозвідувальних робіт та багаточисельних досліджень текстури вугленосної товщі Західного Донбасу прийнято умову відсутності зчеплення між літотипами по площинах їх нашарування. Ця умова, хоча і потребує додаткових обчислювальних ресурсів, але суттєво впливає на НДС масиву [4] – [6], [37] та його стійкість в цілому, і створює деякий запас надійності розрахунків НДС.

Граничні умови на поверхнях моделі обрані за апробованими рекомендаціями [4] – [6], [13], [37]. На верхній горизонтальній поверхні прикладений геостатичний вертикальний тиск

$$\sigma_y = \gamma H, \quad (2.1)$$

де  $\gamma$  – середньозважена об'ємна питома вага порід надвугільної товщі;

$H$  – глибина ведення очисних робіт.

На нижній горизонтальній поверхні розміщено жорстку опору, яка врівноважує (власною реакцією) вертикальний тиск  $\sigma_y$ . Для усунення місцевого впливу жорсткої опори на її поверхні розміщено шар демпфуючого матеріалу з механічними властивостями аргіліту.

По бокових вертикальних поверхнях моделі за апробованою умовою «симетрія» автоматично прикладається горизонтальний геостатичний тиск

$$\sigma_{x,z} = \lambda \gamma H, \quad (2.2)$$

де  $\lambda = \mu / 1 - \mu$  – коефіцієнт бічного розпору [9], [40];

$\mu$  – коефіцієнт поперечної деформації (у пружній постановці – коефіцієнт Пуассона).

За фізичну модель поведінки гірської породи обрано пружно-пластичну постановку задачі розрахунку НДС у вигляді так званої білінійної діаграми деформування у координатах «напруження – відносна деформація». Перша лінійна ділянка відображає пружний стан породи з відповідними деформаційними характеристиками, що раніше обрані для кожного літотипу окремо. Друга лінійна ділянка [4] – [6], [37] моделює пластичний (майже ідеальний) стан породи з дуже

низьким модулем пропорційності ( $E_{nl} = 5$  МПа) і коефіцієнтом Пуассона  $\mu_{nl} = 0,5$ , що відтворює умову постійності елементарного породного об'єму. Точка сполучення двох лінійних ділянок визначається умовою

$$\sigma = R, \quad (2.3)$$

де  $\sigma$  – інтенсивність напружень за теорією міцності Мізеса [41];

$R$  – розрахунковий опір стиску гірської породи; визначається відповідно до [5], [39].

Наведена пружно-пластична постановка має певну перевагу через причини відносної простоти врахування непружних деформацій гірського масиву, а також можливості в одному обчислювальному експерименті розраховувати НДС моделі для будь-якої глибини  $H$  ведення очисних робіт.

На завершення етапу обґрунтування параметрів геомеханічної моделі треба визначитися з відображенням роботи механізованого кріплення лави. За рекомендаціями [4] – [6] дуже зручно моделювати реальну робочу характеристику гідростояків секцій механізованого кріплення за допомогою білінійної діаграми деформування. Власне механізоване кріплення відображається прямокутним паралелепіпедом, а деформаційно-силові характеристики його матеріалу повністю моделюють опір секції гірському тиску. Такий підхід обґрунтований у роботах [4] – [6] і для наших гірничотехнічних умов (з максимальним опором механізованого кріплення до 500 – 650 кПа) обраний модуль пружності матеріалу імітатора  $E = 50$  МПа, який враховує люфти у шарнірах гідростояків і «просідання» їх штоків на початковій стадії опору.

Нарешті, відносно кріплення та охорони виїмкової виробки прийнято рішення не моделювати ці конструкції, бо їх опір впливає на НДС прилеглих порід не більше, ніж 1 – 3%, що знаходиться у межах припустимої похибки гірничотехнічних розрахунків. Разом з тим, дрібні (по відношенню до розмірів інших елементів моделі) деталі кріпильних та охоронних систем потребують великого додаткового обчислювального ресурсу, а їх взаємодія з поверхнями шарів порід зазвичай є причиною припинення процедури обчислень і, таким

чином, зниження надійності виконання обчислювального експерименту.

У підсумку, реалізований етап досліджень, що стосується обґрунтування доцільних параметрів геомеханічних моделей, за якими проведено низку обчислювальних експериментів і виконано аналіз НДС гірського масиву поблизу зони ведення очисних робіт.

## **2.3 Вплив глибини ведення очисних робіт**

### **2.3.1 Особливості розповсюдження зональних деформацій на параметри зсуву надвугільної товщі**

Першим із досліджених основних геомеханічних факторів є глибина  $H$  розташування виїмкової ділянки і є потреба оцінити її вплив на параметри зсуву надвугільної товщі й насамперед нас цікавлять координати ліній повних посувань і областей зміни знаку кривизни вигину літотипів (див. рис. 2.2 і 2.3).

Раніше було обґрунтовано, що найбільш наочно деформації вигину породних шарів поблизу сполучення лави і виїмкового штреку відображаються на епюрах горизонтальних напружень  $\sigma_{x,z}$  і для прикладу на рис. 2.5 наведено просторову епюру  $\sigma_x$  в геомеханічній моделі переважно тонко- і середньшаруватої текстури для усередненої позначки  $H = 420$  м. На епюрі  $\sigma_x$  дуже чітко проглядаються процеси вигину породних шарів надвугільної товщі у різних напрямках, особливо, по координаті  $X$  уздовж виїмкової виробки. Так, попереду лави у зоні фронтального опорного тиску вигин літотипів відбувається у напрямку підшви вугільного пласта з появою концентрацій розтягуючих  $\sigma_x$  до 8 – 10 МПа, які, безумовно, утворюють тріщини розриву як мінімум у верхній частині потужності шарів основної покрівлі. Довжина розповсюдження розтягуючих  $\sigma_x$  переважно залежить від потужності, деформаційних властивостей літотипів покрівлі і їх відстані від вугільного пласта. У прилеглий зоні основної покрівлі розтягуючі  $\sigma_x$  поширюються на відстань до 12 – 20 м, але треба зауважити, що розтяг проникає вглиб не на всю потужність літотипу і залишається його частина під дією стискних  $\sigma_x$ . Знеміцнюючі концентрації цих напружень розповсюджуються в



основному у безпосередній та наближених шарах основної покрівлі на відстань від очисного вибою до 7 – 8 м, а далі від лави породні шари у зонах стиску зберігають цілісність. На відстані 25 – 40 м спостерігається стан майже недоторканого масиву по критерію розподілу компоненти  $\sigma_x$ .

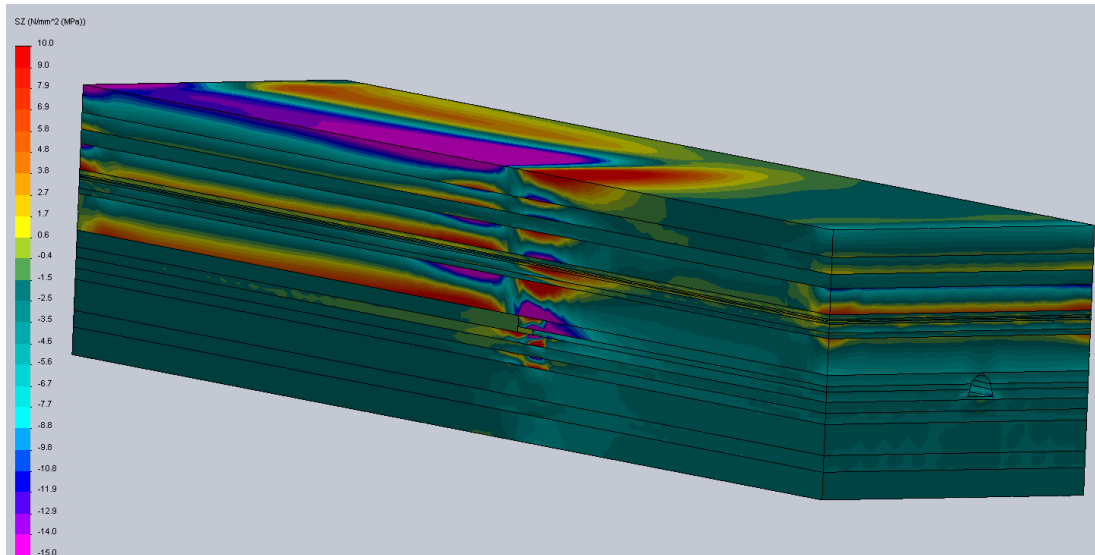


Рисунок 2.5 – Епюра розподілу горизонтальних напружень  $\sigma_x$  у просторовій моделі переважно тонко- і середньшаруватої текстури

Таким чином, параметри поля горизонтальних напружень  $\sigma_x$  підтвердили наші попередні припущення щодо розповсюдження фронтального опорного тиску попереду лави і пов'язані з ним перетворення текстури порід надвугільної товщі:

– знеміцнення відбувається у безпосередній і прилеглих шарах основної покрівлі на відстань до 7 – 8 м;

– поява і розвиток тріщин розриву поширюється на відстань до 12 – 20 м.

Вигин породних шарів у напрямку вугільного пласта продовжується над лавою, але відразу за огороженням секцій механізованого кріплення на відстані до 1 – 2 м починається обмежена зона, де спочатку вигин літотипів зникає, а далі (у напрямку виробленого простору) відбувається зміна знаку кривизни вигину – породні шари набувають напрямку вигину у бік покрівлі пласта. Нагадаємо, що ця зона інтенсивного тріщиноутворення і розташування рекомендована (див. §2.1) до

перетину її дегазаційними свердловинами. Геометричні характеристики області зміни знаку кривизни вигину літотипів в покрівлі такі:

- вона починається у зоні безладного обвалення на відстані до 2 – 3 м позаду секцій механізованого кріплення;

- в основну покрівлю (над виробленим простором) зона розповсюджується під кутом  $\beta_1 = 80 - 85^\circ$  до площини розшарування.

Наведені дані дещо відрізняються від попередніх досліджень розробленого механізму зсуву надвугільної товщі (див. §2.1) і ця відмінність тільки посилює особливості деформування підробленого масиву в умовах Західного Донбасу. Посилення особливостей відбувається у напрямку наближення до лави області зміни знаку кривизни вигину літотипів: бажано, щоб траси дегазаційних свердловин перетинали покрівлю пласта з концентрацією теж поблизу лави, а відстань між свердловинами відповідала умові перетину їх заглибленими частинами лінії розповсюдження областей зміни знаку кривизни вигину літотипів. Це означає, що відповідно до найпростішої геометричної схеми дегазаційну свердловину треба бурити на відстані до 8 – 10 м від огороження секцій механізованого кріплення.

Інші результати аналізу НДС просторової моделі будуть викладені нижче, а зараз треба зауважити про її достатню адекватність за низкою визначених умов загасання впливу очисних робіт як попереду, так і позаду лави, а також за простяганням у бокових породах недоторканого масиву.

### **2.3.2 Закономірності зрушень за падінням-підняттям вугільного пласта, що відпрацьовується**

Зараз основну увагу приділено визначенню закономірностей впливу глибини  $H$  розташування лави на параметри зсуву надвугільної товщі, що відповідає назві даного параграфу. Із загальних уявлень можна попередньо передбачити, що зростання глибини  $H$  ведення очисних робіт супроводжується підвищенням напружень і деформацій у прилеглому масиві, розширенням зон знеміцнення і розшарування гірських порід, що викликає більш інтенсивний вигин і обвалення

породних блоків та наближення лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів до лави, тобто, зростання кута нахилу  $\beta_1$ . Ця тенденція зв'язку щодо умов центрального району Донбасу досліджена у роботі [37] з висновком, що глибина  $H$  малосуттєво впливає зокрема на координати ліній повних посувань надвугільної товщі у вироблений простір. Означене протиріччя загальнологічних викладів і результатів моделювання МСЕ було розкрито шляхом аналізу поля  $\sigma_x$  (для умов Західного Донбасу) при поточній зміні глибини в інтервалі  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$ , що дозволяє зробити (у одному обчислювальному експерименті) застосування пружно-пластичної фізичної моделі.

Результати аналізу зв'язку  $\beta_1$  і  $H$  наведено на графіку рис. 2.6 для двох умовних текстур масиву: переважно тонко- і середньошаруватої та переважно крупно- і середньошаруватої. Незалежно від типу текстури спостерігаються закономірності зростання кута нахилу  $\beta_1$  ліній зміни знаку кривизни вигину літотипів при підвищенні глибини  $H$  ведення очисних робіт. Сутність такої тенденції була пояснена впливом глибини  $H$  на поширення областей знеміцнення у шарах покрівлі порід із підвищенням геостатичного тиску. При цьому породні консолі (у зоні шарнірно-блокового зсуву) обвалюються ближче до лави і також ближче відбувається зміна знаку кривизни вигину сусідніх з консолями породних блоків, що вже опираються на нижні літотипи (див. рис. 2.2). Теж саме відбувається і з породними шарами верхньої зони їх плавного вигину без порушення суцільності. Отже, якісна закономірність впливу глибини  $H$  піддається логічному поясненню, а кількісні показники такі, що в інтервалі  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$  спостерігається зростання  $\beta_1$  на  $12,8^\circ$  для переважно тонко- і середньошаруватої текстури (з  $71,8^\circ$  до  $84,6^\circ$ ) і на  $17,8^\circ$  для переважно крупно- і середньошаруватої текстури (з  $65,6^\circ$  до  $83,4^\circ$ ).

За наведеними результатами потрібно звернути увагу на дві особливості:

– по-перше, означені тенденції зафіксовані для різних типів текстури гірського масиву при проведенні окремих незалежних обчислювальних експериментів, що, хоча і непрямо, але підтверджує їх достовірність;

– по-друге, закономірності для двох доволі протилежних типів текстур наближаються одна до одної (як для умов Західного Донбасу) зі зростанням глибин; це пояснюється суттєвим впливом геостатичного тиску на процес посування надвугільної товщі у вироблений простір.

У результаті викладених досліджень сформувався висновок про важливість урахування глибини  $H$  ведення очисних робіт при визначенні одного з параметрів зсуву надвугільної товщі – кута  $\beta_1$  зміни знаку кривизни вигину її літотипів. Користуватися встановленими закономірностями можна за допомогою графіків на рис. 2.6, або рівнянь регресії, що отримані за відомими методиками [42], [43] за даними обчислювальних експериментів:

– для тонко- і середньосаруватої текстури

$$\beta_1 = 178 - 200 H^{-0,12}, \text{ град}; \quad (2.4)$$

– для крупно- і середньосаруватої текстури

$$\beta_1 = 236,7 - 290,3 H^{-0,10}, \text{ град}. \quad (2.5)$$

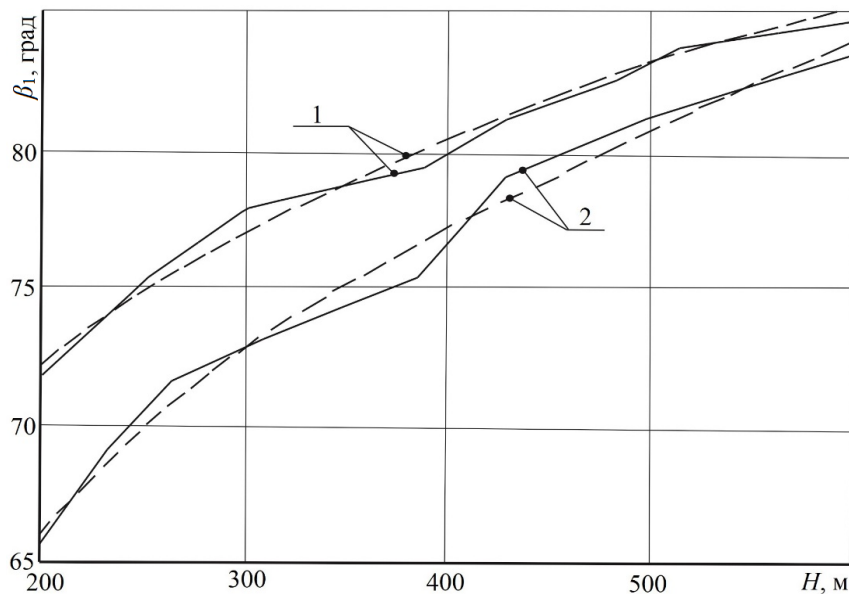


Рисунок 2.6 – Залежність кута  $\beta_1$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі від глибини  $H$  ведення очисних робіт: 1 – переважно тонко- і середньосарувата текстури; 2 – переважно крупно- і середньосарувата текстури; ——— результати обчислень МСЕ; - - - - рівняння регресії

У виразах (2.4) і (2.5) глибина  $H$  ведення очисних робіт підставляється у метрах, а параметр  $\beta_1$  визначається у градусах.

Іншим важливим фактором, що стосується тріщиноутворення, є зона найбільш активного вигину породних шарів безпосередньо перед очисним вибоєм. З погляду газовиділення ці зони є первинною ланкою визволення і передачі об'ємів метану у робочий простір лави. Як бачимо на рис. 2.5, ступінь вигину літотипів покрівлі (над очисним вибоєм і у бік непідробленого масиву) різний і визначається в основному трьома факторами: потужністю шарів, їх механічними властивостями і величиною навантаження на конкретний літотип.

Одне з класичних положень механіки гірських порід стверджує, що кожен літотип (у складі надвугільної товщі) сприймає навантаження, пропорційне його жорсткості. Тому більш потужний шар із підвищеними деформаційними характеристиками зазнає значного гірського тиску порівняно з іншими літотипами, які легко деформуються. Наприклад, потужний пісковик зазнає більш високого навантаження, ніж прилеглі тонкі аргіліти й алевроліти, що досить чітко відображено на епюрі горизонтальних напружень  $\sigma_x$  (див. рис. 2.5); теж саме спостерігається і на епюрі горизонтальних напружень  $\sigma_z$ . Одночасно, зазвичай, пісковик є газонасиченим літотипом і тому бажано, щоб дегазаційна свердловина перетинала цей літотип у зоні максимального вигину (найбільш інтенсивне тріщиноутворення) ще у районі попереду лави.

Таким чином, ми сформулювали другу вимогу до доцільних координат розташування дегазаційних свердловин. Для її реалізації потрібно визначити координати зон утворення максимальних згинальних деформацій. Звісно, формування даних зон залежить від текстури і механічних властивостей порід надвугільної товщі; але й передбачається вплив глибини  $H$  ведення очисних робіт, бо з її ростом розширюються зони пластичних деформацій гірських порід, що впливає як на величину, так і на відстані розповсюдження значного ступеня вигину літотипів.

Варіація глибини розташування лави у межах  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$  надала такі результати. По-перше, за відносно невеликих значень  $H$  розташування зон

максимального вигину найбільш жорстких літотипів майже не змінюється, а ростуть в основному деформації вигину, що цілком природньо відповідно до пружної фізичної моделі зв'язку напружень і деформацій. Але з розширенням областей пластичного стану літотипів деформації вигину породних шарів ростуть набагато швидше (при зростанні  $H$ ), ніж горизонтальні напруження  $\sigma_x$ . При цьому відбувається друга тенденція – поширення зони знеміцнюючих деформацій вигину по площинах нашарування літотипів. Зазначена тенденція має переважний напрямок у бік від очисного вибою у ще непідроблений гірський масив. Ключова перевага цього напрямку пояснюється наступним чином. У робочому просторі лави реакція механізованого кріплення значно менша, ніж з боку нижніх порід попереду лави і тому процес зміни знаку кривизни вигину літотипів основної покрівлі починається ще трохи попереду площини очисного вибою. Перепад величини опору на шари, що вигинаються над лавою, сприяє інтенсивному розшаруванню надвугільної товщі, яке не тільки обмежує розповсюдження первісних активних деформацій згину (у бік вугільного пласта), але й сприяє їх пониженню аж до нуля. Навпаки опір ще непідроблених нижніх порід сприяє (за рахунок їх пластичних деформацій) розповсюдженню вигину на більш віддалені ділянки масиву: при збільшенні геостатичного тиску (ріст  $H$ ) пластичний стан деяких ділянок порід утворює на кшталт режиму піддатливості жорсткого літотипу і компенсація приросту геостатичного тиску відбувається за рахунок розповсюдження зони його підвищеного опору, а тому й активних деформацій вигину.

Отже, з ростом глибини  $H$  розміщення лави зафіксовано дві тенденції дії максимальних деформацій згину відносно координат, що тотожно інтенсивному тріщиноутворенню:

– за відносно невеликих глибин ( $H \leq 300 - 350$  м) відстань  $\alpha_{II}$  (від площини вибою) розташування максимумів  $\sigma_x$  зростає достатньо повільно;

– при переході на більш глибокі горизонти ( $H > 350$  м) відстань  $\alpha_{II}$  починає більш інтенсивно зростати пропорційно  $H$  за нелінійною залежністю.

Приклад встановленої закономірності наведено на рис. 2.7 для фіксованої висоти  $h_{\Pi}$  залягання газоносного пісковика відносно вугільного пласта, а також постійної його потужності  $m_{\Pi}$ . Звичайно параметри  $h_{\Pi}$  і  $m_{\Pi}$  впливають на зв'язок  $a_{\Pi}$  і  $H$ , що буде розглянуто дещо нижче. А зараз треба звернути увагу на функцію  $a_{\Pi}(H)$ . Відповідно до постановленої мети роботи нас насамперед цікавлять координати доцільної траси дегазаційних свердловин. За відносно постійної попередньо рекомендованої відстані (8 – 10 м від огороження секцій механізованого кріплення) буріння свердловин координати її траси будуть визначатися (за підняттям) кутом  $\beta_2$  нахилу до площини нашарування.

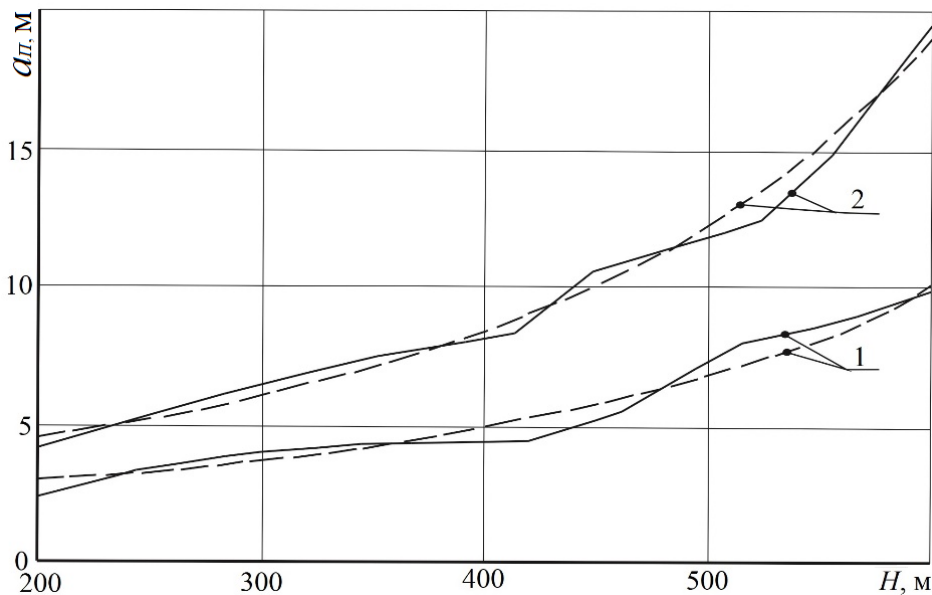


Рисунок 2.7 – Приклад залежності відстані  $a_{\Pi}$  максимального вигину найбільш жорстких літотипів у привибійній зоні непідробленого масиву від глибини  $H$  розташування лави: 1 – літотип на висоті 14,6 м від підшви пласта; 2 – літотип на висоті 19,2 м; ——— результати обчислень МСЕ; - - - рівняння регресії

Попередньо було визначено функцію  $a_{\Pi}(H)$ , яка складається з двох ділянок (див. рис. 2.7), що за своєю сутністю відображають переважно пружний і пружно-пластичний стан пісковика. Приклад визначення функції  $a_{\Pi}(H)$  наведено для переважно тонко- і середньшаруватої текстури, де за висотою надвугільної товщі може бути розташовано декілька газоносних шарів підвищеної жорсткості. Такий

варіант текстури відображений на епюрі  $\sigma_x$  (див. рис. 2.5), де в основній покрівлі розташовано відразу два шари підвищеної жорсткості – на висоті від подошви вугільного пласта до верхньої поверхні шару 14,6 і 19,2 м. Зауважимо, що вище у покрівлі теж виникають концентрації розтягуючих  $\sigma_x$ , але вони мають обмежене поширення і розташовані на значній відстані.

Для виділених двох жорстких шарів у ході покрокового обчислення (за поступового зростання величини  $H$ ) отримано дві закономірності зміни параметра  $a_{II}$ , який вираховується від серединної частини ширини дії максимальних розтягуючих  $\sigma_x$ . Відповідно двом експериментальним залежностям (за різних  $h_{II}$ ) отримано дві функції регресії:

$$\text{– при } h_{II_1} = 14,6 \text{ м} \quad a_{II_1} = 1,9 + 1,1 \exp\left(\frac{H}{200} - 1\right), \text{ м}; \quad (2.6)$$

$$\text{– при } h_{II_2} = 19,2 \text{ м} \quad a_{II_2} = 2,25[1 + \exp\left(\frac{H}{200} - 1\right)], \text{ м}. \quad (2.7)$$

Щодо особливостей, то слід додатково відзначити більш віддалене розташування максимумів  $\sigma_x$  у шарах, що залягають вище від подошви вугільного пласта. Величина  $a_{II}$  вказує на доцільність розвороту дегазаційної свердловини таким чином, щоб пересікти газонасичені літотиби ще на деякій відстані від очисного вибою і тим самим частково зробити щось на кшталт попередньої дегазації. Тим більше, що по висоті масиву відстань  $a_{II}$  зростає і можна однією похилою свердловиною перетнути обидва шари у потрібній зоні.

Безумовно, параметри розташування дегазаційних свердловин (при розгляді кута  $\beta_2$  їх нахилу) залежать від низки факторів. Насамперед, текстури масиву, що буде розглянуто у подальших розділах роботи.



### 2.3.3 Тенденції впливу за простяганням

Відстежити вплив глибини  $H$  розташування лави на процес зсуву надвугільної товщі за простяганням вугільного пласта (уздовж лави) нам дозволяє побудова просторової моделі (див. рис. 2.5), яка надає потрібну кількість перетинів у вертикальних площинах  $YZ$  за довільною координатою  $X$  розташування цих перерізів. Одночасно нагадаємо, що найбільш наочне відображення деформацій вигину літотипів надвугільної товщі дають епюри горизонтальних напружень  $\sigma_z$ , які діють у напрямку простягання.

Загальновідомо, що процес зсуву надвугільної товщі розповсюджується у часі та просторі в міру посування лави від довільного перетину  $YZ$ . У цьому сенсі при розгляді процесу деформування порід покрівлі у вироблений простір був обґрунтований найбільш впливовий (щодо газовиділення) параметр координати областей зміни знаку кривизни вигину літотипів у напрямку простягання, які характеризуються (за висотою надвугільної товщі) кутом  $\beta_3$  нахилу лінії, що з'єднує означені області за простяганням вугільного пласта. Логічно передбачити, що в міру відходу лави кут  $\beta_3$  буде змінюватися і стабілізуватися на деякій відстані одночасно із згасанням інтенсивності проявів гірського тиску. Для підтвердження цього припущення було зроблено нарізку перетинів  $YZ$  на відстані від лави 10 м, 20 м, 30 м і 40 м. Ці дії зроблені для просторової епюри  $\sigma_z$  щодо варіанту переважно тонко- і середньошаруватої текстури при двох крайніх значеннях глибини:  $H = 200$  м і  $H = 600$  м. Для кожного перетину був визначений кут  $\beta_3$  нахилу відносно площини нашарування вугільного пласта і за отриманими показниками побудовано графік на рис. 2.8. Як бачимо, тенденції зміни параметра  $\beta_3$  від координати  $X_n$  розташування перетину  $YZ$  позаду лави залишаються незмінними: активний приріст  $\beta_3$  відбувається на ділянці  $X_n \leq 20$  м, а далі значення  $\beta_3$  стабілізуються на певному рівні і це відбувається незалежно від глибини  $H$  ведення очисних робіт.

Виявлена тенденція може бути пояснена наступним чином. По-перше, на

відносно невеликій відстані  $X_l$  ще відчувається вплив очисного вибою, який дещо стримує посування і вигін породних шарів у вироблений простір. По-друге, цей процес розшарування, знеміцнення і обвалення нижніх літотипів розповсюджується у часі і просторі: росте об'єм нестійких порід в основній покрівлі з відповідним навантаженням на породні шари, довжина їх консолей скорочується, зменшується довжина блоків і області зміни знаку кривизни вигину літотипів наближаються до виїмкової виробки.

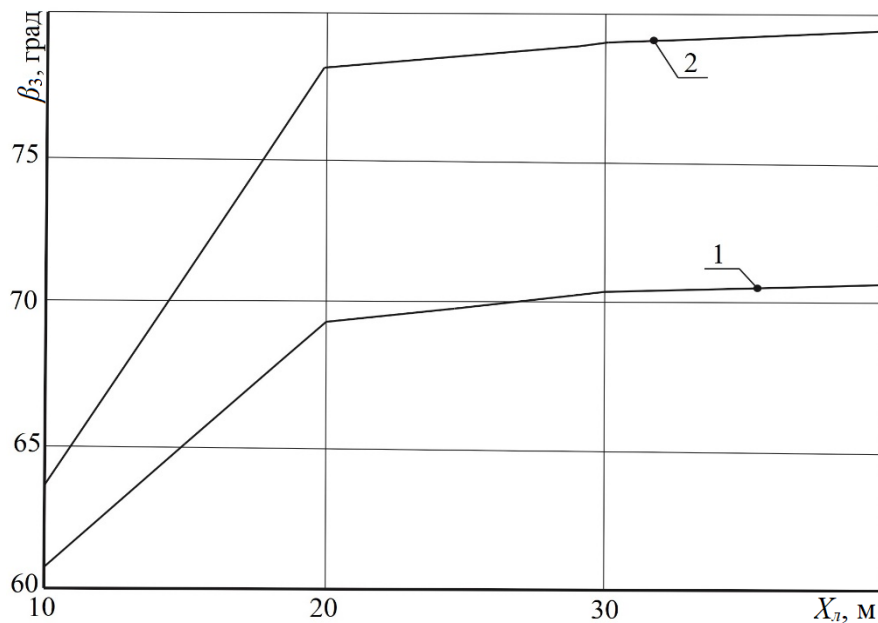


Рисунок 2.8 – Залежність кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни кривизни вигину літотипів в міру зростання відстані  $X_l$  від лави: 1 –  $H = 200$  м; 2 –  $H = 600$  м

За виявлених тенденцій постає питання, – на якій відстані позаду лави визначати залежність  $\beta_3(H)$  кута нахилу  $\beta_3$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів від глибини  $H$  розташування лави? На нашу думку, величину  $\beta_3$  потрібно визначати в зоні найбільш активних порушень цілісності надвугільної товщі, тобто, поблизу лави; тут відбувається інтенсивне рошарування і руйнування гірських порід, з'являються багато тріщин і порожнин з відповідним зростанням газовиділення. Тому ми вважаємо за доцільне визначати параметр  $\beta_3$  на ділянці  $10 \text{ м} \leq X_l \leq 20 \text{ м}$  і обирати його розрахункове значення як середній показник.

За такого алгоритму були вираховані показники кута  $\beta_3$  на усьому діапазоні  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$  зміни глибини розташування лави. За приклад на рис. 2.9 наведено відповідні графіки. Функція  $\beta_3(H)$  наближена до лінійної з поступовим зростанням в діапазоні  $65^\circ \leq \beta_3 \leq 71^\circ$  для переважно тонко- і середньосаруватої текстури і в інтервалі  $58^\circ \leq \beta_3 \leq 66^\circ$  для переважно крупно- і середньосаруватої текстури. Як бачимо, вплив глибини  $H$  відносно невеликий: у діапазоні  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$  підвищення кута  $\beta_3$  відбулося лише на  $6^\circ$  і на  $8^\circ$  для відповідних текстур надвугільної товщі. Але вважаємо, що на довжині дегазаційної свердловини  $l_{cv} = 40 - 50 \text{ м}$  ці коливання  $\beta_3$  відповідають зміні розташування її заглибленої ділянки до  $5 - 7 \text{ м}$ , що може бути важливим фактором з точки зору найбільш доцільних координат розташування свердловини з максимальним дебітом газу метану.

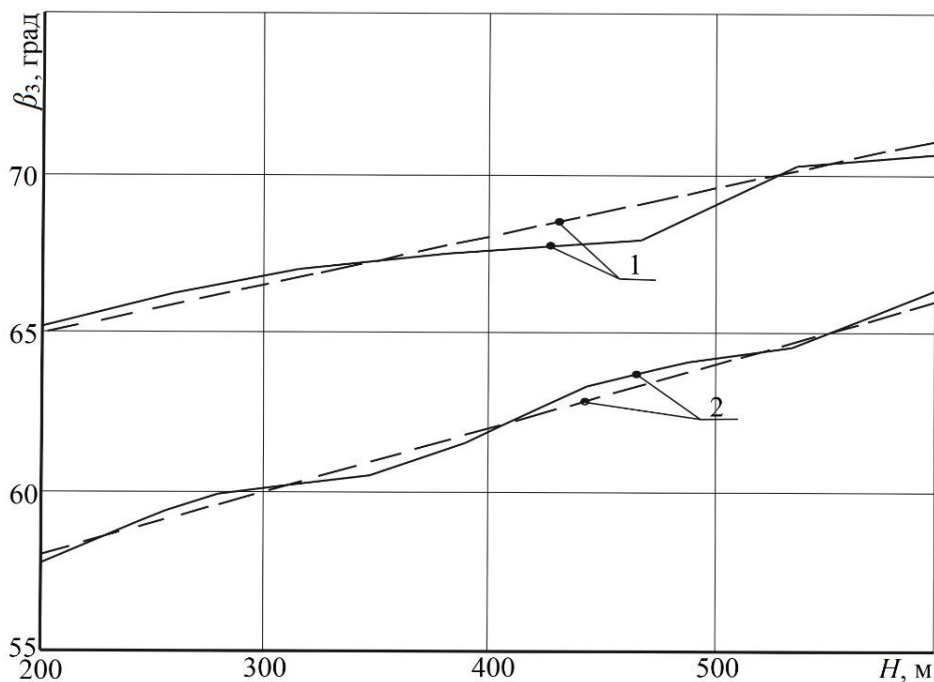


Рисунок 2.9 – Залежність кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі від глибини  $H$  ведення очисних робіт: 1 – переважно тонко- і середньосарувата текстури; 2 – переважно крупно- і середньосарувата текстури; ——— результати обчислень МСЕ; - - - - рівняння регресії

За наведеними результатами обчислювальних експериментів отримані відповідні рівняння регресії для розрахунку кута  $\beta_3$ :

– для тонко- і середньшаруватої текстури

$$\beta_3 = 62 + 0,015 H, \text{ град.}; \quad (2.8)$$

– для крупно- і середньшаруватої текстури

$$\beta_3 = 54 + 0,02 H, \text{ град.} \quad (2.9)$$

Отже, отримана низка залежностей впливу глибини  $H$  на параметри зсуву надвугільної товщі у вироблений простір; вони дозволяють обирати доцільні параметри розташування дегазаційних свердловин за фактором впливу глибини ведення очисних робіт.

## 2.4 Порівняльний аналіз до існуючих досліджень МСЕ

Розроблена геомеханічна модель, результати розрахунків і аналізу НДС гірського масиву в районі ведення очисних робіт пройшли перевірку й оцінку на їх відповідність існуючим дослідженням МСЕ у даній області із загальним висновком про достатню адекватність і достовірність отриманих закономірностей процесу зсуву надвугільної товщі поблизу сполучення лави і виїмкової виробки.

Наприклад, у роботі [37], серед інших питань, досліджено вплив глибини  $H$  розміщення лави на поле горизонтальних напружень, за якого можна визначити кут  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів уздовж лави. Обчислювальний експеримент було проведено для умов пологого залягання тонких вугільних пластів центрального району Донбасу. Незважаючи на низку відмінностей (плоска модель, кут падіння пласта у  $9^\circ$ , інша текстура і порівняно підвищені механічні властивості літотипів), картина розподілу горизонтальних напружень дуже схожа (рис. 2.10) на отриману нами епюру  $\sigma_z$ . Більш того, за детального аналізу встановлено вплив глибини  $H$  на величину кута  $\beta_3$ :  $H = 200$  м  $\beta_3 = 62^\circ$ ; при  $H = 800$  м  $\beta_3 = 72^\circ$ . Якщо ці значення порівняти з власно отриманими (див. рис. 2.9), то, звісно, відмінності є, але треба звернути увагу на інші гірничо-геологічні умови, технологію моделювання і невизначеність (плоска

модель), для якої відстані від лави  $X_{л}$  був виконаний обчислювальний експеримент.

У ракурсі викладеного треба звернути увагу на наступні порівняння. За відстані від лави  $X_{л}=10$  м при  $H=200$  м різниця  $\beta_3$  становить  $-2,0\%$ , при  $H=600$  м відхилення зростає до  $-13,2\%$ , але треба пам'ятати, що у роботі [37] моделювалася глибина  $H=800$  м. Далі, на відстані від лави  $X_{л}=20$  м відхилення переходять у плюсові значення і складають відповідно  $+11,8\%$  і  $+8,5\%$ . Найбільші відхилення ( $+14,0\%$  і  $+10,3\%$ ) зафіксовані на відстані  $X_{л}=40$  м позаду лави, тобто, вже у зоні стабілізації проявів гірського тиску, але за своєю величиною їх можна оцінити як цілком задовільні. Загалом, на підставі цих даних потрібно зазначити цілком добрий ступінь відповідності отриманих результатів дослідженням роботи [37].

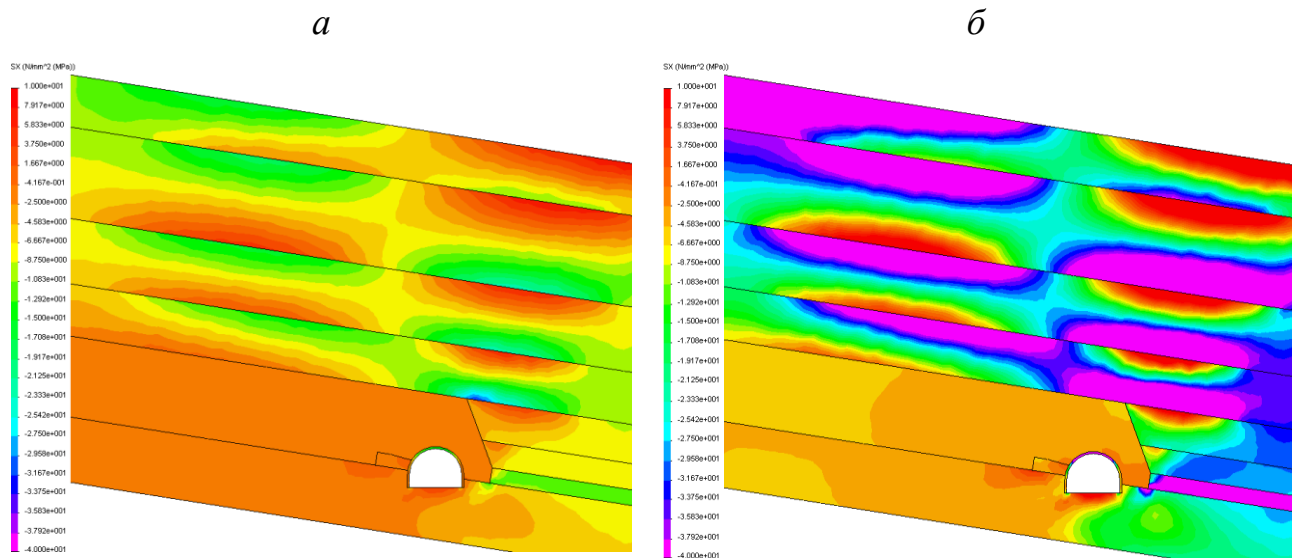


Рисунок 2.10 – Приклад епюр горизонтальних напружень за різної глибини  $H$  моделювання з роботи [37]:  $a - H = 200$  м;  $b - H = 800$  м;

Також було виконано порівняльний аналіз епюр горизонтальних напружень  $\sigma_{x,z}$  вже для просторової геомеханічної моделі, яка відображає гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови Західного Донбасу [4]. Особливість наочного представлення цих результатів моделювання полягає у використанні ізоліній

рівних напружень  $\sigma_{x,z}$ , але за такого технологічного прийому дуже чітко простежуються лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі як у напрямку підняття за координатою  $X$  (рис. 2.11), так і напрямку простягання за координатою  $Z$  (рис. 2.12). Як бачимо з епюр, вони не протирічать таким, що отримані за власних досліджень: сформований вигин породних шарів в обох напрямках з фіксацією кутів  $\beta_1$  і  $\beta_3$  за найбільш інформативних видів №1 і №2.

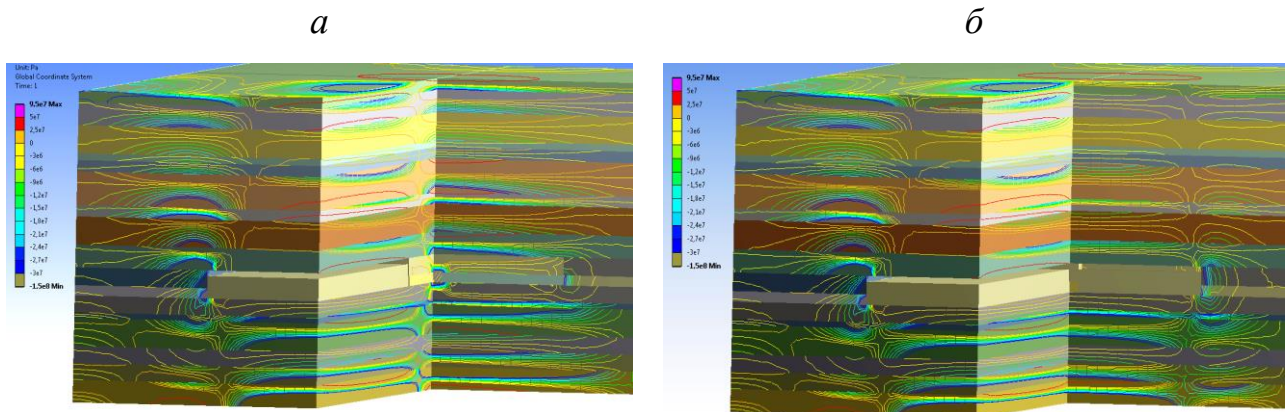


Рисунок 2.11 – Ізолінії горизонтальних напружень  $\sigma_x$  за даними роботи [4] для двох перетинів: *a* – вид №1; *б* – вид №2

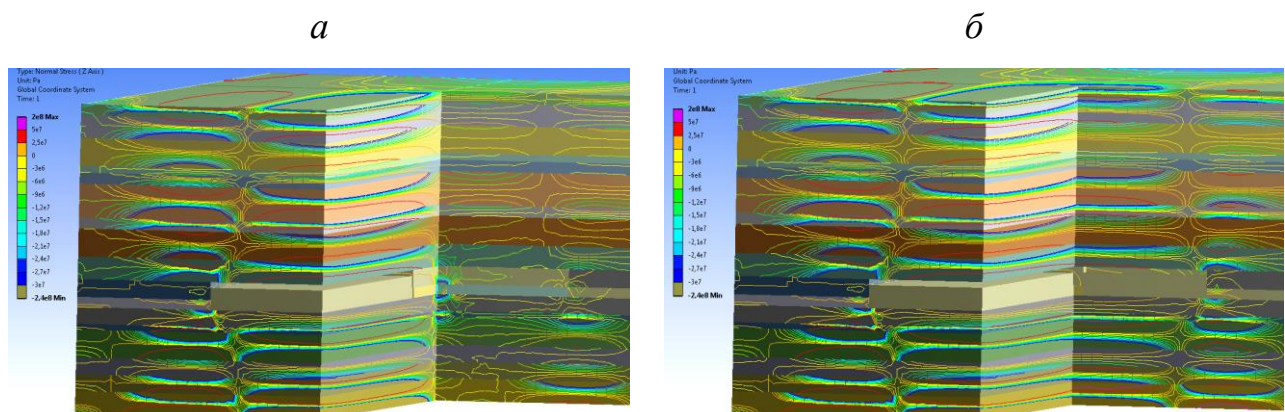


Рисунок 2.12 – Ізолінії горизонтальних напружень  $\sigma_z$  за даними роботи [4] для двох перетинів: *a* – вид №1; *б* – вид №2

Останні зроблено таким чином, щоб максимально відобразити просторовий характер деформування породних шарів навколо робочого простору лави:

– вид №1 – ізометрія, що проходить по вугільному пласту на відстані 0,1 м від площини вибою, далі перетин перпендикулярний вибою із розрізом секції механізованого кріплення і виробленого простору позаду лави, а потім розріз проходить по виробленому простору паралельно лаві;

– вид №2 – ізометрія, що проходить по виробленому простору поряд з огороженням секцій механізованого кріплення, далі перпендикулярно поверхні вибою по наближеній секції механізованого кріплення та виробленому простору і потім – по виробленому простору паралельно площині вибою лави.

Узагальнюючи результати порівняльного аналізу, можна цілком обґрунтовано стверджувати про об'єктивність відображення процесів зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу.

## **2.5 Висновки за розділом**

1. Аналіз існуючих уявлень про процеси зсуву надвугільної товщі в районі ведення очисних робіт у сукупності з особливостями її деформування щодо слабометаморфізованих порід Західного Донбасу з урахуванням підвищених швидкостей посування очисних вибоїв дозволив розвинути погляди на механізм перетворень текстури шаруватого масиву слабких гірських порід з погляду на параметри технології дегазації виїмкової дільниці вугільної шахти. З якісного боку побудовані схеми розвитку досліджуваного процесу дозволити сформулювати:

– використання дегазаційних свердловин доцільне на ділянці до 40 – 60 м позаду лави, тобто, до межі зони стабілізації проявів гірського тиску, а буріння повинно бути з розворотом у бік очисного вибою, щоб захопити зону дії максимального фронтального опорного тиску;

– самі зони визначаються при постійному маркшейдерському моніторингу переміщень контуру виїмкової виробки і мають тенденції до скорочення при підвищених швидкостях посування очисного вибою;

– довжина дегазаційних свердловин обирається з умови обов'язкового перетину зони шарнірно-блокового зсуву і метанонасичених літотипів зони

плавного вигину шарів без порушення суцільності на технічно досяжній висоті; одночасно бажано перетинати зони максимального вигину газонасичених породних шарів у зоні фронтального опорного тиску;

– доцільно, щоб траса свердловини перетинала області зміни знаку кривизни вигину літотипів з урахуванням варіації координат їх розташування за високих швидкостей посування очисних вибоїв.

2. Кількісні закономірності параметрів зсуву надвугільної товщі під впливом геомеханічних факторів визначено за допомогою МСЕ. Для цього обґрунтовано параметри просторової геомеханічної моделі, яка містить зони шаруватого слабометаморфізованого гірського масиву попереду і позаду лави з частиною недоторканої вуглепородної товщі з боку сусідньої виїмкової ділянки. У них розташована кінцева ділянка лави з імітатором механізованого кріплення, виїмковий штрек та їх сполучення. Відповідно до загальновизнаних вимог обґрунтовано розміри просторової моделі, текстура і механічні властивості літотипів вуглепородної товщі, граничні умови навантаження по усіх площинах моделі на її межах. Доведено доцільність використання пружно-пластичної фізичної моделі поведінки породних шарів та деформаційно-силової характеристики механізованого кріплення.

3. За результатами обчислювальних експериментів доведено суттєвий вплив глибини  $H$  розташування лави на параметри зсуву надвугільної товщі:

– спостерігається зростання кута  $\beta_1$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів за підняттям пласта – для переважно тонко- і середньшаруватої текстури в діапазоні  $71,8 - 84,6^\circ$ ; для переважно крупно- і середньшаруватої текстури в інтервалі  $65,6 - 83,4^\circ$ ;

– з ростом  $H$  зафіксовано дві тенденції відносно координат дії максимальних деформацій вигину літотипів (попереду лави), що тотожно інтенсивному тріщиноутворенню: за відносно невеликих глибин ( $H \leq 300 - 350$  м) відстань  $a_{II}$  розташування (від площини вибою) максимумів горизонтальних напружень зростає досить повільно – до 30 – 50%; при переході на більш глибокі горизонти ( $H > 350$  м) відстань  $a_{II}$  починає більш інтенсивно зростати (до 3,3 – 4,2 разів) за



нелінійною залежністю;

– за простяганням вугільного пласта встановлено тенденцію зростання кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів в міру відходу очисного вибою від координати  $X_{ce}$  розташування дегазаційної свердловини, а майже лінійний вплив  $H$  додає підвищення величини  $\beta_3$ : до  $6^\circ$  для переважно тонко- і середньшаруватої текстури і до  $8^\circ$  для переважно крупно- і середньшаруватої текстури.

Користуватися встановленими закономірностями можна за допомогою низки графіків відповідних залежностей, або рівнянь регресії, що отримані за даними обчислювальних експериментів. Таким чином, визначено кількісний зв'язок параметрів зсуву надвугільної товщі з глибиною розташування лави, який дозволяє обирати доцільні схеми розташування дегазаційних свердловин.

4. Порівняльний аналіз отриманих результатів моделювання з існуючими дослідженнями МСЕ довів їх адекватність відносно закономірностей зсуву надвугільної товщі, а виконаний комплекс обчислювальних експериментів розширив уявлення про розвиток цього процесу в умовах слабометаморфізованих порід Західного Донбасу.

## **Список використаних джерел до розділу 2**

1. Филимонов, П.Є. (2013). *Фізико-технічні основи інтенсифікації способів видобутку та підвищення якості вугілля в єдиному шахтному технологічному комплексі*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02; 05.15.09. Дніпропетровськ, Україна: ІГТМ НАН України, 39 с.

2. Єфремов, І.О. (2011). *Фізико-технічні основи комплексної дегазації і використання метану вугільних шахт*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02. Дніпропетровськ, Україна: ІГТМ НАН України, 36 с.

3. Філатьєв, М.В. (2019). *Розвиток наукових основ безпечної відробки газоносних вугільних пластів при зсовуванні масиву гірських порід*. Автореф. дис.

на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02; 05.26.01. Дніпро, Україна: ІГТМ НАН України, 38 с.

4. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., & Черватюк, В.Г. (2012). *Геомеханіка навантаження кріплення очисних і підготовчих виробок в шаруватому масиві слабких порід*. Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 236 с.

5. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Вівчаренко, О.В., Малихін, О.В., & Гусєв, О.С. (2014). *Геомеханіка навантаження і розрахунок параметрів кріпильної й охоронної систем підготовчих виробок шахт Західного Донбасу*. Дніпропетровськ, Україна: ЛізуновПрес, 228 с.

6. Бондаренко, В.І., Мартовицький, А.В., Ковалевська, І.А., & Черватюк, В.Г. (2011). *Розвиток наукових основ підвищення стійкості гірничих виробок шахт Західного Донбасу*. Дніпропетровськ, Україна: ЛізуновПрес, 340 с.

7. Pivnyak, G., Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Iliashov, M. (Eds.). (2013). *Mining of Mineral Deposits*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 382 p. <https://doi.org/10.1201/b16354>

8. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Барабаш, М.В., & Гусєв, О.С. (2015). *Взаємодія вантажонесучих елементів кріпильної системи виїмкових виробок «масив – рама – анкер»*. Дніпропетровськ, Україна: Літограф, 214 с.

9. Ömer Aydan. (2020). *Rock Mechanics and Rock Engineering. Fundamentals of Rock Mechanics*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 392 p.

10. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Медяник В.Ю., & Руденко, М.К. (2020). *Вугільна шахта*. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 360 с.

11. Hencher, S. (2015). *Practical Rock Mechanics*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 378 p.

12. Бондаренко, В.І., Ільяшов, М.О., & Руденко, М.К. (2012). *Теорія керування станом масиву гірничих порід*. Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 320 с.

13. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Барабаш, М.В., Снігур, В.Г., & Гусєв, О.С. (2017). *Комбіновані анкерні системи для повторного використання гірничих виробок*. Дніпро, Україна: ЛізуновПрес, 188 с.

14. Симанович, А.М., Срібний, М.О., Малов, В.І., & Белінський, І.Л. (1973). *Удосконалення способів охорони підготовчих виробок*. Донецьк, Україна: Донбас, 121 с.
15. Sakhno, I., & Sakhno, S. (2023). Numerical Studies of Floor Heave Control in Deep Mining Roadways with Soft Rocks by the Rock Bolts Reinforcement Technology. *Advances in Civil Engineering*, 1-23. <https://doi.org/10.1155/2023/2756105>
16. Савостьянов, О.В., & Ключков В.Г. (1992). *Керування станом масиву гірничих порід*. Київ, Україна: УМК ВО, 276 с.
17. Зборщик, М.П., & Назимко, В.В. (1991). *Охорона виробок глибоких шахт у зоні розвантаження*. Київ, Україна: Техніка, 248 с.
18. Ільяшов, М.О., Халімендіков, Є.М., Лобков, М.І., Сергієнко, О.І., & Куцєрубов, В.М. (2008). Оцінка впливу швидкості посування очисного вибою на вміщуючі бокові породи. *Вугілля України*, (4), 11-13.
19. Звягільський, Ю.Л., Бокій, Б.В., & Назимко, В.В. (2003). Динаміка зсувів земної поверхні при великих швидкостях посування очисних вибоїв. *Проблеми гірського тиску*, (9), 189-212.
20. Медведчук, М.Д. (1967). Вплив швидкості посування очисного вибою на прояв гірського тиску при розробці пологих пластів. *Вугілля України*, (4), 13-15.
21. Лобков, М.І., Носач, О.К., & Бачурін, Л.Л. (2002). Дослідження впливу швидкості посування на роботу лав. *Проблеми механіки гірничо-металургійного комплексу*, 178-180.
22. Скіпочка, С.І., Мухін, О.В., & Куклін, В.Ю. (2003). Особливості геомеханіки вуглепородного масиву при високих навантаженнях на очисний вибій. *Геотехнічна механіка*, (41), 16-22.
23. Кольчик, Є.І. (2007). Визначення параметрів зони впливу очисної виїмки при великих швидкостях посування лав. *Вісті Донецького гірничого інституту*, (2), 17-21.
24. Усаченко, Б.М. (1979). *Властивості порід і стійкість гірничих виробок*. Київ, Україна: Наукова думка, 136 с.

25. Усаченко, Б.М., Чередниченко, В.П., & Головчанський, І.Є. (1990). *Геомеханіка охорони виробок у слабометаморфізованих породах*. Київ, Україна: Наукова думка, 144 с.
26. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Черватюк, В.Г., Симанович, Г.А., & Ковалевська, І.А. (2024). *Прикладні задачі геомеханіки вугільних шахт. Книга 1. Моделювання гірського масиву*. Дніпро: ЛПрес, 516 с.
27. Johnson, D. (2000). *Advanced structural mechanics. Principal Lectures in Structural Engineering*. London: Thomas Telford Ltd., 312 p.
28. N. Jane Helena. (2017). *Theory of Elasticity and Plasticity*. Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 264 p.
29. Pariseau, W.G. (2022). *Notes on Numerical Modeling in Geomechanics*. London: Taylor & Francis Group, 292 p. <https://doi.org/10.1201/9781003166283>
30. Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Fomychov, V. (2012). Features of carrying out experiment using finite-element method at multivariate calculation of “mine massif – combined support” system. *Geomechanical Processes during Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining*, 7-13. <https://doi.org/10.1201/b13157-4>
31. Kovalevs'ka, I., Symanovych, G., & Fomychov, V. (2013). Research of stress-strain state of cracked coal-containing massif near-the-working area using finite elements technique. *Annual Scientific-Technical Collection – Mining of Mineral Deposits*, 159-163. <https://doi.org/10.1201/b16354-27>
32. Єржанов, Ж.С., & Карімбаєв, Т.Д. (1975). *Метод скінченних елементів в задачах механіки гірських порід*. – Алма-Ата, Республіка Казахстан: Наука, 238 с.
33. Liu, G.R., & Quek, S.S. (2014). *The Finite Element Method*. Butterworth-Heinemann, 433 p.
34. Чеснокова, О.В. (2019). *Динаміка тріщин і масоперенос флюїдів у газонасичених вугільних пластах при їх відпрацюванні*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: Інститут фізики гірничих процесів, 20 с.

35. Васильєв, Д.Л. (2019). *Розвиток наукових основ визначення параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: ІГТМ НАН України, 45 с.
36. Бурчак, О.В. (2018). *Розвиток теорії та розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопроявів у вугільних шахтах*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Спец.: 05.15.09. Дніпро, Україна: ІГТМ НАН України, 37 с.
37. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Коваль, О.І., & Фомичов, В.В. (2012). *Експериментальні дослідження стійкості виїмкових виробок, які повторно використовуються, на пологих пластах Донбасу*. Дніпропетровськ, Україна: ЛізуновПрес, 426 с.
38. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., & Снігур, В.Г. (2014). *Експериментальні дослідження здимання порід підпошви підготовчих виробок на пологих пластах Донбасу*. Дніпропетровськ, Україна: ЛізуновПрес, 224 с.
39. СОУ 10.1.00185790.011:2007. (2008). *Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони*. Стандарт Мінвуглепрому України. Донецьк, Україна: Видавництво ДонВУГІ, 114 с.
40. Bondarenko, V. Kovalevska, I., Symanovych, H., Barabash, M., Chervatiuk, V., Husiev, O., & Snihur, V. (2020). *Combined roof-bolting systems of mine workings*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 283 p.
41. Anderson, T.L. (2017). *Fracture Mechanics. Fundamentals and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 684 p. <https://doi.org/10.1201/9781315370293>
42. Sdvyzhkova, O., Babets, D., Moldabayev, S., Rysbekov, K., & Sarybayev, M. (2020). Mathematical modeling a stochastic variation of rock properties at an excavation design. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*, 20(1.2). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/1.2/s03.021>
43. Yu, W. (2021). *Geomechanical Behaviors of Bimrocks*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 277 p.

44. Randive, K., Pingle, S., & Agnihotri, A. (2021). *Innovations in Sustainable Mining*. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-73796-2>

45. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Ковалєвська, І.А., Симанович, Г.А., Шишов, М.В., & Малова, О.К. (2023). Розвиток уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі з погляду його впливу на параметри дільничної дегазації в умовах Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*, (72), 27-39. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.027>

46. Kovalevska, I., Shyshov, M., & Cherednychenko, Yu. (2023). Development of ideas on deformation of the gas-saturated coal-overlying formation in the conditions of stratified mass of weakly metamorphosed Western Donbas rocks. *XVI th International Scientific & Practical Conference “Ukrainian School of Mining Engineering”* (pp. 3-4). Skhidnytsia, Ukraine. <https://doi.org/10.33271/usme16.003>

47. Bondarenko, V., Salieiev, I., Symanovych, H., Kovalevska I., & Shyshov, M. (2023). Substantiating the Patterns of Geomechanical Factors Influence on the Shear Parameters of the Coal-Overlying Formation Requiring Degassing at High Advance Rates of Stopping Faces in the Western Donbas. *Inżynieria Mineralna*, 1(51), 23-32. <http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-03>

48. Bondarenko, V.I., Kovalevska, I.A., & Shyshov, M.V. (2022). Creating of models for the formation and development of the stress-strain state anomalies in the mass using the latest technologies for maintaining extraction workings under conditions of high advance velocity of stope faces. *The V International Scientific and Technical Conference* (pp. 104-106). Petroșani, Romania: University of Petrosani.

49. Symanovych, H., Salieiev I., Shyshov, M., Odnovol, M. (2022). Substantiating the optimization solutions for the mine working fastening system interaction with the enclosing rock mass. *Mining of Mineral Deposits*, 16(3), 54-60. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.054>

## РОЗДІЛ 3

### ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗТАШУВАННЯ ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ МСЕ

#### 3.1 Вплив текстури надвугільної товщі на параметри її зсуву у вироблений простір

У попередніх дослідженнях було зазначено, що текстура надвугільної товщі є одним з геомеханічних факторів, що суттєво впливає на процеси зсуву підробленого масиву, а через них і на доцільні параметри розташування дільничних дегазаційних свердловин позаду лави. У цьому сенсі потрібно розглядати процеси зсуву за двома напрямками: падінням-підняттям та простяганням, і це нам дозволяє зробити просторова геомеханічна модель з відповідними розрахунками її НДС.

##### 3.1.1 Закономірності впливу текстури за падінням-підняттям

Закономірності впливу текстури надвугільної товщі на ділянці навколо лави дещо відрізняються за напрямками фіксації цього впливу: цілком очікувано, що за падінням-підняттям головують інші аномалії гірського тиску, ніж за простяганням вугільного пласта. Тому у своїх дослідженнях ми відокремили закономірності впливу по цих двох напрямках залягання вугільного пласта.

Основну увагу приділено тенденціям впливу на кут  $\beta_1$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі такого геомеханічного фактора, як її текстура і це пояснюється зв'язком  $\beta_1$  з координатами розташування дегазаційних свердловин. У попередньому розділі (див. розділ 2) вже відзначено відмінності впливу глибини  $H$  розташування лави за різних текстур надвугільної товщі, а зараз ми більш докладніше розглянемо означені закономірності. Раніше у методиці проведення обчислювальних експериментів зазначалося моделювання трьох варіантів текстур: реальне складання літотипів у районі 501 і 503 лав, переважно тонко- і середньосарувата, переважно крупно- і середньосарувата, звісно, такий розподіл на типи текстур має опосередковану

кількісну оцінку і ми не можемо виділити якийсь функціональний параметр з безперервною зміною від мінімуму до максимуму. Дана умовна класифікація текстури також не дає змогу побудувати графіки її впливу на кут  $\beta_1$  або визначити відповідні рівняння регресії залежності  $\beta_1$  від текстури. Тому нам залишається тільки кількісний опис відмінностей між трьома типами текстури надвугільної товщі. Але, за великим рахунком, ці труднощі долаються таким чином, що залежності  $\beta_1(H)$  та і більшість інших визначені для обох протилежних типів текстур, вплив яких ураховується дискретною побудовою графіків і рівнянь регресії окремо для кожної текстури.

Обґрунтований підхід був реалізований за аналізу впливу текстури на ключові параметри зсуву надвугільної товщі. Результати обчислювальних експериментів довели, що текстура, до складу якої входить найбільша кількість тонких шарів, обвалюється позаду лави під більшим кутом (до площини нашарування) і це цілком закономірно, бо тонкі шари не здатні утворювати більш-менш довгі породні консолі, що неодноразово було пояснено у попередньому розділі. Також очікувано, що потужні шари мають подовжений виліт породних консолей, бо момент опору їх поперечного перерізу значно вищий. Таким чином, результати обчислень НДС породного масиву навколо лави не протирічать відомим положенням дисциплін з механіки гірських порід і опору матеріалів.

Нагадаємо, що на величину кута нахилу  $\beta_1$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі впливає декілька геомеханічних факторів; тому не можна зафіксувати кількісну величину впливу без зазначення дії інших факторів впливу, наприклад, глибини  $H$  розташування виїмкової ділянки. Насамперед зауважимо, що в інтервалі  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$  переважно тонко- і середньшарувата текстура має більшу величину  $\beta_1$ , ніж переважно крупно- і середньшарувата текстура. Той варіант текстури, що ми зазначили як «реальний», займає проміжне становище. Отже різниця між величинами кута  $\beta_1$  складає:  $6,2^\circ$  при  $H = 200 \text{ м}$ ,  $3,2^\circ$  при  $H = 400 \text{ м}$  і  $1,3^\circ$  при  $H = 600 \text{ м}$ . Як бачимо, з ростом  $H$  відбувається зменшення впливу текстури (зниження різниці кутів  $\beta_1$ ) і це цілком очікувано, бо



росте геостатичний тиск, за якого довжина вильоту породних консолей зменшується і можна екстраполювати зникнення впливу текстури масиву десь на глибині  $H = 750 - 800$  м в умовах Західного Донбасу. Але на сьогодні це «віртуальні» глибини і такий приклад тільки пояснює тенденцію впливу текстури надвугільної товщі. З іншого боку, різниця кута  $\beta_1$  у декілька градусів призводить до зміни координат розташування заглибленої частини дегазаційної свердловини на 2 – 5 м, що може відобразитися на дебіті газу.

Іншим важливим параметром щодо визначення доцільних координат розташування дегазаційних свердловин є відстань  $a_{II}$  дії максимумів згинальних напружень відносно очисного вибою, що розповсюджується вглиб ще недоторканого масиву (див. §2.3.2). Параметр  $a_{II}$  залежить від висоти розташування  $h_{II}$  найбільш жорстких літотипів, якими в умовах Західного Донбасу є пісковики, а саме вони, зазвичай, мають підвищену газонасиченість. Висота  $h_{II}$  їх розташування і потужність  $m_{II}$  є складовими текстури надвугільної товщі і у цьому сенсі можна говорити про вплив текстури.

Оскільки ми маємо всього три варіанти моделей текстури, то аналіз її впливу відображений на графіках тільки двома лініями, що з'єднують відповідні точки (рис. 3.1). Звісно, побудоване по трьох точках рівняння регресії буде хибним, бо має велику похибку, але сам графік дозволяє отримати певну інформацію про загальну тенденцію впливу висоти залягання  $h_{II}$  і потужність пісковика  $m_{II}$  (у надвугільній товщі) на відстань  $a_{II}$  максимального згину у привибійній зоні лави.

Більш докладно аналіз графіків довів наступне. Але насамперед треба зауважити, що використана можливість варіації механічних характеристик літотипів надвугільної товщі з метою розширення варіантів висоти  $h_{II}$  розташування пісковика та його потужності  $m_{II}$ . При цьому додатковий об'єм обчислень досить невеликий, бо всі три геомеханічні моделі залишаються сталими – вони зберігають власні геометричні та силові параметри.

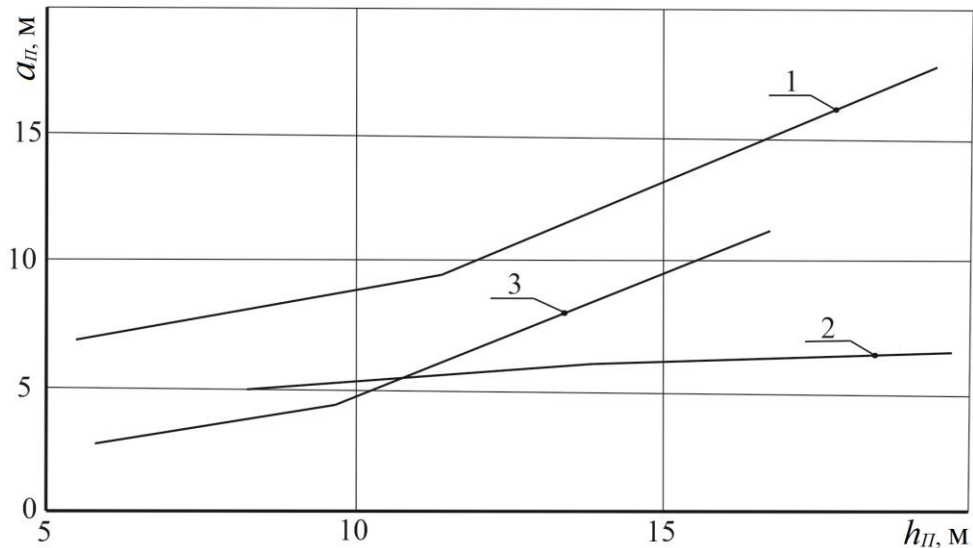


Рисунок 3.1 – Тенденції впливу текстури надвугільної товщі (висота  $h_{II}$  залягання пісковика та його потужність  $m_{II}$ ) на відстань  $a_{II}$  розташування зони максимального вигину літотипу у привибійній зоні: 1 –  $m_{II} = 2$  м; 2 –  $m_{II} = 4,7$  м; 3 –  $m_{II} = 8$  м

Отже, незалежно від текстури надвугільної товщі спостерігається стійка тенденція зростання переміщення максимуму вигину пісковика вглиб привибійної частини масиву, тобто, відбувається зростання величини  $a_{II}$ . Інтенсивність цього зростання різна – більша для обох «віртуальних» текстур (переважно тонко- і середньосаруватої та переважно крупно- і середньосаруватої) і менша для «реальної» текстури 501 і 503 виїмкових ділянок. Також не є однозначним підвищення градієнту зростання  $a_{II}$  при збільшенні висоти  $h_{II}$  залягання пісковика: для «віртуальних» текстур градієнт зростає, для «реальної» текстури він майже не змінюється.

Також треба відзначити підвищені величини  $a_{II}$  за переважно тонко- і середньосаруватої текстури, що можна пояснити власне механізмом деформування надвугільної товщі. Більш потужний шар пісковика має багаторазово підвищений опір гірському тиску і його суттєвий вигин відбувається ближче до очисного вибою, де протидія нижче розташованих літотипів зменшується завдяки їх власним деформаціям.

Таким чином, у результаті виконання обчислювальних експериментів встановлено закономірності впливу текстури надвугільної товщі на параметри зсуву  $\beta_1$  і  $a_{II}$ , які будуть корисними при обґрунтуванні координат доцільної траси дегазаційних свердловин у напрямку падіння-підняття вугільного пласта.

### 3.1.2 Закономірності за простяганням

Аналіз, аналогічний вищевикладеному, був проведений щодо впливу текстури надвугільної товщі на кут  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину її літотипів [17]. Дослідження виконані для трьох варіантів текстури і порівняння результатів показало таку інформацію. Найбільша величина  $\beta_3$  зафіксована для переважно тонко- і середньошаруватої текстури, найменша – для переважно крупно- і середньошаруватої текстури, а її «реальний» варіант займає проміжне положення. Зафіксована тенденція скорочення різниці між максимальним і мінімальним значеннями  $\beta_3$  зі зростанням глибини розташування лави. Так, при  $H = 200$  м різниця склала  $7,4^\circ$ , а при  $H = 600$  м вона зменшується до  $4,2^\circ$ . Це скорочення різниці менш інтенсивне, ніж для кута  $\beta_1$  і можна стверджувати, що вона буде існувати і при більш великих глибинах ведення гірничих робіт.

Для перевірки об'єктивності отриманих результатів виконано порівняння з існуючими дослідженнями [1] впливу текстури надвугільної товщі (тільки для умов Центрального району Донбасу і також на пологих тонких пластах), але з дещо підвищеним кутом падіння у  $9^\circ$  проти  $1 - 6^\circ$  у Західному Донбасі. Було досліджено [1] три варіанти текстури надвугільної товщі, які наведено на рис. 3.2. Кут  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі має певну залежність від її текстури. На доказ цієї тези наведено епюри горизонтальних напружень (рис. 3.3) для трьох виділених типів текстур. Аналіз епюр дав такі результати: для моделі I більш-менш середньошаруватої текстури  $\beta_3 = 72^\circ$ , для моделей II і III крупношаруватої текстури відповідно  $\beta_3 = 64$  і  $62^\circ$ . Трохи більшу величину  $\beta_3$  для текстури моделі II можна пояснити наявністю одного шару потужністю 2 м.

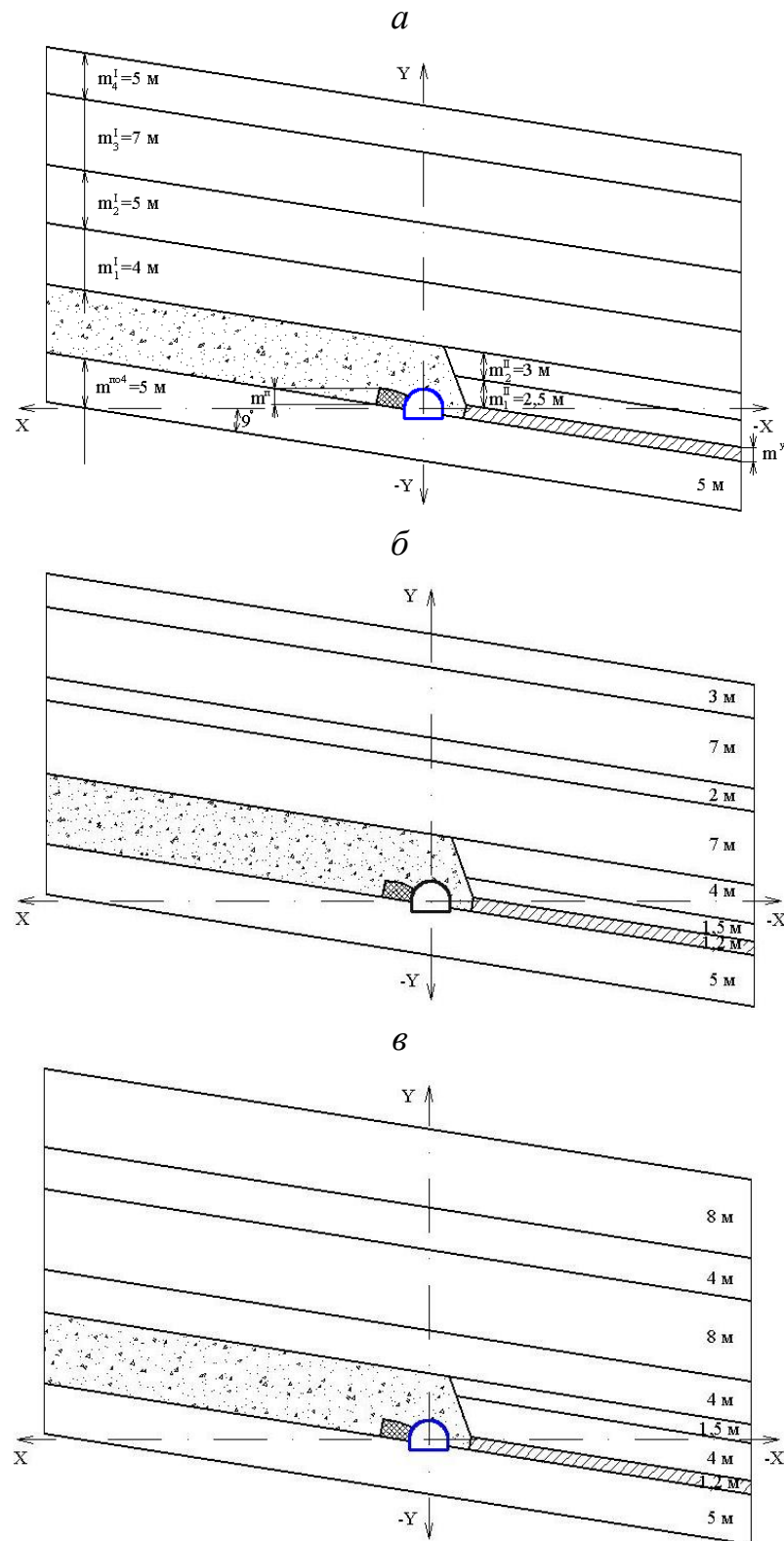


Рисунок 3.2 – Варіанти досліджених моделей текстури наддвугільної товщі [1]:

*a* – модель I; *б* – модель II; *в* – модель III

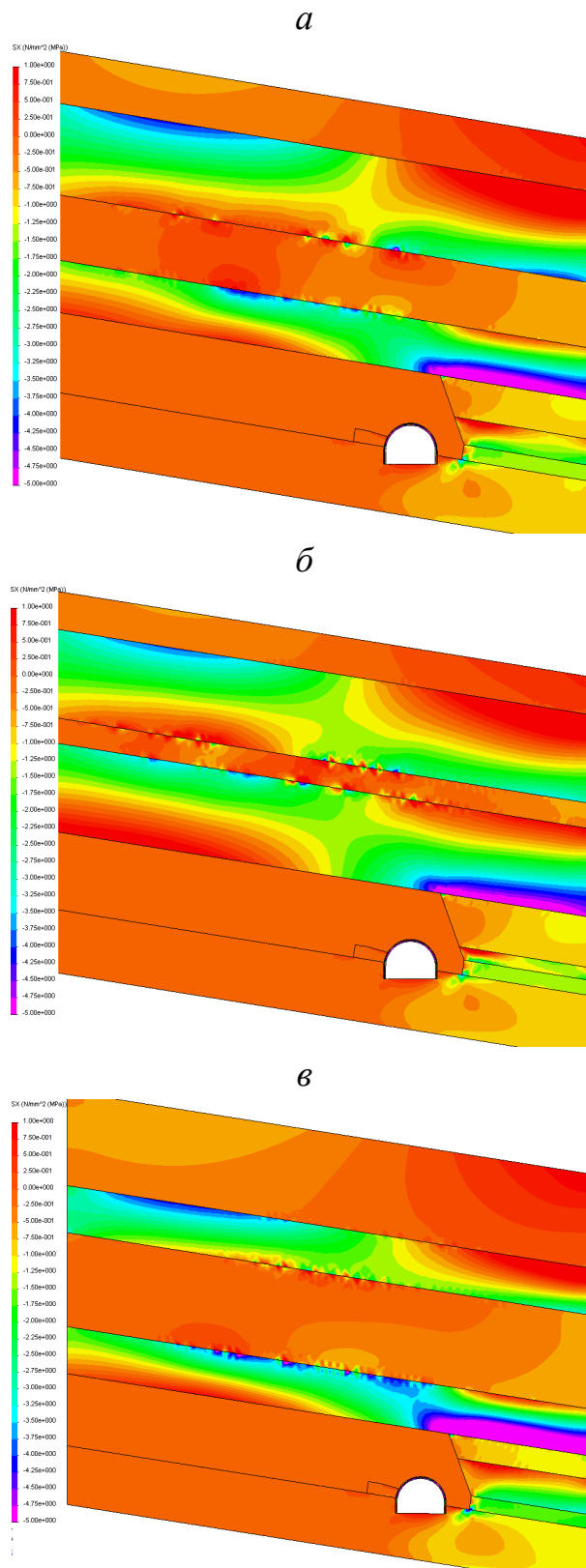


Рисунок 3.3 – Вплив текстури надвугільної товщі на епюри горизонтальних напружень у масиві навколо кінцевої ділянки лави [1]:

*a* – модель I; *б* – модель II; *в* – модель III

Отже, моделювання дещо інших гірничо-геологічних умов [1] не змінює виявлених нами тенденцій (щодо Західного Донбасу) пониженого кута  $\beta_3$  для переважно крупно- і середньосфумоватої текстури. Таке якісне співпадіння є аргументом у бік адекватності і достовірності виконаних досліджень.

Загалом можна стверджувати про повне визначення параметрів зсуву надвугільної товщі і закономірностей їх зміни, які обґрунтовують найбільш ефективні координати трас дегазаційних свердловин.

### **3.2 Вплив механічних властивостей порід надвугільної товщі на НДС прилеглого до лави масиву**

Серед раніше виділених геомеханічних факторів було зазначено механічні властивості літотипів надвугільної товщі, які (за попередньою оцінкою) можуть створювати вплив на досліджувані параметри її зсуву [18], що слугують певними критеріями визначення доцільних координат траси дільничних дегазаційних свердловин. У цьому плані у попередньому розділі були сформовані усереднені показники механічних властивостей шарів вуглевміщуючої товщі для умов Західного Донбасу, що дозволило побудувати три дещо узагальнені геомеханічні моделі для вивчення впливу текстури вуглепородного масиву. При дослідженні впливу механічних характеристик літотипів у деяких діапазонах їх зміни дуже зручно користуватись вже створеними моделями, в яких кожному шару буде призначатися декілька значень механічних характеристик. Тоді всі параметри геомеханічних моделей будуть незмінними за виключенням механічних властивостей і цей технологічний прийом дозволяє використовувати одну і ту саму модель скільки потрібно, що дуже пришвидшить виконання необхідного об'єму обчислювальних експериментів.

Серед інших загальних положень зазначимо, що варіюються три показники механічних властивостей: опір породи на стиск  $\sigma_{cm}$ , опір породи на розтяг  $\sigma_p$  і модуль пружності  $E$ . Перелічених показників цілком достатньо для розрахунку НДС геомеханічної моделі [2]–[6] у пружній постановці. Механічні характеристики літотипів беруться з даних геологорозвідувальних робіт, що

містяться у технічній документації на відпрацювання виїмкових ділянок. До них також додаються відомості про властивості порід Західного Донбасу, що викладені у роботах [7], [8]. Також нагадаємо, що дослідження проведені у двох напрямках залягання вугільного пласта: за падінням-підняттям і за простяганням.

### 3.2.1 Закономірності за падінням-підняттям

Раніше були обґрунтовані найбільш важливі (з точки зору визначення координат траси дегазаційних свердловин) параметри зсуву надвугільної товщі – кут нахилу  $\beta_1$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів і відстань  $a_{II}$  максимуму вигину породного шару від очисного вибою у цілісний масив. Завданням цього підпараграфу є визначення ступеня зв'язку  $\beta_1$  і  $a_{II}$  з механічними властивостями літотипів надвугільної товщі.

Напрямом варіації механічних характеристик літотипів поставлене завдання вирішити дуже складно: надвугільна товща, яку зачіпає процес зсуву складається з багатьох літотипів і для кожного з них треба вивчати вплив коливань їх механічних характеристик на всю зону зсуву. Якщо задати по декілька фіксованих значень  $\sigma_{cm}$ ,  $\sigma_p$ ,  $E$  (для встановлення закономірності – не менше 5 – 6 точок) для кожного шару, то буде критично складно виконати перебір варіантів, що будуть налічувати сотні одиниць. Це (у разі успіху) потребує таких витрат часу, які не співставні з важливістю і кінцевими результатами поставленого завдання. Тому запропоновано прийом виконання обчислювальних експериментів, що використаний в існуючих подібних дослідженнях [2] – [6], сутність якого полягає у наступному.

Насамперед поділимо варіацію механічних характеристик літотипів (для умов Західного Донбасу) на три узагальнені групи: понижені, усереднені та підвищені. Понижені механічні характеристики як раз стосуються вуглепородного масиву, що розробляється на шахтах ім. Героїв Космосу, «Благодатна» та деяких розташованих поряд шахтних полів. Тут на базі аналізу геологічної інформації та даних [7], [8] обґрунтовано наступні величини механічних характеристик за трьома літотипами вуглевмісного масиву (з урахуванням дії послаблюючих факторів зволоження і

тріщинуватості): аргіліт  $\sigma_{cm} = 5 - 10$  МПа,  $\sigma_p = 0,5 - 1,0$  МПа,  $E = (0,2 - 0,3) \cdot 10^4$  МПа; алевроліт  $\sigma_{cm} = 8 - 15$  МПа,  $\sigma_p = 1,0 - 1,5$  МПа,  $E = (0,4 - 0,6) \cdot 10^5$  МПа; пісковик  $\sigma_{cm} = 15 - 20$  МПа,  $\sigma_p = 1,5 - 2,0$  МПа,  $E = (0,8 - 2,0) \cdot 10^4$  МПа. Усереднені значення механічних характеристик властиві для групи шахт, що розташовані дещо на схід регіону Західний Донбас: аргіліт  $\sigma_{cm} = 10 - 15$  МПа,  $\sigma_p = 1,0 - 1,5$  МПа,  $E = (0,5 - 0,8) \cdot 10^4$  МПа; алевроліт  $\sigma_{cm} = 15 - 20$  МПа,  $\sigma_p = 2,0 - 2,5$  МПа,  $E = (0,8 - 1,5) \cdot 10^4$  МПа; пісковик  $\sigma_{cm} = 20 - 25$  МПа,  $\sigma_p = 2,0 - 3,0$  МПа,  $E = (1,0 - 2,5) \cdot 10^4$  МПа.

Підвищені значення механічних характеристик зазвичай стосуються шахтних полів, що розташовані на східній границі регіону Західний Донбас: аргіліт  $\sigma_{cm} = 20 - 25$  МПа,  $\sigma_p = 1,5 - 2,5$  МПа,  $E = (1,0 - 1,5) \cdot 10^4$  МПа; алевроліт  $\sigma_{cm} = 20 - 30$  МПа,  $\sigma_p = 2,5 - 3,0$  МПа,  $E = (1,5 - 2,5) \cdot 10^4$  МПа; пісковик  $\sigma_{cm} = 25 - 40$  МПа,  $\sigma_p = 3,0 - 4,0$  МПа,  $E = (2,5 - 4,0) \cdot 10^4$  МПа.

У другу чергу визначимось з кількістю обчислювальних експериментів для повного охоплення умов впливу механічних властивостей літотипів надвугільної товщі у Західному Донбасі. По-перше, охоплена варіація текстури масиву, яка обмежена двома варіантами: переважно тонко- і середньшарувата та переважно крупно- і середньшарувата. По-друге, для кожної текстури здійснюється по три розрахунки відповідно групам понижених, усереднених та підвищених механічних характеристик літотипів надвугільної товщі; тобто, було проведено шість обчислювальних експериментів, результати яких показано у вигляді графіків на рис. 3.4. Також треба нагадати про суттєвий вплив глибини  $H$  ведення очисних робіт (див. рис. 2.6 і 2.7), тому найбільш наочно, на наш погляд, представлення графіків у вигляді функцій  $\beta_1(H)$  і  $a_{II}(H)$ , а їх кількість визначалася дискретними варіантами текстури і механічних властивостей літотипів надвугільної товщі.

За пружної постановки задачі розрахунку НДС геомеханічної моделі головною впливовою характеристикою механічних властивостей є модуль пружності  $E$ , який опосередковано пов'язаний з міцнісними характеристиками породи, а також



інтенсивністю її тріщинуватості. Отже, за пониження механічних характеристик стабільно спостерігається зменшення величини кута нахилу  $\beta_1$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі. Цей факт зафіксовано незалежно від типу текстури: для її варіанта переважно тонко- і середньошаруватої на всьому інтервалі  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$  зміни глибини розташування лави зниження кута  $\beta_1$  складає від  $2,1^\circ$  ( $H = 400 \text{ м}$ ) до  $5,5^\circ$  ( $H = 200 \text{ м}$ ); для варіанта переважно крупно- і середньошаруватої текстури зафіксовано зменшення  $\beta_1$  від  $0,9^\circ$  ( $H = 200 \text{ м}$ ) до  $4,2^\circ$  ( $H = 335 \text{ м}$ ).

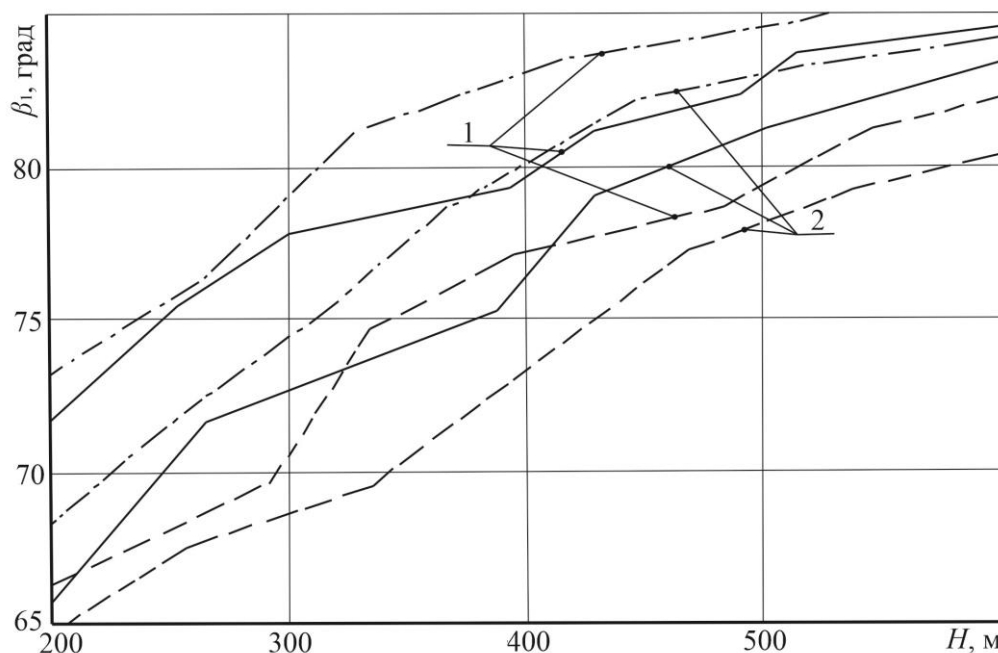


Рисунок 3.4 – Залежність кута нахилу  $\beta_1$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі від глибини  $H$  ведення очисних робіт: 1 – переважно тонко- і середньошарувата текстури; 2 – переважно крупно- і середньошарувата текстури; понижені (-----), усереднені (—) та підвищені (-·-·-) механічні властивості

Механізм розвитку цієї залежності нам уявляється таким. Діють дві протилежні тенденції: перша – за понижених міцнісних характеристик породних шарів з них утворюються консолі обмеженої довжини (див. розділ 2), що викликає зростання кута  $\beta_1$ ; друга – понижені деформаційні характеристики літотипів сприяють їх підвищеному вигину (під дією гірського тиску), за якого

відбувається зниження навантаження на породний шар і довжина його стійкої консолі зростає – відповідно знижується кут  $\beta_1$ . Вочевидь друга тенденція має перевагу над першою і загальна закономірність така, як вказано вище.

Об’єктивність наших уявлень підтверджують дані про деформування породних шарів надвугільної товщі за підвищених механічних властивостей (див. рис. 3.4). Тут ми бачимо стабільне перевищення величини  $\beta_1$  у порівнянні з іншими варіантами – усереднених та понижених механічних властивостей. Дійсно, при порівнянні графіків з підвищених і усереднених механічних властивостей перевищення  $\beta_1$  склало:  $0,8^\circ$  ( $H = 265$  м) і  $4,2^\circ$  ( $H = 388$  м) для переважно тонко- і середньшаруватої текстури та  $0,3^\circ$  ( $H = 260$  м) і  $3,5^\circ$  ( $H = 391$  м). З погляду на вищезгаданий механізм розвитку цих залежностей маємо таку думку. Підвищені механічні властивості, особливо модуль пружності, збільшують жорсткість літотипів, що провокує підвищення на них гірського тиску; тоді породні консолі руйнуються ближче до більш-менш стійкого масиву, довжина їх вильоту зменшується і відповідно збільшується кут нахилу  $\beta_1$ .

Наведені пояснення впливу механічних властивостей літотипів надвугільної товщі, на наш погляд, цілком логічні і їх треба враховувати при обґрунтуванні координат траси дегазаційних свердловин. Для цього можна користуватися графіком на рис. 3.4, але для більшої зручності ми побудували рівняння регресії за стандартними методиками [9], [10].

Переважно тонко- і середньшарувата текстура:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_1 = 136,3 - 133,3H^{-0,15}; \quad (3.1)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_1 = 175,8 - 242,2H^{-0,15}. \quad (3.2)$$

Переважно крупно- і середньшарувата текстура:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_1 = 169 - 262,5H^{-0,18}; \quad (3.3)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_1 = 56,9 + 0,039H. \quad (3.4)$$

У рівняннях (3.1) – (3.4) параметр  $H$  має розмірність – метри.

Іншим важливим параметром (щодо доцільної траси дегазаційних свердловин) є відстань  $a_{\Pi}$  максимального вигину пісковиків у привибійній зоні ще непідробленого масиву. Раніше були встановлені залежності (див. рис. 2.7) відстані  $a_{\Pi}$  від глибини  $H$  розташування лави за різної висоти  $h_{\Pi}$  розташування найбільш міцного і жорсткого літотипу – пісковика. Це окремі (дискретні) залежності, бо є вплив й інших факторів – текстури надвугільної товщі і механічних властивостей її літотипів. Стосовно текстури треба враховувати такі параметри, як висота  $h_{\Pi}$  розташування пісковика і його потужність  $m_{\Pi}$ , що було доведено раніше. Механічні властивості також мають вплив, бо від них залежить ступінь деформації літотипів і координати найбільших напружень вигину у привибійній частині масиву.

Отже, шляхом виконання мінімально достатньої кількості обчислювальних експериментів вдалося дослідити комплексний вплив на відстань  $a_{\Pi}$  таких геомеханічних факторів:

- глибина розташування лави;
- текстура надвугільної товщі із залученням двох впливових параметрів – висоти  $h_{\Pi}$  розташування пісковика (відносно вугільного пласта) та його потужності  $m_{\Pi}$ ;
- механічні властивості літотипів надвугільної товщі: понижені, усереднені та підвищені.

Результати визначення закономірностей зміни параметра  $a_{\Pi}$  відображено на графіках рис. 3.5. Загальна закономірність нелінійного зростання відстані  $a_{\Pi}$  з глибиною  $H$  ведення очисних робіт не протирічить попередньо встановленим тенденціям на рис. 2.7. Спостерігається підвищення градієнту росту функцій  $a_{\Pi}(H)$  в інтервалі  $H \geq 350 - 400$  м. Також зберігається тенденція зростання  $a_{\Pi}$ ,

коли пісковик залягає на більш віддаленій відстані  $h_{\Pi}$  в основній покрівлі пласта; суттєву роль у цьому відіграє і потужність  $m_{\Pi}$  пісковика. Означену тенденцію зафіксовано незалежно від механічних властивостей порід надвугільної товщі. Наприклад, за понижених механічних характеристик зафіксовано зростання  $a_{\Pi}$  на 2,4 – 9,3 м (в інтервалі  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$ ) при порівнянні двох варіантів співвідношення параметрів пісковика:  $h_{\Pi} = 15 \text{ м}$ ,  $m_{\Pi} = 2 \text{ м}$  та  $h_{\Pi} = 5 \text{ м}$ ,  $m_{\Pi} = 8 \text{ м}$ . За підвищених механічних властивостей літотипів зростання  $a_{\Pi}$  (за рівних інших умов) відбулося на 1,6 – 6,4 м. У відсотковому відношенні вплив параметрів  $h_{\Pi}$  і  $m_{\Pi}$  залягання пісковика в основній покрівлі коливається від 51% до 76% за понижених механічних властивостей порід надвугільної товщі та в інтервалі 73 – 77% за підвищених механічних властивостей літотипів.

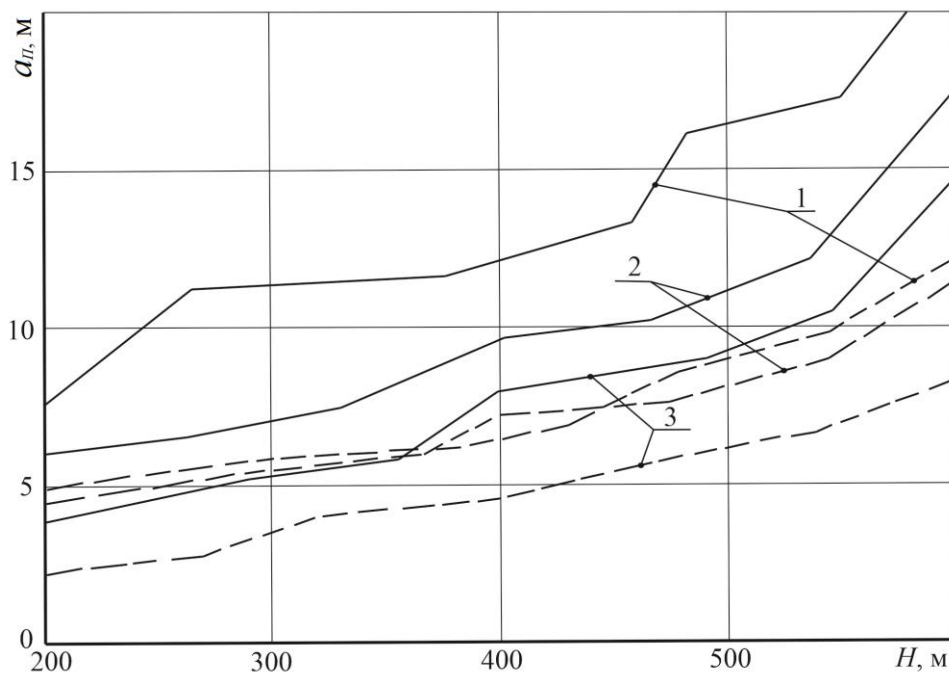


Рисунок 3.5 – Залежність відстані  $a_{\Pi}$  максимального вигину пісковиків у привибійній зоні від глибини  $H$  розташування лави: понижені (1), усереднені (2), підвищені (3) механічні властивості літотипів; —  $h_{\Pi} = 15 \text{ м}$ ,  $m_{\Pi} = 2 \text{ м}$ ;  
 - - - -  $h_{\Pi} = 5 \text{ м}$ ,  $m_{\Pi} = 8 \text{ м}$

Наведені дані вказують на суттєвий вплив самих механічних властивостей літотипів надвугільної товщі. Щодо адекватного порівняння ступеня впливу слід

розглянути окремо два варіанти співвідношення параметрів  $h_{II}$  і  $a_{II}$  залягання пісковика. При варіанті його віддаленого залягання і малої потужності ( $h_{II} = 15$  м і  $m_{II} = 2$  м) зафіксовано коливання різниці  $a_{II} = 3,9 - 7,3$  м (при порівнянні понижених і підвищених механічних властивостей літотипів), що у відносних одиницях складає 45 – 133%. Наближене до вугільного пласта розташування пісковика ( $h_{II} = 5$  м) та його велика потужність ( $m_{II} = 8$  м) дали такі порівняльні результати: абсолютна різниця  $a_{II}$  склала 1,8 – 3,9 м при відносному показнику 36 – 123%. Отримані результати доводять вельми суттєвий вплив досліджених параметрів текстури ( $h_{II}$  і  $m_{II}$ ) і механічних властивостей літотипів надвугільної товщі.

Геомеханічне пояснення отриманих результатів лежить у площині процесу вигину породних шарів у зоні фронтального опорного тиску попереду лави. Більш потужний пісковик за рахунок власної підвищеної жорсткості «збирає» на себе досить велике навантаження, але його згинальні деформації суттєво ростуть лише біля очисного вибою і при невеликій висоті залягання відстань  $a_{II}$  наближається до робочого простору лави. Навпаки, при віддаленому заляганні пісковика максимум опорного тиску віддаляється від очисного вибою [2], [6], [11] – [14], а відносно мала потужність пісковика зумовлює його підвищений вигин теж на суттєвій відстані від лави. Щодо впливу механічних властивостей літотипів надвугільної товщі, то загальновідомо [2], [6], [11] – [14], що породні шари, які легко деформуються, відділяють від лави розташування максимуму опорного тиску, а більш міцні і жорсткі літотипи наближають його до очисного вибою. Отже, з точки зору геомеханічних процесів зсуву надвугільної товщі при очисному вийманні отримані цілком логічні закономірності і вони не протирічать існуючим уявленням.

Обґрунтування доцільних трас буріння дегазаційних свердловин відбувається з використанням виявлених закономірностей у вигляді графіків на рис. 3.5, але для зручності і систематизації розрахунків побудовано низку рівнянь регресії з визначення параметру  $a_{II}$ .

Отримані такі залежності:

– для умов понижених механічних властивостей літотипів надвугільної товщі

$$\text{при } h_{II} = 15 \text{ м і } m_{II} = 2 \text{ м} \quad a_{II} = 5,6 + 0,54 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,92}; \quad (3.5)$$

$$\text{при } h_{II} = 5 \text{ м і } m_{II} = 8 \text{ м} \quad a_{II} = 4,2 + 0,43 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,45}. \quad (3.6)$$

– для умов усереднених механічних властивостей літотипів надвугільної товщі отримані такі залежності:

$$\text{при } h_{II} = 15 \text{ м і } m_{II} = 2 \text{ м} \quad a_{II} = 3,8 + 0,30 \left( \frac{H}{100} \right)^{2,15}; \quad (3.7)$$

$$\text{при } h_{II} = 5 \text{ м і } m_{II} = 8 \text{ м} \quad a_{II} = 2,6 + 0,31 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,94}. \quad (3.8)$$

– для умов підвищених механічних властивостей:

$$\text{при } h_{II} = 15 \text{ м і } m_{II} = 2 \text{ м} \quad a_{II} = 3,2 + 0,27 \left( \frac{H}{100} \right)^{2,06}; \quad (3.9)$$

$$\text{при } h_{II} = 5 \text{ м і } m_{II} = 8 \text{ м} \quad a_{II} = 1,5 + 0,25 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,77}. \quad (3.10)$$

Таким чином, повністю встановлено закономірності зміни параметрів  $\beta_1$  і  $a_{II}$  зсуву надвугільної товщі у напрямку падіння-підняття; вони враховують вплив основних геомеханічних факторів і є складовою обґрунтування доцільних трас буріння дегазаційних свердловин у цьому напрямку залягання вугільного пласта.

### 3.2.2 Закономірності за простяганням

У напрямку простягання вугільного пласта також спостерігається певний вплив механічних властивостей порід надвугільної товщі на величину кута  $\beta_3$  лінії нахилу координат зміни знаку кривизни вигину її літотипів у вироблений простір. Для отримання кількісного зв'язку  $\beta_3$  з механічними характеристиками породних шарів були використані результати вже проведених обчислювальних експериментів для трьох згаданих раніше варіантів: понижених, усереднених та підвищених механічних властивостей. Для цього були сформовані поперечні перерізи у площині

$YZ$  на відстані  $X_n = 20$  м від очисного вибою, як це було рекомендовано у попередньому розділі (див. рис. 2.8). Така процедура легко виконується завдяки побудові просторової геомеханічної моделі і розрахунку її НДС.

При виконанні досліджень за означеними методичними прийомами слід скористуватися попереднім досвідом (див. §3.2.1):

- по-перше, враховуються інші впливові геомеханічні фактори, а саме – глибина  $H$  розташування лави і текстура надвугільної товщі;
- по-друге, для урахування впливу параметра  $H$  побудовані відповідні функції  $\beta_3(H)$ ;
- по-третє, врахування впливу текстури надвугільної товщі здійснено шляхом розрахунку НДС двох її протилежних варіантів: переважно тонко- і середньшарувата текстура та переважно крупно- і середньшарувата текстура.

Таким чином, функції  $\beta_3(H)$  мають варіацію, що відображена шістьма графіками на рис. 3.6. Загальні закономірності впливу механічних властивостей літотипів надвугільної товщі аналогічні вже описаним стосовно параметра  $\beta_1$ . Так, спостерігається стійка тенденція підвищення кута  $\beta_3$  зі зростанням глибини  $H$  розташування лави, яка якісно не залежить від впливу інших геомеханічних факторів. У кількісному плані функції  $\beta_3(H)$  мають різний градієнт зростання, що залежить від типу текстури надвугільної товщі і механічних властивостей її літотипів. Є також загальна закономірність наближених до лінійного зв'язку параметрів  $\beta_3$  і  $H$ . Встановлено, що за переважно тонко- і середньшаруватої текстури кут  $\beta_3$  суттєво вищий, ніж за умов переважно крупно- і середньшаруватої текстури, що було вже пояснено у попередніх дослідженнях шляхом розгляду механізму утворення поверхні повних посувань. Ступінь впливу текстури така:  $5,9 - 9,2^\circ$  для підвищених механічних властивостей породних шарів;  $6,3 - 8,5^\circ$  для усереднених механічних властивостей породних шарів;  $5,4 - 9,8^\circ$  для понижених механічних властивостей породних шарів. Як бачимо з наведених даних, інтервали зміни кута  $\beta_3$  досить постійні, що опосередковано свідчить про їх об'єктивність.

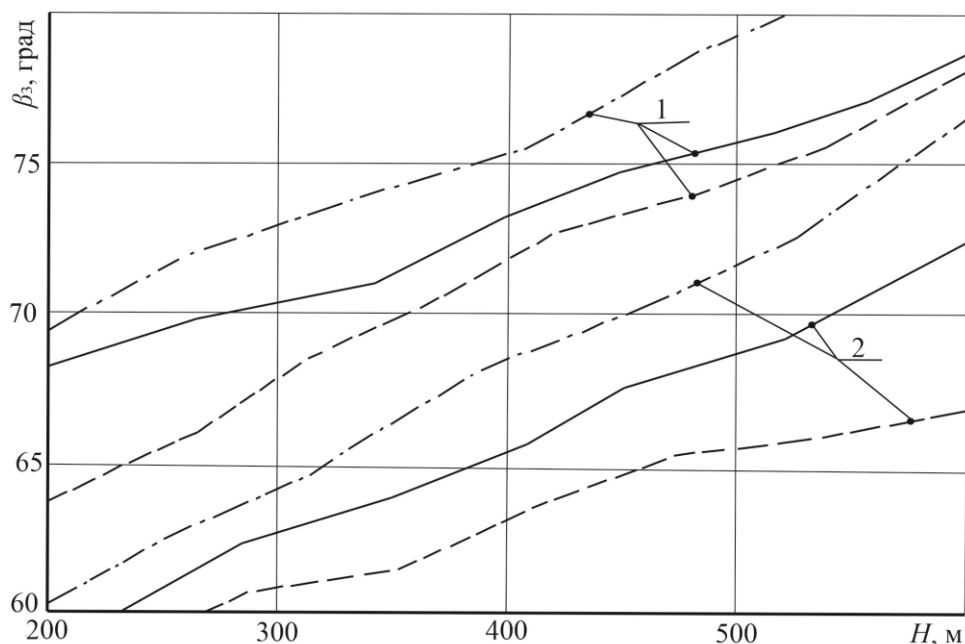


Рисунок 3.6 – Залежність кута нахилу  $\beta_3$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі від глибини  $H$  ведення очисних робіт: 1 – переважно тонко- і середньошарувата текстури; 2 – переважно крупно- і середньошарувата текстури; понижені (-----), усереднені (—) та підвищені (-·-·-) механічні властивості

Ступінь впливу механічних властивостей літотипів надвугільної товщі (при порівнянні підвищених і понижених варіантів) має такі інтервали зміни у діапазоні  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$ :  $3,5 - 5,8^\circ$  для переважно тонко- і середньошаруватої текстури;  $1,6 - 9,8^\circ$  для переважно крупно- і середньошаруватої текстури.

Загальний вплив механічних властивостей має напрям підвищення  $\beta_3$  при зростанні механічних характеристик породних шарів. Ця досить несподівана тенденція вже була пояснена (див. § 3.2.1) сумісною дією двох протилежних закономірностей на процес обвалення (у вироблений простір) консолей літотипів надвугільної товщі: тут має перевагу закономірність збільшення навантаження на жорсткі породні шари, що викликає скорочення довжини їх стійких консолей.

Для підтвердження достовірності закономірностей впливу механічних властивостей породних шарів надвугільної товщі на кут  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни їх вигину скористаємось результатами досліджень [1]. Незважаючи на деякі відмінності у гірничо-геологічних умовах моделювання процесів зсуву



надвугільної товщі (кут падіння вугільного пласта  $9^\circ$  і однакова потужність літотипів у 2 м), маємо у якісному плані підтвердження тенденції впливу механічних властивостей породних шарів (рис. 3.7): за підвищених механічних властивостей  $\beta_3 = 82^\circ$ , а за понижених  $\beta_3 = 76^\circ$ . Тобто, встановлені нами закономірності зміни кута  $\beta_3$  не протирічають існуючим дослідженням інших авторів.

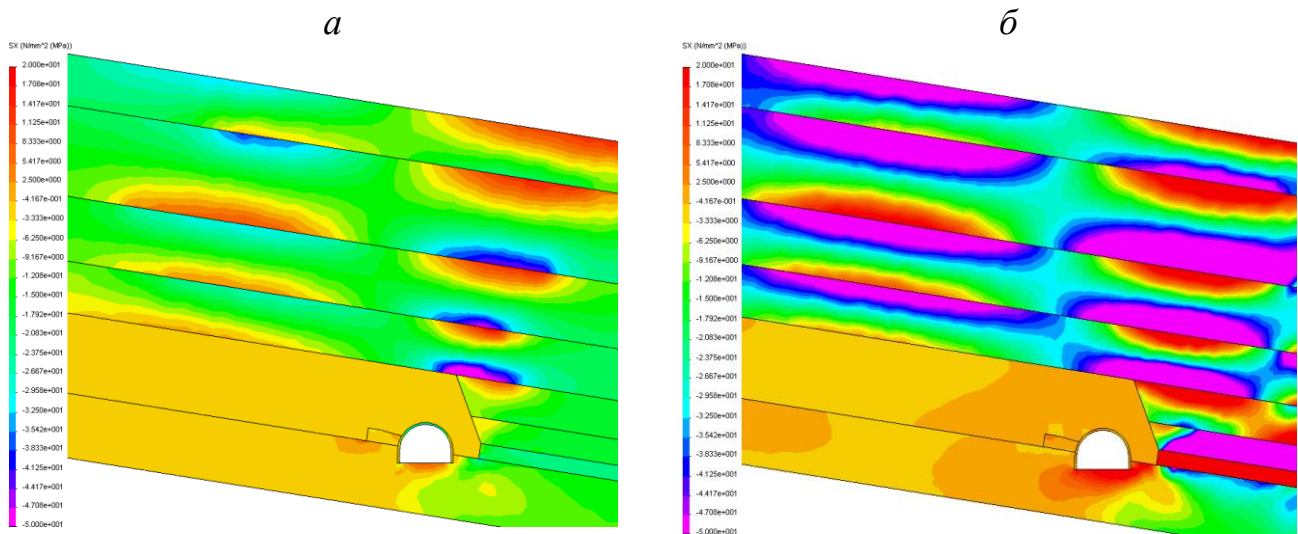


Рисунок 3.7 – Епюри горизонтальних напружень  $\sigma_z$  за варіантів модуля пружності  $E$  породних шарів [1]:  $a - E = 0,2 \cdot 10^4$  МПа;  $б - E = 2 \cdot 10^4$  МПа

Отримавши підтвердження надійності наших результатів були визначені (за стандартними методиками) рівняння регресії для розрахунку кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі.

Переважно тонко- і середньшарувата текстури:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_3 = 62,8 + 0,033 H, \text{ град}; \quad (3.11)$$

– усереднені механічні властивості

$$\beta_3 = 63,2 + 0,026 H, \text{ град}; \quad (3.12)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_3 = 56,6 + 0,036 H, \text{ град}; \quad (3.13)$$

Переважаю крупно- і середньшарувата текстури:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_3 = 52,3 + 0,041 H, \text{ град}; \quad (3.14)$$

– усереднені механічні властивості

$$\beta_3 = 53,0 + 0,033 H, \text{ град}; \quad (3.15)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_3 = 53,2 + 0,023 H, \text{ град}. \quad (3.16)$$

Отримані рівняння допомагають визначити координати доцільних трас дільничних дегазаційних свердловин, за яких дебіт газу метану прогнозується максимальним.

### **3.3 Вплив швидкості посування очисного вибою на НДС прилегло до лави гірського масиву**

#### **3.3.1 Загальні положення**

Досвід відпрацювання вугільних пластів у Західному Донбасі неодмінно вказує на те, що спостерігається вплив швидкості посування лави на процеси зсуву надвугільної товщі у вироблений простір. Власне, вплив  $V_n$  багаторазово зафіксований і в інших гірничо-геологічних умовах Донбасу [12], [14] – [16], так що це явище можна віднести до загальнопоширених, але в наших дослідженнях ми зосередилися саме на особливостях Західного Донбасу як у гірничо-геологічному, так і гірничотехнічному плані. Гірничо-геологічна складова особливостей полягає у слабких міцнісних і низьких деформаційних характеристиках літотипів вуглевмісної товщі порід з відносно міцними вугільними пластами; досить інтенсивній тріщинуватості породних шарів, їх переважно зволоженому стані і розвинених реологічних властивостях. Гірничотехнічна складова особливостей зумовлена застосуванням

високопродуктивного очисного обладнання і новітніх способів та засобів підтримки виїмкових виробок, що переважно можуть використовуватися повторно. Тому у Західному Донбасі регулярно досягаються досить великі швидкості посування очисних вибоїв  $V_L$ , що іноді складають до 10 м/добу.

З іншого боку, доведено, що за великих швидкостей посування  $V_L$  очисних вибоїв суттєво змінюється сам процес зсуву надвугільної товщі в районі лави: зменшуються максимуми і розміри зон фронтального та бокового опорного тиску; обмежується переміщення контуру виїмкових виробок та висота розповсюдження процесів розшарування, знеміцнення та втрати стійкості породних шарів надвугільної товщі. Цілком зрозуміло, що наведені тенденції будуть впливати і на параметри  $(\beta_1, \beta_3, a_{II})$  посування літотипів надвугільної товщі у вироблений простір. Тому постає завдання оцінити вплив швидкості  $V_L$  щодо більш об'єктивного прогнозування параметрів  $\beta_1, \beta_3$  і  $a_{II}$ , а через них – доцільних координат траси дільничних дегазаційних свердловин.

Вище вже було згадано про високі швидкості посування очисних вибоїв, що зазвичай стали нормою при відпрацюванні вугільних пластів у Західному Донбасі. Безумовно, у різній геомеханічній і технічній ситуаціях плануються і досягаються різні швидкості  $V_L$ , які у переважній більшості вкладаються в діапазон  $V_L = 5 - 10$  м/добу. Тому вважаємо за доцільне дослідити діапазон  $5 \leq V_L \leq 10$  м/добу.

Насамперед треба наголосити про велику математичну складність такого завдання, що неодноразово підкреслювалася фахівцями з моделювання динаміки ведення очисних робіт. Ця складність зумовлена необхідністю поєднання статичного розрахунку НДС з кінематичною складовою, що відображує зміну координат (у реальному часі) положення не тільки очисного вибою, а й виробленого простору й усіх інших елементів геомеханічної системи. Спроби вирішення такого завдання час від часу з'являються у гірничотехнічній літературі, але більшість з них страждає суттєвими недоліками (зазвичай схематичність, слабе обґрунтування припущень та ідеалізацій), мають дискретне вирішення і не

можуть бути поширені на певну зону гірничо-геологічних умов.

За означених обставин було обґрунтовано рішення про використання наступних методичних і технологічних прийомів проведення обчислювальних експериментів, які мають певну схематичність у своїх ідеалізаціях, але загалом відображають зміни НДС геомеханічних моделей за різних швидкостей посування очисного вибою. Один із таких прийомів містить визначення НДС моделі за фіксованими значеннями  $V_{л}$ , бо здійснити плавну зміну цього параметру (від мінімуму до максимуму) поки що не має можливості. З урахуванням визначеного діапазону зміни  $V_{л}$  було проведено три обчислювальні експерименти (на раніше побудованих геомеханічних моделях – див. рис. 2.4) за фіксованих величин  $V_{л} = 5, 8$  і  $10$  м/добу, але при вже неодноразово досліджених інших впливових факторах: глибина розташування лави, текстура і механічні властивості літотипів надвугільної товщі.

Нагадаємо, що три раніше досліджених варіанти механічних властивостей (понижені, усереднені та підвищені) не потребують побудови додаткових геомеханічних моделей, а різні обчислення виконуються тільки шляхом заміни одних механічних характеристик на інші в рамках однієї моделі. Врахування впливу глибини  $H$  розташування лави виконується теж у рамках однієї моделі й одного варіанту механічних властивостей літотипів. Таким чином, щоб охопити всю варіативність зміни впливових факторів нам потрібні лише дві моделі з двома граничними типами текстури (переважно тонко- і середньос шаруватої та переважно крупно- і середньос шаруватої), які вже були досліджені у попередніх розділах роботи.

Залишається питання відображення у вихідних даних різної швидкості  $V_{л}$  посування очисного вибою. Тут головне припущення обґрунтовано за такими уявленнями. Дія аномалій гірського тиску і процесу зсуву надвугільної товщі відбувається у часі; наприклад, зона дії фронтального опорного тиску пересувається попереду лави і час її дії обернено пропорційній швидкості  $V_{л}$ ; теж саме стосується процесів розташування та обвалення порід надвугільної товщі.

Час навантаження (розвантаження) – реологічний показник, за якого змінюються механічні, а, насамперед, деформаційні характеристики слабометаморфізованих літотипів, схильних до активних реологічних деформацій. Тому зроблено припущення, що за великої швидкості посування очисного вибою будуть мінімальні прояви реологічних властивостей і їх деформаційні характеристики сягають максимальних значень і, навпаки, за низьких швидкостей  $V_d$  деформаційні характеристики літотипів знизяться під дією реологічного фактору. Така якісна тенденція набула кількісних значень при використанні широкомасштабних досліджень реологічних властивостей [7], [8] саме для порід Західного Донбасу. Один з важливих результатів цих досліджень полягає в тому, що, як стверджують автори, при деформаціях вигину модулі пружності породних шарів мають найінтенсивніше падіння своєї величини у часі навантаження, а саме деформації вигину є найвпливовішим фактором процесів зсуву надвугільної товщі. Дослідженнями [7], [8] встановлено, що у часі навантаження модулі пружності породних шарів знижуються до чотирьох разів і більше залежно від літотипу та його рівня навантаження відносно опору стиску.

Рівень зменшення модулів пружності породних шарів визначається за діаграмами деформування літотипів у координатах «відносна деформація – час», які були взяті з досліджень [7], [8]. Час дії опорного тиску визначається за довжиною його розповсюдження уздовж виїмкової виробки (координата  $X$ ), яка ділиться на швидкість  $V_d$  посування лави; час дії процесу найбільш активного розвантаження позаду лави визначається тим самим шляхом за умови довжини цієї ділянки  $X_d = 20$  м, що була визначена у попередньому розділі (див. рис. 2.8). Далі за реологічним графіком визначається конкретна деформація  $\varepsilon_i$  (за визначеним раніше часом дії аномалій гірського тиску).

Для пояснення алгоритму дій на рис. 3.8 наведено схему визначення модуля пропорційності  $E_i$  залежно від величини  $\varepsilon_i$ , яка для трьох швидкостей посування лави ( $V_d = 5, 8, 10$  м/добу) проіндексована наступним чином:  $\varepsilon_5, \varepsilon_8, \varepsilon_{10}$  ( $i = 5, 8, 10$ ). Одночасно з падінням  $E_i$  у часі навантаження відбувається

зменшення опору породи на стиск  $\sigma_{cm}$ : ці величини на схемі позначено  $\sigma_5$ ,  $\sigma_8$ ,  $\sigma_{10}$ . Величина плинного опору стиску  $\sigma_i$  визначається за загальновідомими співвідношеннями теорії пружно-спадкової повзучості [7], [8], які у перетвореному вигляді можна записати так

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_{cm}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{np}}{\varepsilon_i}}, \quad (3.17)$$

де  $\sigma_{cm}$  – опір породи на стиск;

$\varepsilon_{np}$  – пружні деформації породи.

$$\varepsilon_{np} = \frac{\sigma_{cm}}{E_{np}}. \quad (3.18)$$

У результаті викладеної послідовності дій за формулою

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad (3.19)$$

визначаються модулі пропорційності  $E_5$ ,  $E_8$ ,  $E_{10}$ , які вводять у розрахункову базу вихідних даних обчислювальних експериментів.

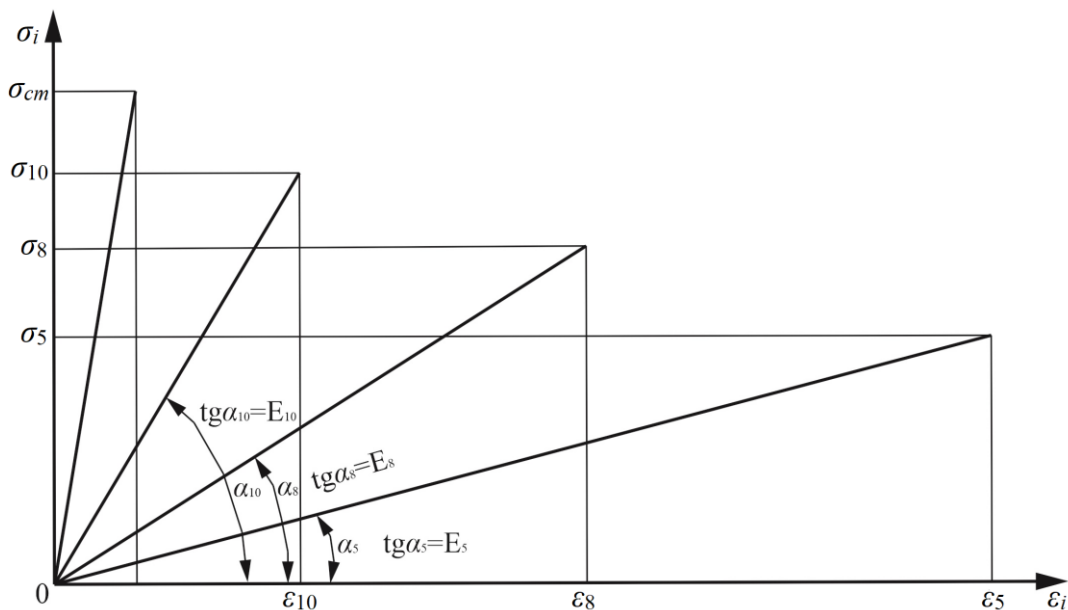


Рисунок 3.8 – Схема до визначення модуля пропорційності  $E_i$  залежно від швидкості  $V_n$  посування лави: індекси при  $\sigma_i$  і  $\varepsilon_i$  відповідають  $V_n = 5, 8, 10$  м/добу

До викладених методичних положень додається ще одне – порівняння параметрів  $\beta_1$ ,  $\beta_3$ ,  $a_{II}$  зсуву надвугільної товщі відбувається за усереднених механічних властивостей її літотипів, що суттєво скорочує кількість обчислювальних експериментів. У той же час, врахування впливу механічних властивостей породних шарів надвугільної товщі здійснено за допомогою графіків і рівнянь регресії, наведених у §3.2.

### 3.3.2 Закономірності зміни параметрів $\beta_1$ і $a_{II}$ зсуву в напрямку падіння-підняття

Розроблені методичні прийоми реалізовані при проведенні трьох обчислювальних експериментів для трьох значень швидкості посування очисного вибою:  $V_{\text{л}} = 5, 8$  і  $10$  м/добу. Отримані епюри компонент НДС гірського масиву навколо лави дозволити визначити вплив  $V_{\text{л}}$  на два параметри ( $\beta_1$  і  $a_{II}$ ) зсуву надвугільної товщі, що нас цікавлять з точки зору обґрунтування найбільш доцільних трас дегазаційних свердловин.

Насамперед проаналізовані тенденції впливу швидкості посування лави на кут  $\beta_1$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі. Раніше було визначено, що обчислення проводяться для усереднених механічних характеристик породних шарів, а вплив цього фактора на інші умови враховується за графіками або рівняннями регресії, викладених у §3.2.

Попередні розрахунки виявили стабільні тенденції впливу  $V_{\text{л}}$  на кут  $\beta_1$  незалежно від інших важливих геомеханічних факторів (глибина  $H$  розташування лави, текстура і механічні властивості породних шарів надвугільної товщі). Ця особливість наштовхнула на думку зобразити вплив  $V_{\text{л}}$  як окрему функцію, що додається у якості множника до вже існуючих рівнянь (3.1) – (3.4). Даний висновок підтвердився при аналізі закономірностей впливу  $V_{\text{л}}$  на кут  $\beta_1$ , які відображені на графіках (у координатах  $\beta_1 - H$ ), що побудовані (рис. 3.9) для усереднених механічних характеристик і двох граничних типів текстури надвугільної товщі. При порівнянні двох значень швидкості  $V_{\text{л}}$  (5 і 8 м/добу)

стабільно спостерігається зниження кута  $\beta_1$  у діапазонах  $5,2 - 7,3^\circ$  для переважно крупно- і середньосаруватої текстури та  $2,4 - 8,6^\circ$  для переважно тонко- і середньосаруватої текстури. При цьому зазначимо досить постійну (майже незалежну від  $H$ ) величину зниження кута  $\beta_1$  у середньому на  $8 - 9\%$ . Такі ж самі тенденції простежуються при порівнянні функції  $\beta_1(H)$  при  $V_l = 5$  і  $10$  м/добу – спостерігається досить стабільне зниження кута  $\beta_1$  на  $13 - 15\%$  незалежно від глибини  $H$  і типу текстури надвугільної товщі.

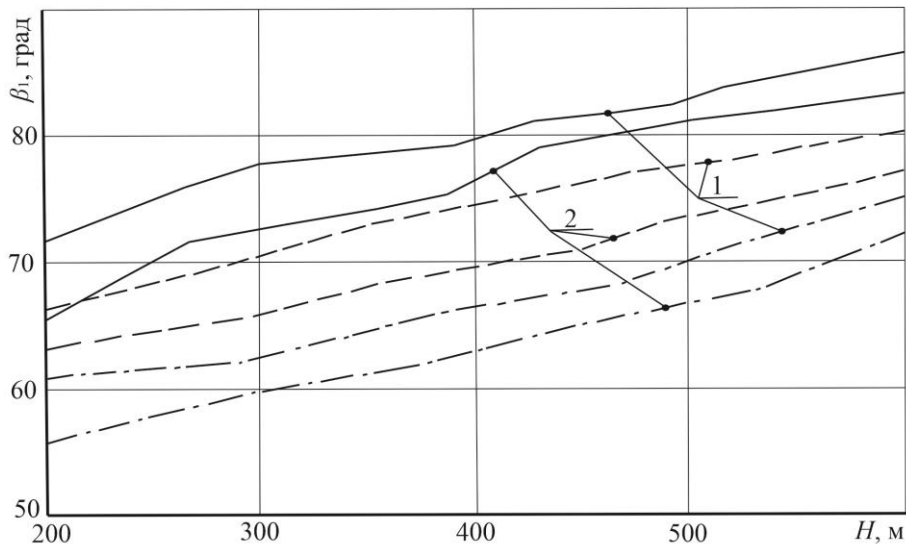


Рисунок 3.9 – Залежність кута нахилу  $\beta_1$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі від глибини  $H$  розташування лави: 1 – переважно тонко- і середньосарувата текстури; 2 – переважно крупно- і середньосарувата текстури; швидкість просування лави: —  $V_l = 5$  м/добу; - - - -  $V_l = 8$  м/добу; - · - · -  $V_l = 10$  м/добу

Отримані особливості впливу швидкості  $V_l$  просування лави дозволили виконати врахування дії параметра  $V_l$  єдиною функцією  $K_{V_l}$ , яка має наближений до лінійного вигляд

$$K_{V_l} = 1,14 - 0,028 V_l. \quad (3.20)$$

При користуванні залежністю (3.20) значення  $V_l$  мають розмірність м/добу; також треба зазначити, що безрозмірний параметр  $K_{V_l}$  визначений як відношення



кута  $\beta_1$  за довільною швидкістю  $V_n$  до значення  $\beta_1$  при  $V_n = 5$  м/добу, – тому за цього «базового» значення  $K_{V_n} = 1,0$ .

Інший ключовий параметр зсуву надвугільної товщі за падінням-підняттям – це відстань  $a_{II}$  максимального вигину пісковиків (або інших найбільш жорстких літотипів) у привибійній зоні лави. Для визначення тенденцій впливу швидкості  $V_n$  посування лави використані ті ж самі результати розрахунку НДС вуглевмісного масиву, а саме досліджені два граничних типи текстур надвугільної товщі з усередненими механічними властивостями при трьох значеннях  $V_n = 5, 8, 10$  м/добу. Зв'язок параметрів  $a_{II}$  і  $V_n$  показаний на відповідних графіках рис. 3.10 і характеризується таким чином.

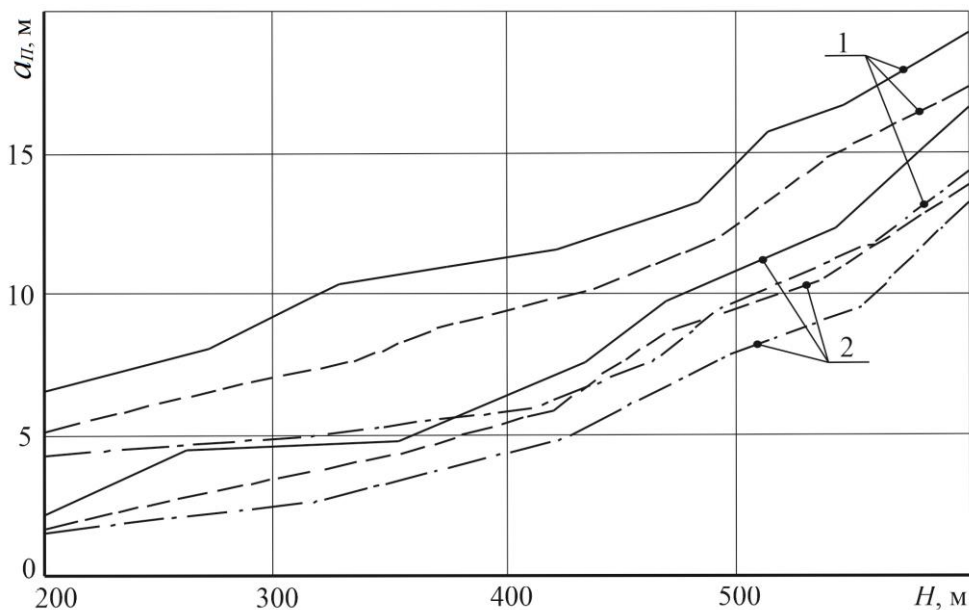


Рисунок 3.10 – Залежність відстані  $a_{II}$  максимального вигину пісковиків у привибійній зоні від глибини  $H$  розташування лави: 1 – переважно тонко- і середньосарувата текстури; 2 – переважно крупно- і середньосарувата текстури; швидкість посування лави: —  $V_n = 5$  м/добу; - - -  $V_n = 8$  м/добу; - · - · -  $V_n = 10$  м/добу

По-перше, не порушується раніше встановлена тенденція нелінійного зростання  $a_{II}$  при підвищенні глибини  $H$  розташування лави, механізм розвитку якої вже був обґрунтований у попередніх дослідженнях. По-друге, розроблений

механізм зсуву надвугільної товщі прогнозує, а результати обчислень її НДС переконливо доводять про наближення відстані  $a_{II}$  до очисного вибою при підвищенні швидкості  $V_L$  його посування. Отримані такі показники: при порівнянні величини  $a_{II}$  щодо  $V_L = 8$  і  $5$  м/добу наближення (зменшення  $a_{II}$ ) склало  $1,5 - 2,8$  м для переважно для тонко- і середньошаруватої текстури та  $0,5 - 2,8$  м для переважно крупно- і середньошаруватої текстури; у відносному вимірі це наближення відбулося у середньому на  $13 - 14\%$  незалежно до означених типів текстур. Усереднене відносне зниження  $a_{II}$  при порівнянні  $V_L = 10$  і  $5$  м/добу зафіксоване на рівні  $20 - 24\%$  також майже незалежно від типу текстури надвугільної товщі. Такі тенденції дають змогу ввести єдину функцію впливу швидкості посування  $V_L$  лави, що дозволяє розрахувати  $a_{II}$  у порівнянні

$$C_{V_L} = 1,22 - 0,044V_L \quad (3.21)$$

з «базовою» швидкістю  $V_L = 5$  м/добу.

Узагальнюючи наведені результати можна стверджувати про виявлення та визначення закономірностей зміни параметрів ( $\beta_1$ ,  $a_{II}$ ) зсуву надвугільної товщі (у напрямку падіння-підняття) з комплексним урахуванням геомеханічних (глибина розташування лави, текстура і механічні властивості літотипів) і технологічних (швидкість посування лави) факторів. Достовірне прогнозування  $\beta_1$  і  $a_{II}$  дозволяє обґрунтовано визначити координати доцільних трас розташування дільничних дегазаційних свердловин.

### 3.3.3 Закономірності зміни параметра $\beta_3$ зсуву у напрямку простягання

Позаду лави процес обвалення надвугільної товщі у напрямку простягання вугільного пласта (характеризується кутом  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів) теж залежить від швидкості посування  $V_L$  очисного вибою, що багаторазово зафіксовано експериментальними дослідженнями за непрямыми показниками: навантаження на секції механізованого кріплення у лаві та посування контуру виїмкової виробки. Загальновідомо, що найбільш активні

посування надвугільної товщі у вироблений простір відбуваються на прилеглий до лави ділянці виїмкової виробки до 20 м і цей факт створює деякі відмінності впливу швидкості  $V_l$  на кут  $\beta_3$ . Сутність механізму появи відмінностей міститься у наявності двох наближених зон непідробленого масиву – попереду лави і збоку біля її межі з виїмковою виробкою. Як відомо ці зони стримують процес зсуву надвугільної товщі за рахунок власної, хоча і часткової цілісності текстури. Це стримуюча дія ще підсилюється опором охоронної конструкції виїмкової виробки, яка зводиться відразу за огороженням секцій механізованого кріплення. Таким чином, процесу обвалення породних блоків в основній покрівлі пласта частково протидіють дві опорні поверхні і їх сумарний вплив дещо стримує розвиток зсуву, що можна побачити при порівнянні кутів  $\beta_1$  і  $\beta_3$ : кут  $\beta_3$  зазвичай має меншу величину, ніж кут  $\beta_1$ . Тобто, за напрямком простягання вугільного пласта утворюються в основній покрівлі породні блоки підвищеної довжини, ніж за напрямком падіння.

З точки зору впливу швидкості  $V_l$  посування лави її підвищена величина обмежує розшарування і знеміцнення літотипів надвугільної товщі, що підсилює стійкість породних блоків, довжина їх вильоту збільшується і кут  $\beta_3$  зменшується. Оскільки швидкість  $V_l$  посування лави діє на обмеження деформування літотипів як попереду очисного вибою, так і в боковому масиві, то сумарний вплив  $V_l$  підсилюється.

Такий прогноз тенденцій впливу швидкості  $V_l$  посування лави на кут  $\beta_3$  підтвердили результати розрахунків НДС геомеханічних моделей, що наведені у вигляді графіків на рис. 3.11. Тут використанні ті ж самі варіанти текстури, механічних властивостей і значень  $V_l$ , що досліджувалися раніше. При порівнянні двох швидкостей ( $V_l = 8$  і  $5$  м/добу) зафіксовано зниження величини кута  $\beta_3$  на  $12,0 - 13,2^\circ$  (у діапазоні зміни глибини  $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$ ), що у відносному вимірі склало  $16,8 - 17,6\%$  в умовах переважно тонко- і середньошаруватої текстури; для крупно- і середньошаруватої текстури абсолютне зниження відбулося на  $11,5 - 12,7^\circ$ , а відносне падіння – на  $17,5 - 19,7\%$ . При порівнянні більшої швидкості

$V_l = 10$  м/добу посування лави з так званою «базовою»  $V_l = 5$  м/добу маємо таке відносне зниження кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі: при переважно тонко- і середньшаруватій текстурі – на 29,9 – 32,1%, при переважно крупно- і середньшаруватій текстурі падіння  $\beta_3$  дуже стабільне – на рівні 28,6 – 28,7%.

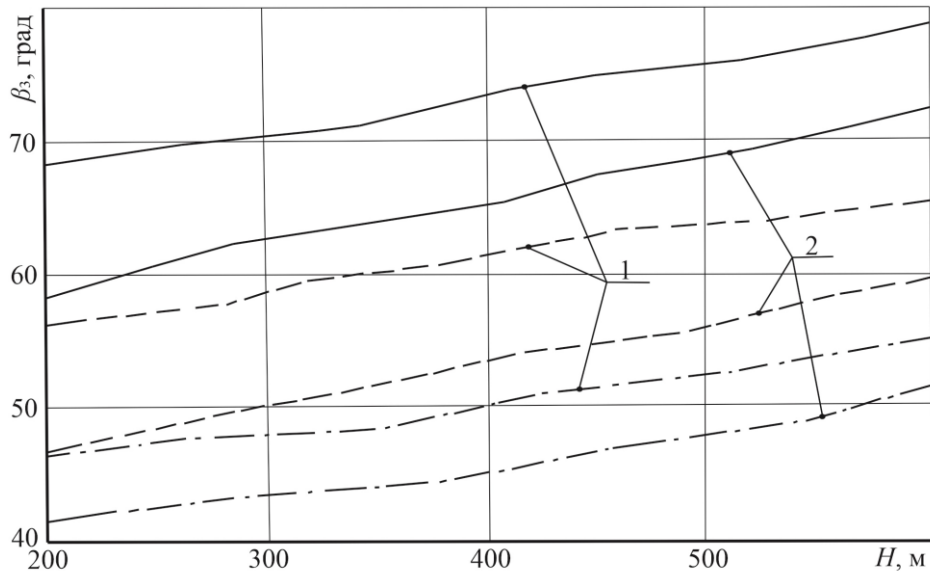


Рисунок 3.11 – Залежність кута нахилу  $\beta_3$  лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі від глибини  $H$  розташування лави: 1 – переважно тонко- і середньшарувата текстури; 2 – переважно крупно- і середньшарувата текстури; швидкість посування лави: —  $V_l = 5$  м/добу; - - - -  $V_l = 8$  м/добу; - · - · -  $V_l = 10$  м/добу

Аналізуючи графіки на рис. 3.11, зроблено висновок про дуже наближену до лінійної функцію впливу швидкості  $V_l$  на величину кута  $\beta_3$ . Проведений кореляційно-дисперсійний аналіз підтвердив цей висновок і запропоновано таке рівняння регресії щодо безрозмірного коефіцієнту впливу  $N_{V_l}$ , який є множником у загальних залежностях щодо розрахунку кута  $\beta_3$

$$N_{V_l} = 1,31 - 0,062V_l. \quad (3.22)$$

Підсумовуючи результати виконаних досліджень можна стверджувати про повне і комплексне визначення закономірностей впливу геомеханічних і

технологічних факторів на параметри зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу. Отримані рівняння регресії дозволяють обґрунтувати доцільні траси буріння дільничних дегазаційних свердловин.

### **3.4 Обґрунтування критеріїв і вибір параметрів розташування дільничних дегазаційних свердловин за результатами обчислювальних експериментів**

Загальне завдання проведення обчислювальних експериментів мало за мету визначення закономірностей утворення та зміни зон найбільших природніх та техногенних порушень порід надвугільної товщі, де відбувається їх інтенсивне розшарування, додаткова тріщинуватість, поява порожнин та ін. Ці порушення текстури надвугільної товщі (за існуючими уявленнями) є найбільш активним провідником газу метану з порід покрівлі до порожнини лави і виїмкової виробки; тому ефективна дегазація напряму пов'язана з доцільним розташуванням дегазаційних свердловин в означених зонах. Відповідно до таких міркувань виникла потреба в обґрунтуванні критеріїв визначення доцільних трас дільничних дегазаційних свердловин.

#### **3.4.1 Критерії визначення доцільних трас розташування дегазаційних свердловин**

За результатами виконаних досліджень обґрунтовано умови ефективного розташування дегазаційних свердловин, які можна узагальнити таким чином:

– за простяганням вугільного пласта траса свердловини розташовується в області зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі, координати якої характеризуються кутом  $\beta_3$ , що має зростання на відстані до 20 м від лави, а далі стабілізуються на певному рівні (див. рис. 2.8);

– кут  $\beta_3$  є змінною величиною і залежить від низки факторів (глибина розташування лави, текстура і механічні властивості породних шарів надвугільної товщі, швидкість посування очисного вибою), вплив яких повністю встановлений у вигляді графічних залежностей та рівнянь регресії;

– за падінням вугільного пласта кут розвороту дегазаційної свердловини і кут її нахилу (за підняттям) залежать від відповідних параметрів  $\beta_1$  і  $a_{II}$  зсуву надвугільної товщі, які також комплексно визначено за різних геомеханічних і технологічних факторів;

– траса дегазаційної свердловини за підняттям повинна перетинати області зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі (за падінням), а також тріщини у пісковіку, що розділяється над порожниною лави на блоки довжиною  $a_{II}$ ;

– довжина  $L_{cv}$  дегазаційної свердловини визначається висотою  $H_m$  розміщення у зоні плавного вигину шарів метанонасичених літотипів, але величина  $L_{cv}$  не повинна перевищувати технічно доцільних глибин буріння відповідного обладнання з урахуванням свого похилого напрямку;

– наближення до лави місця буріння дегазаційної свердловини повинно бути мінімальним  $L_1$  з урахуванням технічних і технологічних заходів та операцій вуглевидобутку;

– відстань  $L_2$  між гирлами дегазаційних свердловин визначається технічно-організаційними заходами та експериментальним вимірюванням дебіту газу з подальшим встановленням раціональної величини;

– доцільна кількість працюючих дегазаційних свердловин встановлюється за експериментальними вимірюваннями дебіту газу; за попереднім прогнозом процес свердловинної дегазації найбільш ефективний на ділянці до 40 м позаду лави, що зумовлює потрібну кількість працюючих свердловин і відстань послідовного демонтажу дегазаційного трубопроводу.

Перелічені позиції щодо оптимізації координат розташування дегазаційних свердловин знайшли відображення у конкретних критеріях та умовах.

По-перше, розглянемо умови доцільного розташування дегазаційних свердловин за простягання вугільного пласта, до яких для більшої наочності побудовано схему (рис. 3.12) деформування породних шарів зони шарнірно-блокового зсуву у вироблений простір відразу після проходження лави. Головна умова, – щоб траса

дегазаційної свердловини перетинала область зміни знаку кривизни вигину пісковика як одного з основних «носіїв» газу метану. За поширеними геомеханічними уявленнями цей критерій забезпечує найбільш ефективну дегазацію, бо свердловина проходить крізь найбільш тріщинувату зону газонасиченого пісковика; центр зони позначений точкою  $A$  на схемі рис. 3.12. Виконання означеного критерія забезпечується кутом нахилу  $\beta_4$  дегазаційної свердловини, який визначається відповідно до схеми такими параметрами:  $\beta_3$ ,  $C_1$ ,  $h_{II}$ ,  $Ш_{ox}$ ,  $Ш_{об}$ . Прогнозування кута  $\beta_3$  виконано у попередніх дослідженнях. Відстань  $C_1$  між лініями повних посувань надвугільної товщі і зміни знаку кривизни вигину її літотипів визначена за результатами аналізу НДС гірського масиву, що отримані шляхом проведення низки обчислювальних експериментів на базі МСЕ; власні дослідження вказують на найбільш поширений діапазон варіації  $C_1 = 2,0 - 3,0$  м, що підтверджується існуючими дослідженнями [1]. Висота  $h_{II}$  розташування пісковика (відносно подошви вугільного пласта) визначається за даними гірничо-геологічного прогнозу. Ширина охоронної системи  $Ш_{ox}$  виїмкового штреку, що планується використовувати повторно, визначається технічною документацією на виконання очисних робіт і, зазвичай, складає 0,8 – 1,5 м для умов Західного Донбасу. Відстань  $Ш_{об}$  розташування бурового обладнання від робочого борта штреку визначається паспортом дегазації виїмкової ділянки. Розрахунок кута  $\beta_4$  буде наведено у наступному підпараграфі.

По-друге, одним з основних параметрів траси дегазаційної свердловини є кут  $\beta_5$  її розвороту по відношенню до напрямку штреку, тобто, за падінням-підняттям вугільного пласта. Критерій визначення раціонального кута  $\beta_5$  полягає у перетині трасою дегазаційною свердловини точки  $A$ : для наочного уявлення на рис. 3.13 наведено відповідну схему (вид зверху). Тут бачимо, що кут  $\beta_5$  залежить від наступних параметрів –  $\beta_1$ ,  $C_2$ ,  $h_{II}$ ,  $L_{об}$ . Кут  $\beta_1$  визначений у попередніх дослідженнях. Відстань  $C_2$  (за падінням вугільного пласта) між лініями повних посувань надвугільної товщі і зміни знаку кривизни вигину її

літотипів має той самий діапазон зміни ( $C_2 = 2,0 - 3,0$  м), що і параметр  $C_1$ ; ці дані також встановлені за результатами виконання обчислювальних експериментів. Відстань  $L_{об}$  розташування бурового обладнання від гирла свердловини визначається за паспортом дегазації виїмкової ділянки.

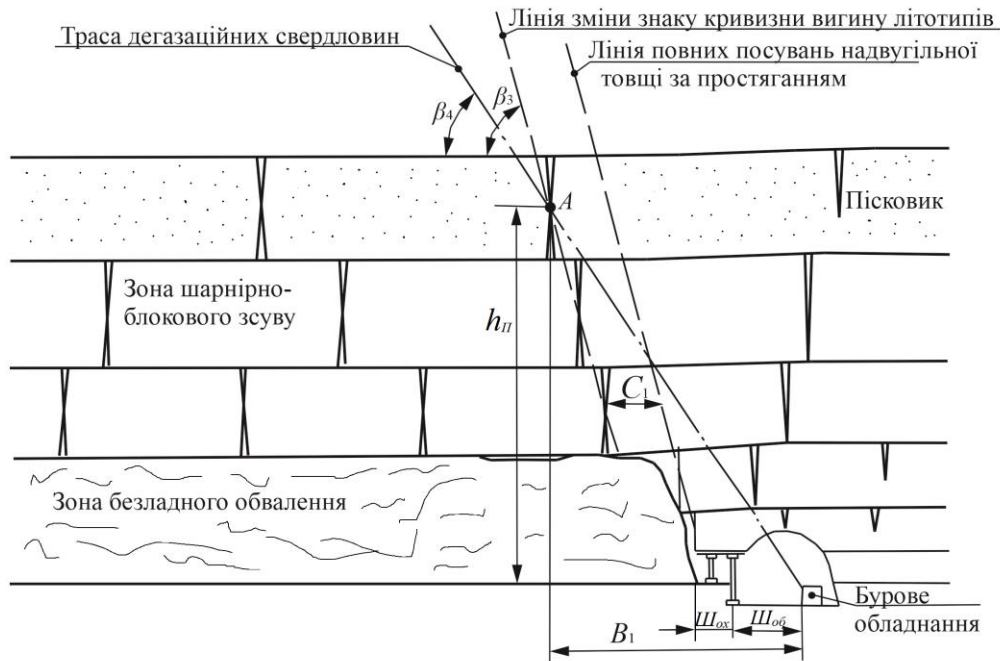


Рисунок 3.12 – Схема до визначення кута  $\beta_4$  нахилу траси дегазаційних свердловин за простяганням

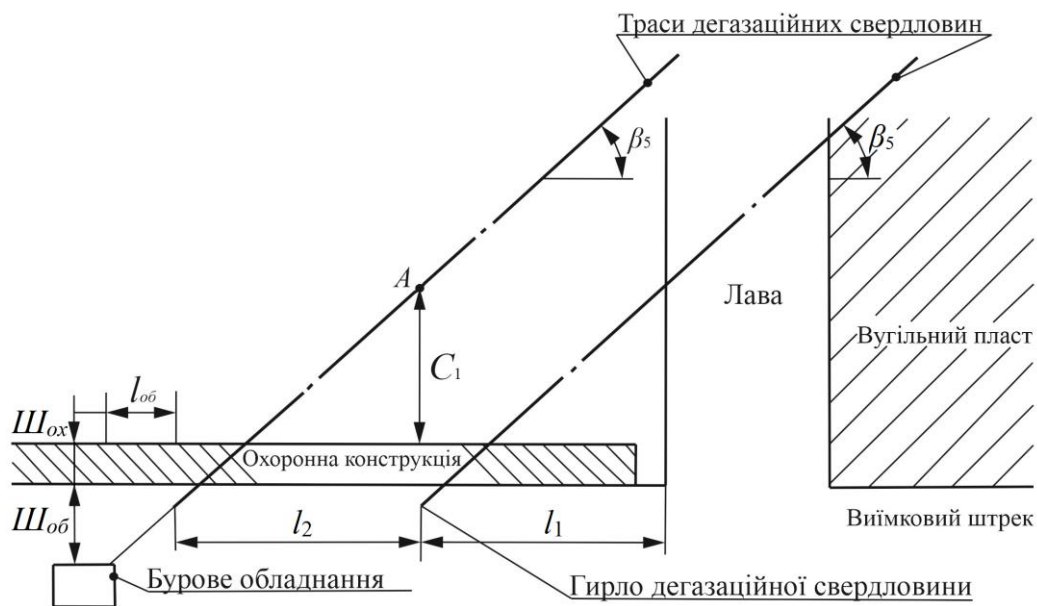


Рисунок 3.13 – Схема до визначення кута  $\beta_5$  розвороту дегазаційних свердловин у напрямку підняття вугільного пласта



По-третє, за падінням пласта траса другої дегазаційної свердловини повинна перетинати область зміни знаку кривизни вигину пісковика, де утворюється найбільш інтенсивна тріщинуватість, а перша (від лави) свердловина перетинає область максимального вигину пісковика (над огороженням секцій механізованого кріплення), де теж має місце інтенсивна тріщинуватість. Обидві зони тріщин знаходяться на відстані  $a_{\text{П}}$  – довжини породного блока пісковика, як це показано на схемі рис. 3.14. За таких умов шляхом простих геометричних побудов визначаються кут  $\beta_6$  нахилу дегазаційної свердловини за підняттям і відстані  $L_1$  і  $L_2$ , що у штреку позначені як гирла свердловин, де має бути початок їх буріння. Для розрахунку параметрів  $\beta_6$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  використовуються такі показники:  $\beta_1$ ,  $h_{\text{П}}$ ,  $C_2$ ,  $a_{\text{П}}$ .

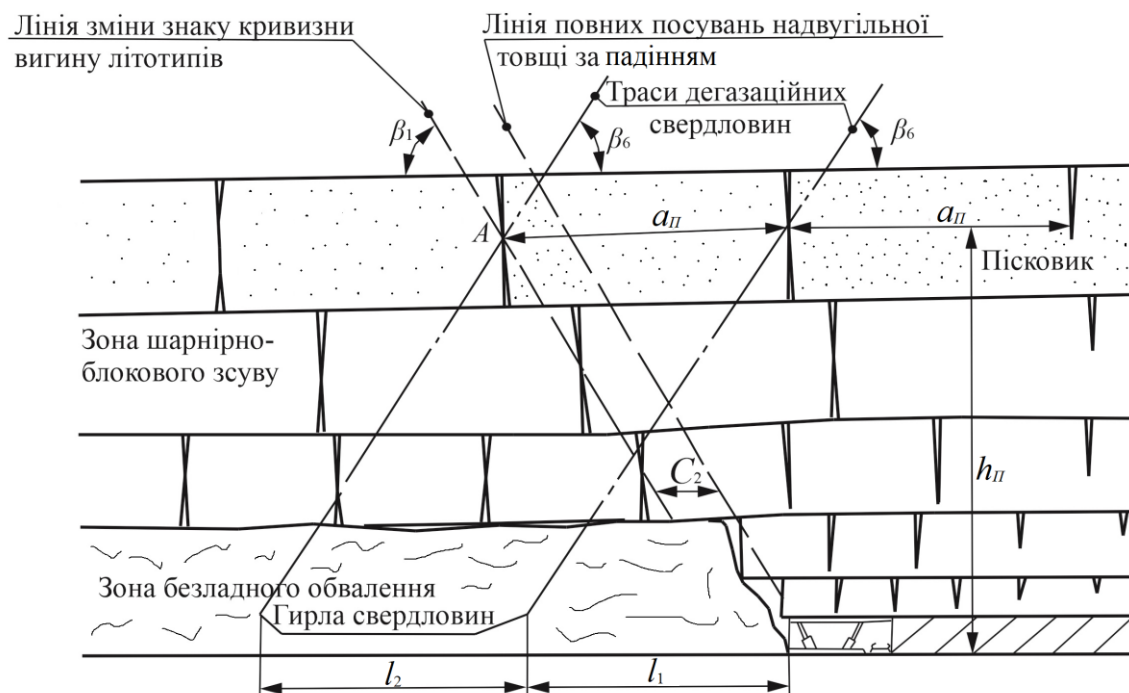


Рисунок 3.14 – Схема до визначення параметрів розташування дегазаційних свердловин за падінням вугільного пласта

По-четверте, довжина  $L_{\text{св}}$  дегазаційної свердловини визначається за критерієм перетину газонасичених літотипів (зазвичай вугільний пласт і пісковик) у віддалених зонах основної покрівлі, де відбувається плавний вигин породних

шарів без порушення суцільності. Для цього використовується кут  $\beta_6$  нахилу дегазаційної свердловини та висота  $H_m$  розташування метанонасичених літотипів. Довжина  $L_{ce}$  обмежується технічними і технологічними показниками бурового обладнання, – зазвичай  $L_{ce} \leq 50 - 60$ м.

По-п'яте, наведені критерії та умови доцільних координат траси дегазаційних свердловин визначені за результатами моделювання МСЕ. Сформовані рекомендації у подальших дослідженнях проходять перевірку в шахтних умовах з їх корегуванням (за потреби) та визначенням доцільної кількості працюючих дегазаційних свердловин позаду лави. Це дозволяє обґрунтувати ефективну довжину ділянки дегазації.

### **3.4.2 Методика вибору параметрів розташування дегазаційних свердловин за результатами моделювання МСЕ**

Методику сформовано за результатами аналізу розрахунків НДС вуглевмісного масиву навколо кінцевої ділянки лави; ці дослідження виконано шляхом проведення низки обчислювальних експериментів на базі МСЕ і надані рекомендації та висновки будуть скореговані за результатами шахтних експериментів.

Вихідними даними для розрахунку є відомості про глибину  $H$  ведення очисних робіт, текстуру та механічні властивості порід надвугільної товщі, заплановану швидкість посування  $V_d$  лави, схему розміщення обладнання для буріння дільничних дегазаційних свердловин. Перелічені відомості отримуються з гірничо-геологічного прогнозу на виїмкову дільницю, що відпрацьовується, паспорту лави та паспорту дегазації.

Розрахунок раціональних параметрів розташування дегазаційних свердловин має таку послідовність.

1. Визначаються кути нахилу ліній зміни знаку кривизни вигину літотипів за падінням  $\beta_1$  та простяганням  $\beta_3$  вугільного пласта.

Переважно тонко- і середньшарувата текстура:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_{\lambda}} (136,3 - 133,3 H^{-0,15}); \quad (3.23)$$

$$\beta_3 = N_{V_{\lambda}} (62,8 + 0,033 H); \quad (3.24)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_{\lambda}} (175,8 - 242,5 H^{-0,15}); \quad (3.25)$$

$$\beta_3 = N_{V_{\lambda}} (56,6 + 0,036 H). \quad (3.26)$$

Переважно крупно- і середньшарувата текстура:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_{\lambda}} (169 - 262,5 H^{-0,18}); \quad (3.27)$$

$$\beta_3 = N_{V_{\lambda}} (52,3 + 0,041 H); \quad (3.28)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_{\lambda}} (56,9 + 0,039 H); \quad (3.29)$$

$$\beta_3 = N_{V_{\lambda}} (53,2 + 0,023 H), \quad (3.30)$$

$$\text{де } K_{V_{\lambda}} = 1,14 - 0,028 V_{\lambda}; \quad (3.31)$$

$$N_{V_{\lambda}} = 1,31 - 0,062 V_{\lambda}. \quad (3.32)$$

У рівняннях (3.23) – (3.30) глибина  $H$  підставляється у метрах, а кути  $\beta_1$  і  $\beta_3$  вираховуються у градусах; у рівняннях (3.31) і (3.32) швидкість посування лави  $V_{\lambda}$  має розмірність м/добу.

У випадку гірничо-геологічних умов усередненої текстури або усереднених механічних властивостей літотипів надвугільної товщі береться також усереднене значення між двома граничними розрахунками.

2. Розраховується величина  $a_{\Pi}$  відстані максимального вигину пісковиків у привибійній зоні, що також дорівнює довжині блоку пісковика у зоні шарнірно-блокового зсуву.

При висоті розміщення пісковика (від подошви вугільного пласта)  $h_{\Pi} \geq 12 - 15$  м і його потужності  $m_{\Pi} \leq 2 - 3$  м:

– для умов підвищених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_l} \left[ 3,2 + 0,27 \left( \frac{H}{100} \right)^{2,06} \right]; \quad (3.33)$$

– для умов понижених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_l} \left[ 5,6 + 0,54 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,92} \right]. \quad (3.34)$$

При висоті розміщення пісковика  $h_{II} < 10$  м і його потужності  $m_{II} \geq 6 - 8$  м:

– для умов підвищених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_l} \left[ 1,5 + 0,25 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,77} \right]; \quad (3.35)$$

– для умов понижених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_l} \left[ 4,2 + 0,43 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,45} \right], \quad (3.36)$$

$$\text{де } c_{V_l} = 1,22 - 0,044 V_l. \quad (3.37)$$

У рівняннях (3.33) – (3.36) величина  $a_{II}$  розраховується в метрах.

3. Визначається кут  $\beta_4$  нахилу траси дегазаційної свердловини за простяганням вугільного пласта

$$\beta_4 = \arctg \frac{h_{II}}{h_{II} \operatorname{ctg} \beta_3 + C_1 + III_{ox} + III_{об}}, \quad (3.38)$$

де  $h_{II}$  – висота розташування пісковика від підшови вугільного пласта;

$C_1$  – відстань між лінією повних посуень надвугільної товщі і лінією зміни знаку кривизни вигину її літотипів за простяганням вугільного пласта; зазвичай  $C_1 = 2,0 - 3,0$  м;

$III_{ox}$  – ширина охоронної системи виїмкового штреку; визначається паспортом відпрацювання виїмкової ділянки; зазвичай  $III_{ox} = 0,8 - 1,5$  м для умов Західного Донбасу;

$Ш_{об}$  – відстань розташування бурового обладнання від робочого борту штреку.

4. Розраховується кут  $\beta_5$  розвороту дегазаційних свердловин у напрямку підняття вугільного пласта

$$\beta_5 = \text{arcctg} \frac{C_1 + Ш_{ox} + Ш_{об}}{h_{\Pi} \text{ctg} \beta_1 + C_2 + L_{об}}, \quad (3.39)$$

де  $C_2$  – відстань між лінією повних посуень надвугільної товщі і лінією зміни знаку кривизни вигину її літотипів за падінням вугільного пласта; зазвичай  $C_2 = 2,0 - 3,0$  м для умов Західного Донбасу;

$L_{об}$  – відстань розташування бурового обладнання від гирла свердловини; визначається за паспортом дегазації виїмкової ділянки.

5. Визначається кут  $\beta_6$  нахилу траси дегазаційної свердловини до площини нашарування вугільного пласта

$$\beta_6 = \text{arctg} \frac{h_{\Pi} \sin \beta_5}{C_1 + Ш_{ox} + Ш_{об}}. \quad (3.40)$$

6. Розраховується відстань першої свердловини від огороження секції механізованого кріплення  $L_1$  і відстань  $L_2$  між гирлами наступних свердловин

$$L_1 = h_{\Pi} \text{ctg} \beta_6 + C_2; \quad (3.41)$$

$$L_2 = a_{\Pi}. \quad (3.42)$$

7. Довжина свердловини  $L_{cv}$  визначається за формулою

$$L_{cv} = \frac{H_m}{\sin \beta_6} + \Delta_{пер}, \quad (3.43)$$

де  $H_m$  – висота (від підошви вугільного пласта) розташування метанонасичених літотипів у основній покрівлі вугільного пласта; визначається за гірничо-геологічним прогнозом для виїмкової ділянки;

$\Delta_{пер}$  – довжина перебуру свердловини; зазвичай  $\Delta_{пер} = 2,0 - 3,0$  м.

Таким чином, розроблена методика дозволяє обґрунтувати доцільні параметри трас діляничних дегазаційних свердловин на базі визначення

закономірностей впливу геомеханічних та технологічних параметрів на показники зсуву надвугільної товщі в умовах Західного Донбасу.

Для швидкого розрахунку параметрів в умовах виробництва використано програмне середовище та створено програму Microsoft Visual Studio Community 2022 (Додаток А). Щоб розробити цю програму, необхідне знання мови програмування C# та проєкт консольного застосунку. Застосунок побудований на базі функціонального програмування з використанням базових понять мови. Змінна охоплює достатній діапазон пам'яті комп'ютера, щоб належним чином відображати зміст. В коментарях до скріншотів є пояснення кожної змінної та її значення у ході виконання програми. Приклад розрахунку за розробленою методикою наведено у Додатку А.

### 3.5 Висновки за розділом

Отримані результати досліджень дозволили сформулювати низку висновків щодо закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процеси зсуву надвугільної товщі, які визначають доцільні траси розташування дільничних дегазаційних свердловин у гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах Західного Донбасу.

1. Результати обчислювальних експериментів довели, що масив з текстурою, до складу якої входять переважно тонкі шари, обвалюється позаду лави під більшим кутом як за падінням, так і за простяганням вугільного пласта на відміну від переважно крупно- і середньшаруватої текстури, що цілком логічно і не протирічить сучасним уявленням. Тому кут  $\beta_1$  нахилу лінії (за падінням-підняттям) зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі має залежність від її текстури, визначення якої (у графічній формі і за допомогою рівнянь регресії) доводить потребу в урахуванні текстури при обґрунтуванні координат розташування дегазаційних свердловин.

2. Встановлено, що незалежно від текстури надвугільної товщі спостерігається стійка тенденція переміщення позначки максимуму вигину пісковика вглиб привибійної частини масиву (збільшення відстані  $a_{II}$ ) з його

віддаленням у покрівлю від вугільного пласта та зменшенням потужності пісковика. Також зафіксовано підвищення  $a_{\Pi}$  за переважно тонко- і середньшаруватої текстури. Означені закономірності представлені у вигляді графіків та рівнянь регресії і будуть корисними при обґрунтуванні координат доцільних трас дегазаційних свердловин у напрямку підняття вугільного пласта.

3. У напрямку простягання вугільного пласта зафіксовано найбільшу величину кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі за її переважно тонко- і середньшаруватої текстури. Визначено тенденцію скорочення різниці між максимальним (переважно тонко- і середньшарувата текстура) і мінімальним (переважно крупно- і середньшарувата текстура) значеннями  $\beta_3$  зі зростанням глибини  $H$  розташування лави: при  $H = 200$  м різниця склала  $7,4^\circ$ , а при  $H = 600$  м вона зменшилася до  $4,2^\circ$ ; цій тенденції надано геомеханічне пояснення, бо такий інтервал зміни  $\beta_3$  суттєво впливає на координати траси дегазаційних свердловин.

4. Перевірка об'єктивності отриманих результатів при порівнянні з існуючими дослідженнями впливу текстури надвугільної товщі (тільки для умов Центрального району Донбасу) довела достовірність отриманих тенденцій їх якісного співпадіння до дещо інших умов залягання пологих пластів Донбасу.

5. При визначенні закономірностей впливу механічних властивостей літотипів надвугільної товщі їх було поділено на три узагальнені групи: понижені, усереднені та підвищені. Одночасно досліджений вплив параметрів  $h_{\Pi}$  і  $a_{\Pi}$  залягання найбільш міцного і жорсткого літотипу – пісковика. Зафіксовано, що за понижених механічних характеристик стабільно спостерігається зменшення кута нахилу  $\beta_1$  лінії зміни знаку кривизни вигину породних шарів у напрямку падіння вугільного пласта; цій факт встановлено незалежно від типу текстури і йому надано геомеханічне пояснення. Кількісний вплив механічних властивостей породних шарів надвугільної товщі визначено за допомогою графічних та емпіричних залежностей.

6. Інший геомеханічний параметр – відстань  $a_{II}$  максимального вигину пісковиків у привибійній зоні масиву має комплексну залежність від механічних властивостей літотипів надвугільної товщі, висоти  $h_{II}$  залягання і потужності  $m_{II}$  пісковика. Так при варіанті віддаленого залягання пісковика і його середньої потужності ( $h_{II} = 15$  м і  $m_{II} = 2$  м) зафіксовано різницю  $a_{II} = 3,9 - 7,3$  м (при порівнянні понижених і підвищених механічних властивостей літотипів), що у відносному вимірі складає 45 – 133%. Наближене до вугільного пласта розташування пісковика ( $h_{II} = 5$  м) та його велика потужність (8 м) дали такі порівняльні результати: абсолютна різниця  $a_{II}$  склала 1,8 – 3,9 м при відносному показнику 36 – 123%.

7. Обґрунтування доцільних трас буріння дегазаційних свердловин (у напрямку підняття) відбувається з використанням виявлених закономірностей зміни  $a_{II}$  у вигляді графіків та рівнянь регресії.

8. У напрямку простягання вугільного пласта зафіксовано якісно аналогічні закономірності зв'язку кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі (у вироблений простір) з геомеханічними параметрами: глибина розташування лави, текстура покрівлі і механічні властивості породних шарів. Отримані відповідні графічні залежності і рівняння регресії для розрахунку параметрів  $\beta_3$ . Здійснено оцінку їх достовірності шляхом порівняння з результатами інших досліджень.

9. Обґрунтовано загальні положення до вивчення впливу швидкості  $V_L$  просування лави на параметри зсуву надвугільної товщі у вироблений простір. Розроблено алгоритм урахування  $V_L$  при розрахунках НДС гірського масиву навколо лави; цей алгоритм дозволяє за простих припущень й ідеалізацій вирішити доволі складне завдання поєднання кінематики і статички у розрахунках НДС гірського масиву при обмеженні похибки обчислень у припустимих її коливаннях щодо гірничотехнічних розрахунків.



10. Виявлено стабільні тенденції впливу швидкості  $V_n$  посування лави на величину кута  $\beta_1$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів надвугільної товщі за падінням пласта, які діють незалежно від інших впливових геомеханічних факторів. Це дозволило врахувати вплив  $V_n$  у вигляді окремої функції, що додається як множник до вже існуючих рівнянь регресії залежності  $\beta_1$  від глибини  $H$  розташування лави, текстури і механічних властивостей породних шарів надвугільної товщі.

11. Визначено закономірності зміни параметрів зсуву надвугільної товщі у напрямку падіння з комплексним урахуванням геомеханічних (глибина розташування лави, текстура і механічні властивості літотипів) та технологічних (швидкість посування лави) факторів. У напрямку простягання вугільного пласта враховано особливості найбільш активного зсуву на ділянці до 20 м позаду лави, що генерують підвищений вплив швидкості її посування. Достовірне прогнозування параметрів зсуву дозволяє обґрунтувати і визначити координати доцільних трас розташування дільничних дегазаційних свердловин.

12. Визначено умови і розроблено критерії щодо найбільш ефективних трас розташування дільничних дегазаційних свердловин. Ці критерії у комплексі з отриманими залежностями параметрів зсуву надвугільної товщі дозволили створити методику визначення доцільних координат буріння дегазаційних свердловин за результатами моделювання МСЕ та розрахункову програму; деякі з геометричних параметрів трас та їх раціональність в цілому пройдуть експериментальну перевірку в шахтних умовах.

### **Список використаних джерел до розділу 3**

1. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Коваль, О.І., & Фомичов, В.В. (2012). *Експериментальні дослідження стійкості виїмкових виробок, які повторно використовуються, на пологих пластах Донбасу*. Дніпропетровськ, Україна: ЛізуновПрес, 426 с.

2. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Вівчаренко, О.В., Малихін, О.В., & Гусєв, О.С. (2014). *Геомеханіка навантаження і розрахунок параметрів кріпильної й охоронної систем підготовчих виробок шахт Західного Донбасу*. Дніпропетровськ, Україна: ЛізуновПрес, 228 с.

3. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Барабаш, М.В., Снігур, В.Г., & Гусєв, О.С. (2017). *Комбіновані анкерні системи для повторного використання гірничих виробок*. Дніпро, Україна: ЛізуновПрес, 188 с.

4. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Барабаш, М.В., & Гусєв, О.С. (2015). *Взаємодія вантажонесучих елементів кріпильної системи виїмкових виробок «масив – рама – анкер»*. Дніпропетровськ, Україна: Літограф, 214 с.

5. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., & Снігур, В.Г. (2014). *Експериментальні дослідження здимання порід підпошви підготовчих виробок на пологих пластах Донбасу*. Дніпропетровськ, Україна: ЛізуновПрес, 224 с.

6. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., & Черватюк, В.Г. (2012). *Геомеханіка навантаження кріплення очисних і підготовчих виробок в шаруватому масиві слабких порід*. Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 236 с.

7. Усаченко, Б.М. (1979). *Властивості порід і стійкість гірничих виробок*. Київ, Україна: Наукова думка, 136 с.

8. Усаченко, Б.М., Чередниченко, В.П., & Головчанський, І.Є. (1990). *Геомеханіка охорони виробок у слабометаморфізованих породах*. Київ, Україна: Наукова думка, 144 с.

9. Sdvyzhkova, O., Babets, D., Moldabayev, S., Rysbekov, K., & Sarybayev, M. (2020). Mathematical modeling a stochastic variation of rock properties at an excavation design. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*, 20(1.2). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/1.2/s03.021>

10. Yu, W. (2021). *Geomechanical Behaviors of Bimrocks*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 277 p.

11. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Черватюк, В.Г., Симанович, Г.А., & Ковалевська, І.А. (2024). *Прикладні задачі геомеханіки вугільних шахт. Книга 1. Моделювання гірського масиву*. Дніпро: ЛПрес, 516 с.
12. Савостьянов, О.В., & Ключков В.Г. (1992). *Керування станом масиву гірських порід*. Київ, Україна: УМК ВО, 276 с.
13. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Медяник В.Ю., & Руденко, М.К. (2020). *Вугільна шахта*. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 360 с.
14. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Шишов, М.В., & Малова, О.К. (2023). Розвиток уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі з погляду його впливу на параметри дільничної дегазації в умовах Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*, (72), 27-39. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.027>
15. Pivnyak, G., Bondarenko, V., & Kovalevska, I. (2015). *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 616 p. <https://doi.org/10.1201/b19901>
16. Ілляшов, М.О., Лобков, М.І., Халімендіков, Є.М. та ін. (2008). Оцінка впливу швидкості посування очисного вибою на вміщуючі бокові породи. *Вугілля України*, (8), 11-13.
17. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Symanovych, H., & Shyshov, M. (2023). Substantiating the expedient route parameters for the location of the site outgassing wells in the Western Donbas conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (1348), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012032>
18. Bondarenko, V.I., Symanovych, H.A., Kovalevska, I.A., Shyshov, M.V., & Yakovenko, V.H. (2023). Geomechanical substantiation of parameters for safe completion of mining the coal reserves adjacent to main workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 46-52. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/046>

## РОЗДІЛ 4

# ШАХТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ З ГЕОМЕХАНІЧНИМИ І ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ. МЕТОДИКА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ

### 4.1 Методика виконання досліджень

#### 4.1.1 Загальні положення

Шахтні дослідження мають за мету досягнення трьох цілей. По-перше, перевірка об'єктивності і достовірності результатів аналітичних напрацювань та методичних положень щодо розрахунку раціональних параметрів дільничної дегазації, які у кінцевому плані дозволяють підвищити продуктивність очисних робіт. По-друге, за результатами шахтних випробувань можливі деякі корегування параметрів технології дільничної дегазації у бік їх оптимальних значень, що увійде у кінцеву «Методику вибору параметрів дільничної дегазації при високих швидкостях посування лави». По-третє, утворюється реальна база щодо обґрунтування діапазону доцільних швидкостей посування очисного вибою за «газовим фактором» і під цей рекомендований діапазон  $V_n$  буде потрібно удосконалювати технологічні операції вуглевидобутку в умовах Західного Донбасу.

Принцип оптимізації параметрів технології дільничної дегазації полягає в експериментальному визначенні таких її величин, за яких буде досягнуто максимальне уловлювання метану з порід надвугільної товщі. Тоді потрапляння газу у робочий простір лави та виїмкові штреки буде мінімальним і відповідно можна підвищувати швидкість її посування, що тотожно зростанню продуктивності видобутку вугілля.

Досягнення умови максимального уловлювання метану відбувається шляхом перебору низки варіантів схем розташування дільничних дегазаційних свердловин

та вимірювання для кожної з них рівня газовиділення. Але при такому підході цілком природньо виникають труднощі стосовно достатнього об'єму експериментальних досліджень, адже за результатами вивчення механізму зсуву надвугільної товщі і його моделювання МСЕ (див. розділи 2 і 3) виділено багато впливових факторів, а шахтний експеримент дає змогу зафіксувати показники газовиділення тільки при одному наборі співвідношень дискретних значень геомеханічних і технологічних факторів. Отже, для вивчення впливу кожного з них (чисто теоретично) потрібна велика кількість шахтних експериментів, яка відповідає діапазонам їх варіації. Тому тут потрібно знайти компромісне рішення щодо оптимізації самого шахтного експерименту.

У ракурсі викладеного обґрунтовано низку методичних положень, що базуються на результатах попередніх аналітичних досліджень з урахуванням особливостей виконання технологічних операцій дільничної дегазації в умовах шахт Західного Донбасу.

По-перше, аналітично доведено вплив глибини  $H$  ведення очисних робіт на параметри розташування дільничних дегазаційних свердловин, але організувати шахтні випробування за різних  $H$  дуже складно: треба вести дослідження на різних горизонтах і, скоріше всього, на різних шахтах Західного Донбасу, де інші впливові фактори будуть різними і головне – різна багатометановість вугільного пласта. Подолані такі труднощі у такий спосіб. Були відібрані видобувні дільниці на двох шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (на шахтах ім. Героїв Космосу і «Західно-Донбаська»), де застосовується технологія дільничної дегазації й велося регулярне спостереження та фіксація об'ємів газовиділення і газоуловлювання при відпрацюванні вугільних пластів. Очисні роботи у таких видобувних дільницях велися лавами №№501, 503, 962 і 1124 шахти ім. Героїв Космосу, а також лавами №№885 і 1043 шахти «Західно-Донбаська». Саме ці видобувні дільниці створили низку об'єктів шахтних досліджень. Що стосується варіації глибини  $H$  ведення очисних робіт, то вона досягнута двома шляхами: перший – різні шахти і різні горизонти на окремій шахті; другий – при відпрацюванні виїмкової дільниці за підняттям вугільного пласта глибина розташування лави у

середньому коливається в межах 60 – 100 м. Таким чином, ми маємо можливість відстежити вплив глибини  $H$  (коли цей вплив має суттєве значення) на параметри газовиділення і газозуловлювання та за результатами шахтних досліджень зробити дві речі: порівняти з результатами аналітичних досліджень; прийняти рішення про доцільність врахування геомеханічного фактора  $H$  при виборі параметрів технології дільничної дегазації.

По-друге, зазвичай по довжині конкретного окремо взятого виїмкового стовпа суттєво змінюється текстура надвугільної товщі: має місце коливання у широкому діапазоні потужності літотипів безпосередньої і основної покрівлі; відбувається заміщення одних літотипів на інші. Зрозуміло, що на різних виїмкових ділянках різних горизонтів і шахт зміни текстури надвугільної товщі будуть тільки підсилюватися. Одночасно з цим очікується зміна механічних властивостей як окремих літотипів, так і усереднених показників надвугільної товщі в цілому. Тобто, у нас немає можливості зафіксувати параметри текстури і механічних властивостей порід покрівлі вугільного пласта, а досліджувати тільки вплив, наприклад, поточної глибини розташування лави, як це легко зробити при аналітичних дослідженнях. Тому відокремити один від одного такі впливові геомеханічні фактори як глибина  $H$ , текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі дуже складно при виконанні експериментальних досліджень. На наш погляд, параметри текстури порід покрівлі і показники їх механічних властивостей треба розглядати тільки разом, бо відокремити їх немає геологічної можливості.

У той же час, можна знайти ділянки виїмкового стовпа з приблизно однаковою текстурою порід надвугільної товщі і, відповідно, відносно постійними їх механічними властивостями. Але, зазвичай, вказані ділянки знаходяться поблизу одна від одної, що зумовлює незначні зміни глибини  $H$  їх розташування. Дуже складно знайти хоча б дві ділянки зі сталою текстурою та механічними властивостями порід покрівлі і значною різницею у глибини їх розташування; якщо це вдалося, наприклад, на різних горизонтах, то, скоріш за

все, існує значна вихідна різниця у природній газоносності вугільних пластів і літотипів покрівлі.

По-третє, наведені вище складнощі зовсім не означають, що ділянки з приблизно однаковою текстурою і механічними властивостями не потрібні. Вони використовуються при вивченні впливу технологічних факторів: швидкості  $V_d$  посування лави, схеми та їх параметри щодо розташування дільничних дегазаційних свердловин. Відокремлення один від одного технологічних факторів дещо менше складно, ніж геомеханічних. Так, легко зафіксувати параметри схеми розташування дільничних дегазаційних свердловин, наприклад, дотримуватися так званої «базової» схеми, що зазвичай використовується на цій виїмковій ділянці за паспортом її дегазації. Далі необхідно обрати ділянку виїмкового стовпа з приблизно однаковою текстурою надвугільної товщі і відслідкувати параметри газовиділення і дегазації при різних швидкостях  $V_d$  посування лави, які обов'язково спостерігаються за різних організаційних причин і дії інших факторів.

Експериментально вивчати вплив параметрів схеми розташування дегазаційних свердловин дещо складніше, бо тут потрібні дві умови: приблизно однакова текстура порід надвугільної товщі і постійна швидкість  $V_d$  посування очисного вибою. Виконання другої умови цілком можливе, як про це свідчить аналіз виробничих показників на відібраних виїмкових дільницях шахт.

Деякі проблеми виникають за інших причин основних параметрів схем розташування дегазаційних свердловин і щоб відстежувати тенденції впливу кожного з них треба мати дуже довгу експериментальну ділянку з приблизно постійною текстурою і швидкістю  $V_d$ . Подолати ці труднощі можна наступним чином. Доцільна довжина свердловини  $l_{cv}$  визначається здебільшого висотою залягання в основній покрівлі газонасичених літотипів (зазвичай вугільного пласта і пісковика) з урахуванням технічних характеристик бурового обладнання. На ділянці відносно постійної текстури надвугільної товщі висота залягання газонасичених літотипів буде коливатися в обмеженому діапазоні; тому

вертикальна проєкція довжини свердловини буде приблизно однаковою, а сам параметр  $l_{cv}$  можна виключити зі змінних, що експериментально досліджуються, за умови досягнення свердловинами газонасичених літотипів. Кут нахилу  $\beta_4$  свердловин за простяганням і кут  $\beta_5$  їх розвороту за падінням вугільного пласта можна об'єднати за тенденціями зміни раціональних значень, бо вони визначаються геомеханічними факторами, які приблизно однакові на довжині обраної експериментальної ділянки. Відстані  $l_1$  і  $l_2$  розташування гирл дегазаційних свердловин визначаються як геомеханічними, так і конструктивно-технологічними (параметри охорони виїмкового штреку) факторами; напрямки зміни  $l_1$  і  $l_2$  теж можна об'єднувати при дослідженнях рівнів газовиділення і дегазації.

Отже кількість змінних параметрів, що експериментально досліджуються, можна скоротити і отримати потрібні нам відомості щодо закономірностей процесів газовиділення і дегазації, які є критеріальними факторами щодо вибору раціональних параметрів технології дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу.

#### **4.1.2 Алгоритм проведення шахтних експериментів**

Загальні методичні положення набули реалізації у розробленому алгоритмі проведення шахтних експериментів, який складається з таких етапів.

Перший етап – перевірка достовірності і ступеня впливу геомеханічних факторів, що встановлений аналітично шляхом визначення низки закономірностей при моделюванні МСЕ. У попередньому §4.1.1 було вже зазначено про складність експериментального встановлення багатфакторних закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів. Тому необхідно дещо понизити їх кількість шляхом фіксації (мінімальні коливання значень) деяких параметрів і вивчення при цьому закономірностей впливу параметрів, що залишилися. У цьому сенсі запропоновано залишити сталими технологічні параметри. Проблем з фіксацією параметрів схем розташування дільничних



дегазаційних свердловин не виникає – вони визначаються за існуючими паспортами дегазації, звісно окремо для кожної виїмкової ділянки. Але щодо подальших експериментальних досліджень рівня впливу технологічних факторів, треба визначитися з критерієм оцінки ефективності (раціональності) обраних за технічною документацією параметрів схем розташування дільничних дегазаційних свердловин. Означений критерій не повинен залежати від гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов відпрацювання вугільних пластів на тих чи інших виїмкових ділянках, обраних для досліджень. Тому запропонований такий критерій, який можна назвати як «відносна дільнична дегазація» і він встановлює рівень уловлювання газу метану по відношенню до всього об'єму метану, що виділяється на видобувній ділянці. У технічній документації вже існує такий показник – це коефіцієнт дегазації  $K_{dez}$ , який вимірюється у відносних величинах. Цей показник не залежить від умов відпрацювання вугільних пластів, він широко застосовується у практиці ведення гірничих робіт і дає можливість порівнювати ефективність обраних параметрів дегазації для різних виїмкових ділянок. Але ще треба уточнити, який показник  $K_{dez}$  обирати у мережі гірничих виробок залежно від координат його вимірювання. На наш погляд, найбільш інформативними будуть відомості, що вимірюються поза лавою у виїмковому штреку поблизу основних підготовчих виробок, за таких умов є можливість оцінити надходження метану і ступінь дегазації на усій виїмковій ділянці.

Інший технологічний параметр, що досліджується, – швидкість  $V_r$  посування очисного вибою. Вона теж різна на обраних виїмкових ділянках. Але на першому етапі це неважливо, бо вимірюванням дебіту газу і розрахунком коефіцієнту  $K_{dez}$  ми створюємо «базу» для подальшого порівняння з таким же показником  $K_{dez}$  за інших геомеханічних і технологічних факторів та параметрів. Алгоритм порівняння такий:

– здійснюється фіксація «базових» показників  $K_{dez}$  за конкретних геомеханічних факторів (глибина розташування лави, текстура і механічні

властивості порід надвугільної товщі) і технологічних параметрів (швидкість  $V_L$  посування лави, схема розташування дегазаційних свердловин);

– за розробленою методикою на основі моделювання МСЕ (див. §3.4.2) визначаються раціональні параметри схем розташування дегазаційних свердловин на усіх шести виїмкових ділянках, що відібрані для експериментальних досліджень;

– для цих раціональних параметрів вимірюються об'єми газовиділення і газоуловлювання та розраховується коефіцієнт  $K_{дег}^P$  дегазації;

– порівнюються величини  $K_{дег}$  і  $K_{дег}^P$  та робляться наступні висновки. Якщо  $K_{дег}$  і  $K_{дег}^P$  приблизно однакові (різниця до декількох відсотків), а параметри розташування дегазаційних свердловин суттєво відрізняються від «базових», то маємо головний висновок про недоцільність використання запропонованої методики. Якщо при приблизно однакових параметрах схем розташування дегазаційних свердловин ми маємо суттєву різницю (10 – 15% і більше) у величинах  $K_{дег}$  і  $K_{дег}^P$ , то це свідчить про неадекватність і недостовірність методики, що пропонується. Якщо раціональні параметри розташування дегазаційних свердловин суттєво відрізняються від «базових», а величини  $K_{дег}^P$  значно вищі, ніж  $K_{дег}$ , то робимо висновок про доцільність використання розробленої методики.

Цей загальний висновок є сутністю першого етапу шахтних досліджень: він обґрунтовує доцільність використання методики, але не відповідає на питання про ступінь її достовірності.

Другий етап – оцінка ступеня відповідності закономірностей впливу геомеханічних факторів, що отримані аналітичним й експериментальним шляхом у шахтних дослідженнях. Тут головна мета полягає у перевірці достовірності залежностей, що отримані у попередніх розділах при моделюванні МСЕ процесів зсуву порід надвугільної товщі позаду лави. При цьому треба зазначити про непрямий спосіб оцінки достовірності результатів аналітичних досліджень, бо

«напрямую» нема можливості експериментально фіксувати такі параметри, як: кути нахилу ліній зміни знаку кривизни вигину літотипів у надвугільної товщі за падінням  $\beta_1$  і простяганням  $\beta_3$ , відстань  $a_{II}$  (від площини очисного вибою) зони дії максимальних згинальних напружень у гірському масиві.

Непряма оцінка здійснюється за показником коефіцієнта дегазації  $K_{dez}$  при діючих на виїмкових дільницях параметрах розташування дегазаційних свердловин. Але при цьому треба максимально відокремлювати вплив геомеханічних факторів від впливу швидкості  $V_L$  посування лави. Здійснити таке відокремлення, тобто зафіксувати  $V_L$  у досить обмеженому діапазоні коливань до  $\pm 10 - 12\%$  цілком можливо, бо за більш-менш стабільної вийманої потужності вугільного пласта використовується високопродуктивне обладнання, яке не тільки здатне досягти запланованих величин вуглевидобутку, але ці планові завдання не надто суттєво різняться між окремими виїмковими дільницями. Окрім того, існують суттєві коливання  $V_L$ , що викликані організаційно-технічними причинами і з цього діапазону  $V_L$  можна вибрати потрібні її величини для адекватного порівняльного аналізу.

Непряма оцінка ступеня достовірності може надати лише відносні результати – збільшився чи зменшився коефіцієнт дегазації за рекомендованими параметрами  $K_{dez}^p$  схеми розташування дегазаційних свердловин у порівнянні з величиною  $K_{dez}$  за існуючої на виїмковій дільниці схеми їх розміщення. Але це і є головний практичний результат, який опосередковано доводить про рівень урахування впливу геомеханічних факторів.

Раніше було виділено три основних геомеханічних фактори (глибина розташування лави, текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі), вплив кожного з яких досліджувався експериментально таким чином. Досить широкий діапазон коливань глибини  $H$  розташування лави забезпечувався дослідженнями на шести виїмкових дільницях двох шахт: 501, 503, 962 і 1124 лави шахти ім. Героїв Космосу та 885 і 1043 лави шахти «Західно-Донбаська». До того ж маємо деяку зміну  $H$  виїмкових дільниць при їх відпрацюванні за

підняттям вугільного пласта. Щодо коливань текстури і механічних властивостей порід надвугільної товщі вони зазвичай відбуваються у певному діапазоні на кожній виїмковій ділянці (рис. 4.1), а оскільки їх досліджується шість одиниць на двох шахтах, то маємо досить представницький діапазон зміни цих геомеханічних факторів (рис. 4.2).

Таким чином, забезпечено експериментальне вивчення закономірностей впливу геомеханічних факторів на ефективність технології дільничної дегазації виїмкових стовпів.

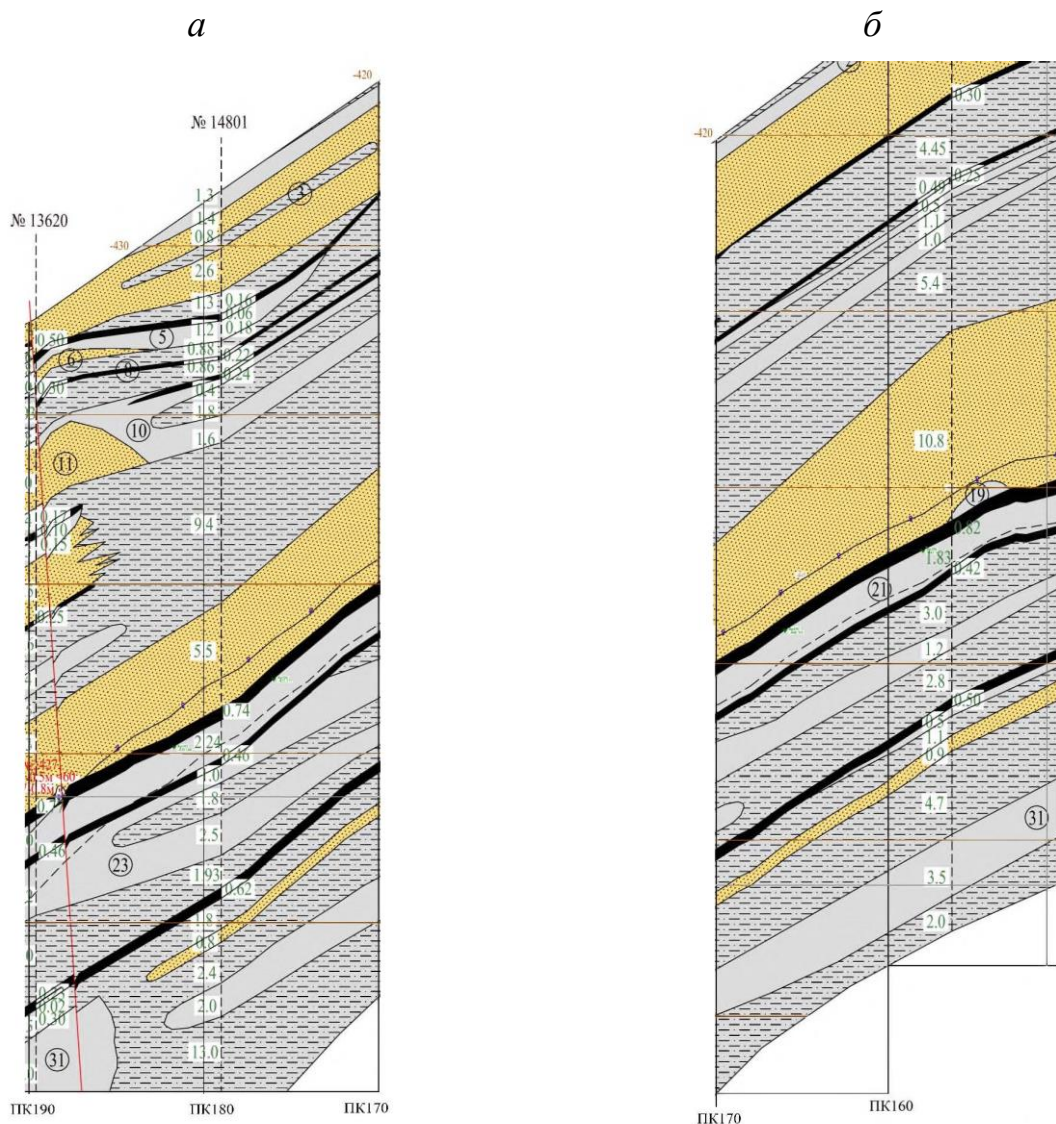


Рисунок 4.1 – Фрагменти гірничо-геологічного розрізу по виїмковій ділянці 501-ої лави шахти ім. Героїв Космосу: *а* – переважно середньошарувата текстура; *б* – переважно крупношарувата текстура

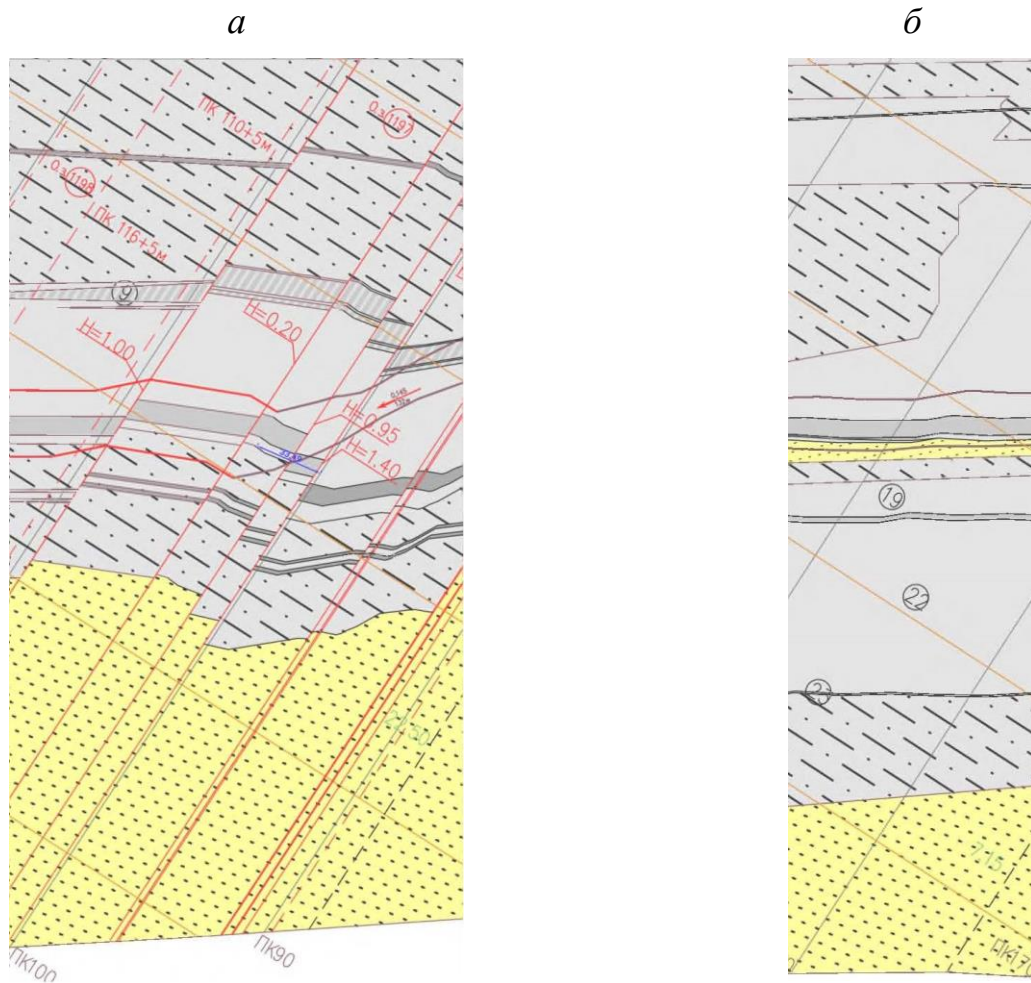


Рисунок 4.2 – Фрагменти гірничо-геологічного розрізу по виїмковій ділянці 1043-ої лави шахти «Західно-Донбаська»: *а* – переважно середньшарувата текстура; *б* – переважно крупношарувата текстура

Третій етап експериментальних досліджень передбачає вивчення впливу на ефективність процесу дегазації низки технологічних параметрів, серед яких виділено три основні: швидкість  $V_{л}$  посування лави, кут  $\beta_6$  нахилу дегазаційних свердловин до площини нашарування вугільного пласта, крок  $l_2$  буріння свердловин уздовж виїмкового штреку, тобто відстань між гирлами сусідніх свердловин. Ще раз нагадаємо, що критерієм оцінки ступеня впливу є опосередкований параметр – коефіцієнт дегазації.

На усіх шістьох виїмкових ділянках, що досліджуються, в режимі реального часу фіксуються об'єми газовиділення і газозуловлювання, які дають змогу розрахувати  $K_{deg}$  при існуючих (паспортних) параметрах схем діляничної

дегазації. Треба тільки обрати ділянки штреку з відносно сталими геомеханічними факторами і для них відібрати показники добової швидкості  $V_l$  посування очисного вибою, а далі побудувати графіки залежностей  $K_{\text{дез}}(V_l)$ . Відмінність побудови графіків залежностей  $K_{\text{дез}}^p(V_l)$  полягає лише в тому, що фіксація показників газовиділення і газоуловлювання повинна відбуватися на ділянках штреків з приблизно однаковими геомеханічними факторами у порівнянні з «базовими» ділянками. Попередньо для обчислених  $K_{\text{дез}}^p$  треба розрахувати рекомендовані раціональні параметри схем дегазації (відповідно до методики §3.4.2) і пробурити свердловини за визначеними величинами; достатньо 40 м довжини такої ділянки. Тобто надвеликих труднощів визначення показників  $K_{\text{дез}}$  і  $K_{\text{дез}}^p$  немає, але при аналізі самих залежностей  $K_{\text{дез}}(V_l)$  і  $K_{\text{дез}}^p(V_l)$  потрібно пам'ятати наступне:

- з одного боку, збільшення  $V_l$  зумовлює зростання об'ємів добового видобутку вугілля, а разом з ним об'ємів газовиділення;
- з іншого боку, збільшення  $V_l$  призводить до уповільнення процесів розшарування і знеміцнення літотипів надвугільної товщі, що певним чином гальмує газовиділення.

Викладене зауваження треба врахувати тому, що експериментальні дослідження ведуться на непрямих показниках.

Трохи складніше знаходити ділянки довжини штреків (у межах конкретної виїмкової дільниці), де буде змінюватися кут  $\beta_6$  нахилу дегазаційної свердловини до площини нашарування. Для адекватного порівняння тут необхідно вибирати ділянки з приблизно однаковою текстурою надвугільної товщі (тоді однакові її механічні властивості будуть досягнуті майже автоматично) і швидкістю посування лави. Тому ми прийняли методичне рішення про обмеження кута  $\beta_6$  трьома величинами: понижені значення беруться на 10–12° меншими за паспортні («базові»), а підвищені значення переважають паспортні теж на 10–12°. Таким чином, досліджується закономірність  $K_{\text{дез}}(\beta_6)$  і робляться висновки щодо ступеня

раціональності паспортних величин на усіх шістьох виїмкових ділянках двох шахт, що розширює область застосування подальших рекомендацій.

Ті ж самі правила відбору експериментальних ділянок (конкретного виїмкового стовпа) використовуються при дослідженнях впливу кроку  $l_2$  буріння дегазаційних свердловин уздовж виїмкових штреків. Тут треба знайти експериментальні ділянки з приблизно однаковими геомеханічними факторами і швидкістю посування лави. Інтервал варіації у межах  $8 \leq l_2 \leq 16$  обраний з урахуванням досвіду виконання операцій дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу.

У підсумку, розроблені методичні положення і алгоритм проведення шахтних експериментів дозволять досягти поставленої мети – всебічної оцінки адекватності й достовірності рекомендацій щодо визначення раціональних параметрів технології дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу.

#### **4.2 Загальна оцінка об'єктивності вибору параметрів технології дільничної дегазації**

За розробленими методичними положеннями й обґрунтованим алгоритмом проведення шахтних досліджень послідовно наведено їх результати, починаючи з першого етапу стосовно оцінки ступеня раціональності рекомендацій щодо вибору параметрів технології дільничної дегазації, які розроблено на основі аналітичних досліджень МСЕ процесів зсуву надвугільної товщі у вироблений простір позаду лави. Нагадуємо, що методика першого етапу шахтних досліджень передбачає розрахунок параметрів технології дільничної дегазації за рекомендованою методикою з наступним порівнянням коефіцієнта дегазації  $K_{dez}^p$  з його величиною  $K_{dez}$  за наявних параметрів, що застосовуються на виїмкових ділянках відповідно паспорту їх дегазації. Головна мета цих досліджень – оцінити вплив геомеханічних факторів одночасно з перевіркою рекомендацій за різних гірничо-геологічних умов. Для цього обрані шість виїмкових ділянок на двох шахтах Західного Донбасу.

Результати першого етапу шахтних досліджень наведено на рис. 4.3 у дещо обмеженому вигляді; основна причина – надання більш інформативного вигляду графікам  $K_{\text{дег}}^p(H)$  і  $K_{\text{дег}}(H)$  для окремих виїмкових дільниць (501 і 503 лави шахти ім. Героїв Космосу та 1043 лава шахти «Західно-Донбаська»), бо, якщо навести усі графіки (962 і 1124 лави шахти ім. Героїв Космосу та 885 лава шахти «Західно-Донбаська»), буде складніше зрозуміти, який з них належить до конкретної виїмкової дільниці. Тому, на наш погляд, цілком достатньо інформації з трьох виїмкових дільниць, щоб опанувати існуючі тенденції, а загальна оцінка об'єктивності запропонованих рекомендацій, звісно, базується на даних усіх шести виїмкових дільниць, де проводяться шахтні дослідження.

Отже, з порівняльного аналізу стабільно (для різних гірничо-геологічних умов) простежується головна тенденція: коефіцієнт дегазації за рекомендованими параметрами  $K_{\text{дег}}^p$  перевищує відповідне значення  $K_{\text{дег}}$  для існуючих параметрів схем розташування дегазаційних свердловин. Наприклад, для 1043 виїмкової дільниці шахти «Західно-Донбаська» різниця коефіцієнтів  $K_{\text{дег}}^p$  і  $K_{\text{дег}}$  коливається в межах 0,143 – 0,280, що у відносних одиницях складає 29 – 74%. Тобто, якщо дотримуватися запропонованих рекомендацій, то з'являється можливість підвищити навантаження на лаву на 29 – 74% за так званим «газовим фактором».

Щодо двох виїмкових дільниць (501 і 503 лави) на шахті ім. Героїв Космосу теж спостерігається перевищення  $K_{\text{дег}}^p$  над  $K_{\text{дег}}$  (див. рис. 4.3), яке у відносних одиницях має суттєву величину: 31 – 123% для 501 виїмкової дільниці; 23 – 85% для 503 виїмкової дільниці. Звичайно, у наданих діапазонах коливань максимальні значення співвідношень  $K_{\text{дег}}^p$  і  $K_{\text{дег}}$  треба розглядати як одиничні – вони не характеризують їх реальну відмінність, але підвищення коефіцієнта дегазації на 20 – 30% цілком можливе, і це сприяє значному зростанню продуктивності виїмкової дільниці за «газовим фактором».

Достовірність наведених результатів підтверджується зафіксованими показниками  $K_{\text{дег}}^p$  і  $K_{\text{дег}}$  на дільницях, що не увійшли до графіків на рис. 4.3: 962 і



1124 лави шахти ім. Героїв Космосу та 885 лави шахти «Західно-Донбаська». На цих виїмкових ділянках відносно підвищення коефіцієнта дегазації склало: 27 – 69% для 962 лави, 19 – 92% для 1124 лави шахти ім. Героїв Космосу та 35 – 87% для 885 лави шахти «Західно-Донбаська».

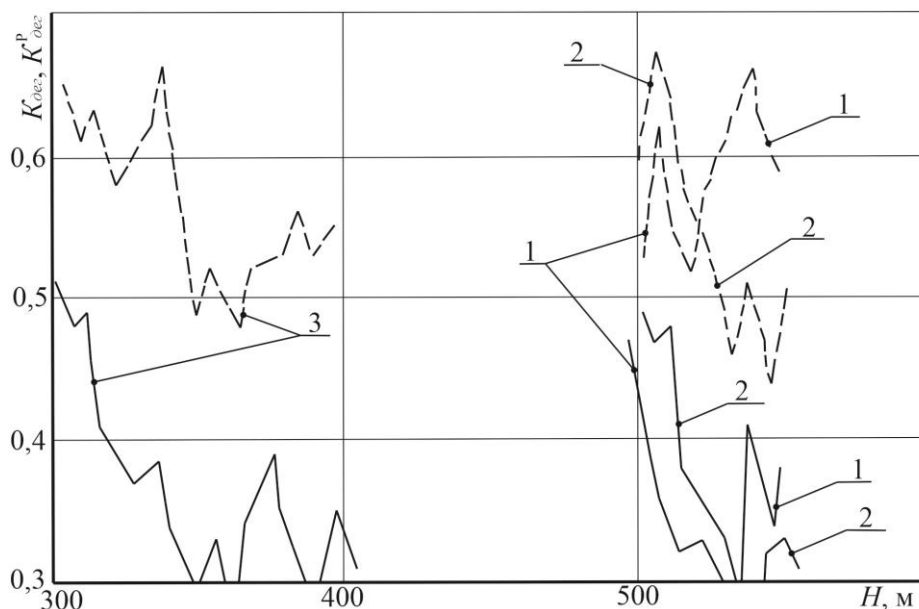


Рисунок 4.3 – До порівняльного аналізу існуючих (—) та рекомендованих (----) параметрів схем дільничної дегазації: 501 (1) і 503 (2) лави шахти ім. Героїв Космосу та 1043 (3) лави шахти «Західно-Донбаська»

Таким чином, доцільно зробити висновок – експериментально підтверджено підвищення ефективності дільничної дегазації при користуванні запропонованими рекомендаціями щодо раціональних параметрів схем розташування дегазаційних свердловин в умовах відпрацювання вугільних пластів Західного Донбасу.

Окрім сформульованого головного висновку можна навести ще одну особливість підпорядкованого характеру. За різних співвідношень геомеханічних факторів спостерігається тенденція зниження коефіцієнта дегазації при зростанні глибини  $H$  розташування лави; ця тенденція зафіксована на усіх виїмкових ділянках як за існуючих схем розташування дегазаційних свердловин, так і на більшості експериментальних ділянок при рекомендованих параметрах дегазації. Основна відмінність між ними полягає в обмеженні діапазону падіння  $K_{deg}^P$  у

порівнянні з діапазоном зменшення  $K_{dez}$ . На наш погляд, окрім вливу інших організаційно-технологічних факторів, одна з причин такої тенденції полягає у тому, що на етапі доопрацювання запасів виїмкової дільниці (зменшена глибина  $H$ ) великий за площею вироблений простір є домінуючим фактором виділення метану, а, оскільки, надвугільна товща має розповсюджені порушення суцільності, то дегазаційним свердловинам «легше» уловлювати метан і сам процес дегазації стає більш інтенсивним. Тобто ми вважаємо, що зафіксована другорядна тенденція має загальний геомеханічний характер.

Узагальнюючи результати першого етапу експериментальних досліджень, можна впевнено казати про доцільність наступних, більш детермінованих етапів шахтних випробувань технології дільничної дегазації за рекомендованими параметрами розташування дегазаційних свердловин.

### 4.3 Вплив геомеханічних факторів на показники дільничної дегазації

Головна мета другого етапу досліджень полягає у визначенні тенденцій впливу геомеханічних факторів (глибина  $H$  розташування лави, текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі) на ефективність дільничної дегазації, а також дослідити відмінності у її показниках за існуючих і рекомендованих параметрів схем розташування дегазаційних свердловин.

Визначення тенденцій впливу геомеханічних факторів здійснено за розробленими методичними положеннями (див. §4.1), в яких обґрунтовано заходи щодо спільного розгляду дії текстури й механічних властивостей порід надвугільної товщі та відокремлення їх закономірностей від впливу глибини  $H$  розташування лави. Основний спосіб цього відокремлення реалізований шляхом пошуку ділянок виїмкового стовпа з приблизно однаковою текстурою порід надвугільної товщі, а їх механічні властивості будуть практично стабільні у межах конкретної виїмкової дільниці та відрізнятися поміж собою на різних виїмкових дільницях і ще більше – на різних шахтах. Результати фіксації об'ємів газовиділення і газоуловлювання та подальшого розрахунку коефіцієнтів дегазації  $K_{dez}^p$  і  $K_{dez}$  наведено на графіках рис. 4.4 і 4.5.

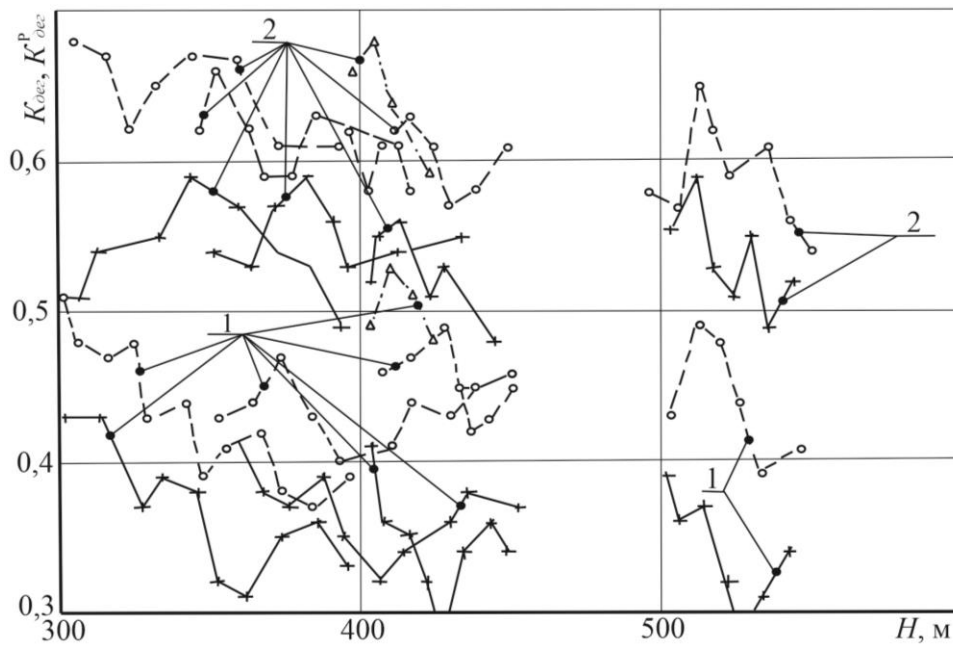


Рисунок 4.4 – Закономірності впливу текстури на ефективність існуючих (1) та рекомендованих (2) схем дільничної дегазації: — переважно крупношарувата текстура; - - - - - переважно середньшарувата текстура; - · - · - переважно тонкошарувата текстура

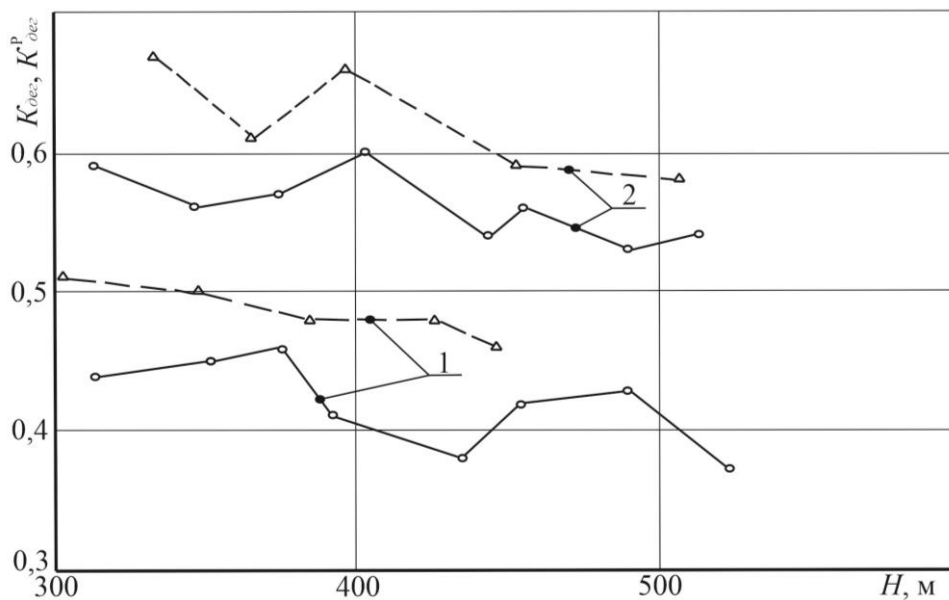


Рисунок 4.5 – Закономірності впливу механічних властивостей порід надвугільної товщі на ефективність існуючих (1) та рекомендованих (2) схем дільничної дегазації: — понижені (—) та усереднені (- - - - -) механічні властивості

Насамперед розглянемо тенденції впливу текстури порід надвугільної товщі, яку поділено на три групи: переважно тонкошарувата, переважно середньошарувата, переважно крупношарувата. Такий поділ здатний охопити майже всі варіанти текстури вуглепородного масиву, що спостерігаються у Західному Донбасі, а чітке відокремлення потужності літотипів за існуючою класифікацією (тонкі, середні та великі) [1] практично неможливе, бо не зустрічається у геологічній будові масиву [2] – [6]. Також треба зауважити, що графіки на рис. 4.4 мають розриви (по координаті  $H$ ), які відокремлюють показники  $K_{\text{дег}}^p$  і  $K_{\text{дег}}$  для різних виїмкових дільниць.

Головна особливість закономірності впливу текстури надвугільної товщі на показники  $K_{\text{дег}}^p$  і  $K_{\text{дег}}$  ефективності дегазації полягає у наступному. Зафіксовано стійку тенденцію перевищення коефіцієнтів дегазації за більш шаруватої ніж за менш шаруватої покрівлі незалежно від обраних параметрів схем розташування дегазаційних свердловин. Наприклад, для 503 виїмкової дільниці шахти ім. Героїв Космосу виділено два типи текстури: переважно середньошарувата і переважно крупношарувата. При порівнянні коефіцієнтів  $K_{\text{дег}}^p$  і  $K_{\text{дег}}$  зафіксовано, що для переважно середньошаруватої текстури коефіцієнт  $K_{\text{дег}}^p$  вище на 1 – 25%, а для коефіцієнта  $K_{\text{дег}}$  встановлено перевищення на 10 – 63%, ніж для переважно крупношаруватої текстури. Для інших виїмкових дільниць виявлено аналогічні тенденції: 962 лава шахти ім. Героїв Космосу – зафіксовано перевищення 6 – 24% для  $K_{\text{дег}}^p$  і 11 – 55% для  $K_{\text{дег}}$ ; для 1043 лави шахти «Західно-Донбаська» відповідні діапазони дорівнюють 14 – 37% –  $K_{\text{дег}}^p$  та 3 – 34% –  $K_{\text{дег}}$ ; для 885 лави шахти «Західно-Донбаська» маємо такі перевищення: 2 – 19% –  $K_{\text{дег}}^p$  та 6 – 27% –  $K_{\text{дег}}$ .

Переважно тонкошарувата текстура порід надвугільної товщі була встановлена тільки на окремих ділянках 962 виїмкового стовпа. При порівнянні переважно тонкошаруватої і переважно крупношаруватої текстур отримано перевищення коефіцієнта  $K_{\text{дег}}^p$  на 13 – 30% і  $K_{\text{дег}}$  на 20 – 71%.

Головний висновок з наведених результатів такий: текстура порід надвугільної товщі суттєво впливає на ефективність дегазації незалежно від інших геомеханічних і технологічних факторів; тому тип текстури треба врахувати при виборі параметрів схем розташування дільничних дегазаційних свердловин. Окрім того, цей етап досліджень підтвердив доцільність використання розроблених рекомендацій – незалежно від текстури порід надвугільної товщі і глибини розташування лави коефіцієнт дегазації зріс на 19 – 82% у порівнянні з існуючими схемами розташування дегазаційних свердловин [7], [8].

Інша головна задача другого етапу досліджень полягає у визначенні тенденцій впливу механічних властивостей порід надвугільної товщі на ефективність дільничної дегазації за критерієм порівняння коефіцієнтів  $K_{дез}^p$  і  $K_{дез}$  при різних варіантах міцнісних характеристик літотипів, що обґрунтовані у розділі 2. У цьому ракурсі треба зауважити, що на шахтах ім. Героїв Космосу і «Західно-Донбаська» (у межах виїмкових дільниць, що досліджуються) практично відсутня геомеханічна ситуація, коли надвугільну товщу можна охарактеризувати в цілому як таку, що має підвищені міцнісні властивості. Тому надалі ми розглянули дві групи механічних властивостей: понижені (шахта ім. Героїв Космосу) та усереднені (шахта «Західно-Донбаська»).

На рис. 4.5 побудовано графіки зміни коефіцієнтів дегазації  $K_{дез}^p$  і  $K_{дез}$  при двох варіантах узагальнених міцнісних характеристик порід надвугільної товщі (понижених та усереднених) за координатою  $H$  глибини розташування лави. Тут треба зауважити, що кількість ділянок з приблизно однаковою текстурою, але різними механічними властивостями дуже обмежена. Тому вплив механічних властивостей літотипів можна простежити тільки на рівні тенденцій зміни  $K_{дез}^p$ ,  $K_{дез}$ , але і ця інформація має певну користь у плані доказової бази доцільності використання розроблених рекомендацій.

З аналізу експериментальних даних чітко простежується помірність впливу узагальнених міцнісних характеристик порід надвугільної товщі, який можна навести у кількісному виразі на наступних прикладах: за рекомендованих

параметрів схем розташування дільничних дегазаційних свердловин коефіцієнт дегазації  $K_{dez}^p$  вищий на 5–17% для переважно понижених механічних властивостей, ніж у випадку їх переважно усереднених значень; відносно існуючих параметрів схем розташування дегазаційних свердловин маємо перевищення  $K_{dez}$  на 4–24%. Тобто, вплив механічних властивостей все ж таки простежується, але він відносно помірний і цей факт можна пояснити тими самими аргументами, що і вплив текстури порід надвугільної товщі, а саме: понижені механічні властивості сприяють більш інтенсивному розшаруванню, знеміцненню і руйнуванню порід надвугільної товщі, що призводить до виникнення більшого об'єму пор, порожнин і пустот; вони певною мірою з'єднані між собою і це полегшує перетікання та уловлювання метану через дегазаційні свердловини.

Остаточний висновок такий – незважаючи на помірність впливу механічних властивостей порід надвугільної товщі цей геомеханічний фактор теж треба врахувати при обґрунтуванні параметрів технології дільничної дегазації, бо кінцевий багатфакторний вплив геомеханічних факторів складається з сумарної дії кожного з них. А існування такого впливу ще раз підтверджує перевищення коефіцієнта дегазації  $K_{dez}^p$  за рекомендованими параметрами схем розташування дегазаційних свердловин над існуючими на 24–38% при понижених механічних властивостях і на 25–49% при усереднених механічних властивостях порід надвугільної товщі.

#### **4.4 Вплив технологічних факторів на показники дільничної дегазації**

На попередніх етапах експериментальних досліджень встановлено суттєвий вплив (на ефективність дільничної дегазації) геомеханічних факторів, але ці закономірності було виявлено разом з технологічними факторами, які відрізняються між собою для різних виїмкових стовпів, що були досліджені у плані фіксації газовиділення і газоуловлювання з подальшим розрахунком коефіцієнтів дегазації  $K_{dez}^p$  і  $K_{dez}$ . Зараз настає черга третього (заключного) етапу

експериментальних досліджень, що має за мету визначити рівень впливу технологічних параметрів процесу дільничної дегазації, серед яких ще раніше було виділено три основні: швидкість  $V_l$  посування лави, кут  $\beta_6$  нахилу (до площини нашарування вугільного пласта) дегазаційних свердловин та крок  $l_2$  їх буріння уздовж виїмкового штреку.

Вивчення впливу швидкості  $V_l$  посування очисного вибою відбувалося на ділянках штреку з приблизно однаковою текстурою порід надвугільної товщі; сталість текстури в межах конкретної виїмкової дільниці обумовлює зазвичай малосуттєві коливання узагальнених механічних властивостей порід надвугільної товщі, а близькість експериментальних ділянок одна до одної породжує невеликі зміни глибини  $H$  їх розташування за рахунок малого кута падіння вугільного пласта. Таким чином, на відібраних ділянках виїмкового стовпа створені майже однакові геомеханічні умови, що дозволило відокремити їх вплив на показники дегазації, а залишити тільки варіацію  $V_l$ , яка відбувається за різних причин організаційно-технічного характеру незалежно від запланованих об'ємів вуглевидобутку.

Результати вимірювань газовиділення і газоуловлювання надано на рис. 4.6 у вигляді графіків залежності коефіцієнтів  $K_{deg}^p$  і  $K_{deg}$  від швидкості  $V_l$  посування лави. На цих графіках проілюстровано дані тільки по окремих виїмкових дільницях, зважаючи на вищеописані причини. Аналіз експериментальних даних показав наявність впливу швидкості  $V_l$  посування очисного вибою [9]. Ці тенденції мають місце в тому чи іншому рівні зв'язку для різних виїмкових дільниць, якщо розглядати закономірність  $K_{deg}^p(V_l)$  і  $K_{deg}(V_l)$  в цілому, хоча на окремих експериментальних ділянках можуть бути і зворотні тенденції зміни показників коефіцієнтів дегазації. Тому для однозначного підтвердження існування певних тенденцій впливу  $V_l$  ми навели наступні дані по кожній з чотирьох виїмкових дільниць, що показані на графіках рис. 4.6. Так для 501 лави має місце підвищення коефіцієнтів дегазації зі збільшенням швидкості  $V_l$  її

посування: коефіцієнт дегазації  $K_{дег}^p$  за рекомендованими схемами розташування дегазаційних свердловин зростає до 34% у діапазоні  $5,2 \leq V_l \leq 8,7$  м/добу; коефіцієнт дегазації  $K_{дег}$  за існуючих технологічних параметрів збільшився до 71% у діапазоні  $5,1 \leq V_l \leq 8,5$  м/добу. Аналогічні тенденції зафіксовано і для інших виїмкових дільниць: 503 лава – відповідно до 15% (5,0 – 6,1 м/добу) та до 33% (4,9 – 6,1 м/добу); 962 лава – до 47% (5,9 – 8,2 м/добу) і до 36% (6,0 – 7,6 м/добу); 1043 лава – до 18% (4,7 – 7,1 м/добу) та до 24% (4,8 – 6,9 м/добу).

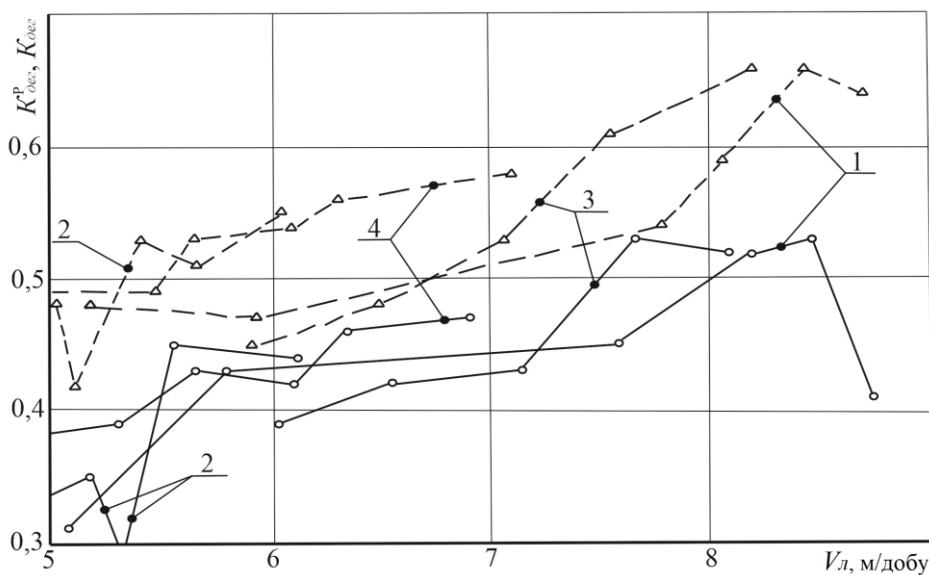


Рисунок 4.6 – Закономірності впливу швидкості  $V_l$  посування лави на ефективність дії існуючих (—) і рекомендованих (----) параметрів схем дільничної дегазації: 501 (1), 503 (2) і 962 (3) лави шахти ім. Героїв Космосу; 1043 (4) лава шахти «Західно-Донбаська»

Встановлені закономірності вже були пояснені у попередніх розділах розкриттям механізму впливу  $V_l$  на процес посування надвугільної товщі у вироблений простір позаду лави. Підвищена швидкість  $V_l$  сприяє обмеженню розвитку (по висоті надвугільної товщі) порушень суцільності масиву – менше з'являється пор, порожнин і пустот, по яких метан дренає у лаву та виїмкові штреки, що призводить до зниження газовиділення у ці виробки.



Головний висновок з наведених даних – підвищення швидкості  $V_L$  посування лави (в середньому на 30 – 45%) сприяє зростанню ефективності газоуловлювання в середньому на 25 – 40% за різних гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільних пластів у Західному Донбасі. Тобто, виявлено тенденції, що працюють в єдиному напрямі підвищення продуктивності вуглевидобутку: зростання  $V_L$  призводить до зниження надходження метану у прилеглі виробки (при застосуванні технології дільничної дегазації) а це, у свою чергу, обґрунтовує можливість пришвидшити посування лави. Такий основний висновок підсилюється ще одним експериментально встановленим фактом – за рекомендованих схем розташування дегазаційних свердловин коефіцієнт дегазації зростає (по відношенню до такого за існуючих параметрів) у діапазонах 9 – 46% (501 лава), 20 – 56% (503 лава), 13 – 27% (962 лава), 10 – 28% (1043 лава). Таким чином, з'являється резерв підвищення продуктивності вуглевидобутку за «газовим фактором» і він може стати другорядним по відношенню до інших конструктивно-технологічних факторів роботи високонавантажених лав [10].

Наступний технологічний фактор, що впливає на ефективність дегазації (за результатами моделювання МСЕ), позиціонується як кут  $\beta_6$  нахилу до площини нашарування вугільного пласта дегазаційних свердловин. Експериментальне виявлення впливу кута  $\beta_6$  на коефіцієнт дегазації  $K_{dez}^p$  і  $K_{dez}$  стикається з певними труднощами по відокремленню дії інших факторів, що було вже описано у §4.1. Тим не менш, за допомогою обмеження варіації значень кута  $\beta_6$  трьома величинами, одна з яких є «базовою», а дві інші відрізняються на 10 – 12° у обидва боки від неї, з'явилася можливість винайти ділянки виїмкового стовпа з приблизно однаковою текстурою і швидкістю  $V_L$  посування лави. В результаті для кожної виїмкової дільниці (з переліку досліджуваних) визначено по три величини  $K_{dez}$  за різних кутів  $\beta_6$  нахилу у діапазоні варіації  $43^\circ \leq \beta_6 \leq 68^\circ$ . Тут треба зазначити, що дана ланка експериментальних вимірювань не поділяє значення параметра  $\beta_6$  на раціональні (рекомендовані) і нераціональні, бо головна мета

досліджень – довести (або спростувати) суттєвість впливу кута  $\beta_6$  нахилу дегазаційних свердловин на ефективність технології дільничної дегазації.

Результати досліджень у вигляді графіків залежностей  $K_{dez}(\beta_6)$  наведено на рис. 4.7, з яких видно, що тенденції впливу кута  $\beta_6$  дещо неоднозначні. Наприклад, для виїмкових дільниць №№501, 503 і 962 шахти ім. Героїв Космосу має місце підвищення величини  $K_{dez}$  при рості кута  $\beta_6$  нахилу дегазаційних свердловин і цей ріст відбувається на всьому інтервалі зміни  $\beta_6$ . Але градієнт підвищення  $K_{dez}$  зменшується з ростом  $\beta_6$ , що вказує на наближення до деякого максимуму, тобто в наших дослідженнях – до раціонального значення  $\beta_6$ . На існуванні такого значення вказують графіки залежності  $K_{dez}(\beta_6)$  для інших виїмкових дільниць: №1124 шахти ім. Героїв Космосу та №№885 і 1043 шахти «Західно-Донбаська». Тут чітко прослідковується максимум  $K_{dez}$ , але за наявності всього трьох експериментальних точок на графіках ми не можемо стверджувати про достовірність раціональних значень кута  $\beta_6$  нахилу дегазаційних свердловин. Що можна стверджувати напевно, то це суттєвість впливу  $\beta_6$ ; різниця між величинами  $K_{dez}$  за різних значень  $\beta_6$  склала: 36% для 501 лави, 29% для 503 лави, 17% для 962 лави, 56% для 1124 лави шахти ім. Героїв Космосу та 20% для 885 лави і 24% для 1043 лави шахти «Західно-Донбаська».

Пояснення механізму впливу кута  $\beta_6$  нахилу свердловин на ефективність процесу дільничної дегазації надано у попередніх розділах 2 і 3, а зараз суттєвість залежності  $K_{dez}(\beta_6)$  підтверджена експериментально. У цьому сенсі нагадаємо, що раніше було обґрунтовано умови ефективного газуловлювання, які рекомендують: по-перше, перетин свердловинами областей зміни знаку кривизни вигину літотипів позаду лави і, по-друге, перетин свердловинами областей максимального вигину найбільш жорстких літотипів у привибійній частині надвугільної товщі.

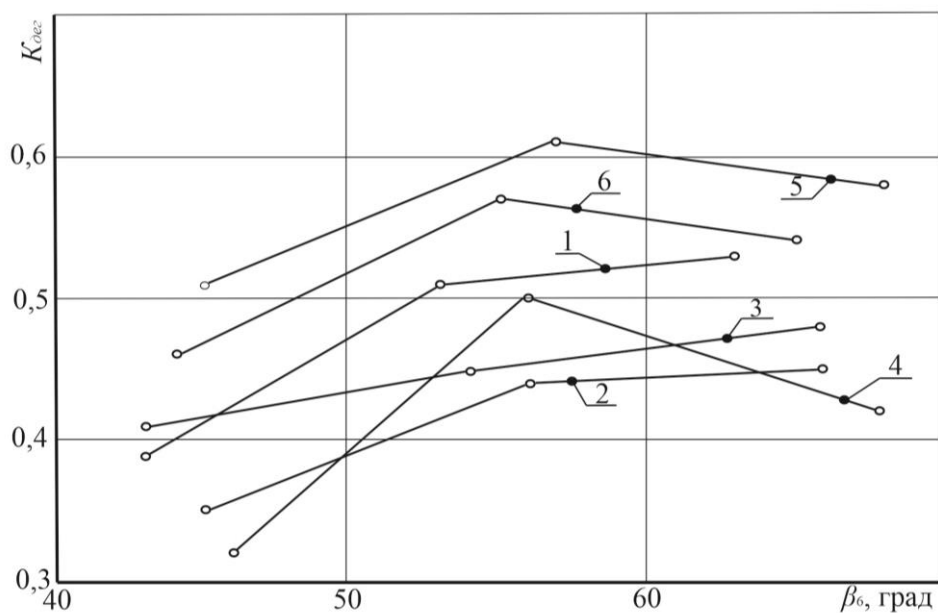


Рисунок 4.7 – Закономірності впливу кута  $\beta_6$  нахилу (до площини нашарування вугільного пласта) свердловин на ефективність дегазації: 501 (1), 503 (2), 962 (3) і 1124 (4) лави шахти ім. Героїв Космосу; 885 (5) і 1043 (6) лави шахти Західно-Донбаська»

Таким чином, наведені результати вимірювань коефіцієнта дегазації обґрунтовують необхідність урахування кута  $\beta_6$  нахилу дегазаційних свердловин в алгоритмі пошуку ефективних параметрів технології дільничної дегазації, бо вплив  $\beta_6$  на коефіцієнт дегазації становить у середньому 20 – 30%.

З низки впливових технологічних факторів у нас залишається ще не дослідженим такий параметр, як відстань (крок)  $l_2$  буріння свердловин уздовж виїмкового штреку. За теоретичних досліджень (моделювання МКЕ) крок  $l_2$  було рекомендовано обирати відповідно відстані  $a_{II}$  дії максимальних загальних напружень від площини очисного вибою (див. розділ 3). З погляду на імовірну тенденцію зв'язку  $K_{deg}$  і  $l_2$  можна заздалегідь припустити, що зі зменшенням відстані  $l_2$  між свердловинами буде підвищуватися об'єм метану, що уловлюється. Але також треба усвідомити, що надщільне розташування дегазаційних свердловин збільшить витрати на їх буріння і дещо зменшить можливі темпи посування лави. Зважаючи на викладені аргументи інтервал

варіації кроку  $l_2$  обраний у межах  $8 \leq l_2 \leq 16$  м з урахуванням досвіду виконання операцій дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу. Що стосується методичних правил відбору експериментальних ділянок (у межах конкретного виїмкового стовпа), то тут використані ті ж самі положення: приблизно однакова текстура надвугільної товщі з невеликою різницею у глибині розташування лави і швидкості її посування. Відмінність полягає у тому, що фіксується постійний кут  $\beta_6$  нахилу свердловин, величина якого приймається за існуючих на дільниці параметрів їх буріння.

Результати вимірювань і розрахунків коефіцієнта дегазації  $K_{dez}$  показані на графіках рис. 4.8 окремо для кожної виїмкової дільниці, що досліджувалися. Як і передбачалося, на усіх виїмкових дільницях зафіксовано зростання  $K_{dez}$  зі зменшенням  $l_2$ : на 26% для 501 лави, на 47% для 503 лави, на 26% для 962 лави і на 40% для 1124 лави шахти ім. Героїв Космосу; на 51% для 885 лави і на 31% для 1043 лави шахти «Західно-Донбаська». Такий рівень впливу (у середньому 30 – 40%) повинен враховуватися при обґрунтуванні доцільних параметрів технології дільничної дегазації. Також, з огляду на виявлені тенденції, можна порекомендувати обмеження раціональних значень кроку  $l_2$  інтервалом  $9 \leq l_2 \leq 13$  м, де коефіцієнт дегазації  $K_{dez}$  має підвищені показники (рис. 4.8).

Узагальнюючи результати експериментальних досліджень можна стверджувати, що вони на непрямих показниках (коефіцієнт дегазації) підтвердили в цілому тенденції впливу геомеханічних і технологічних факторів на ефективність дільничної дегазації при високошвидкісному відпрацюванні вугільних пластів на шахтах Західного Донбасу. Також підтверджено доцільність використання запропонованих (по результатам моделювання МСЕ) рекомендацій по вибору параметрів дільничної дегазації, які дозволять у середньому на третину підвищити продуктивність очисних вибоїв за так званим «газовим фактором».

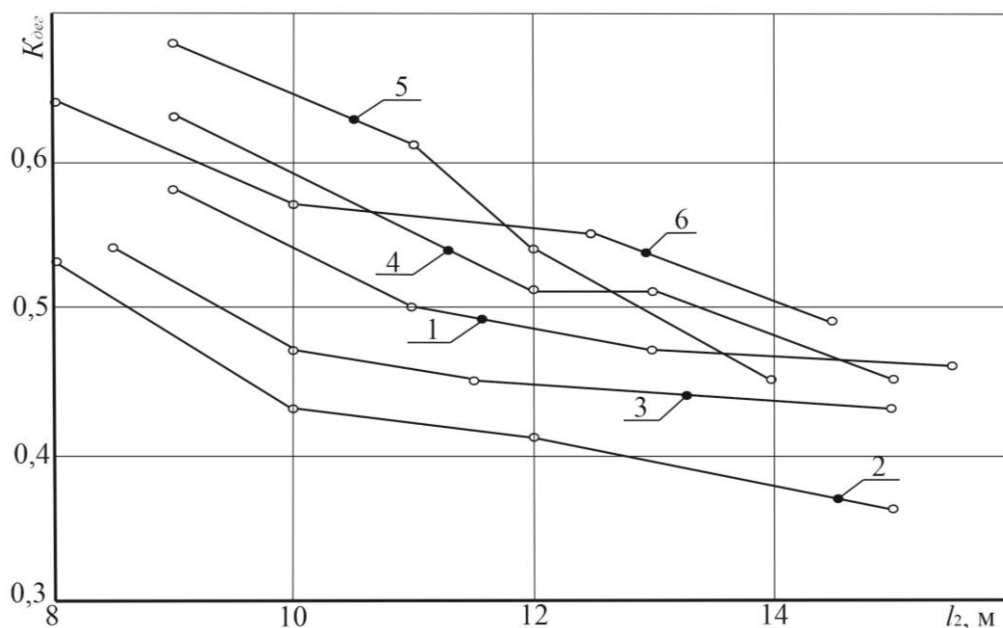


Рисунок 4.8 – Закономірності впливу кроку  $l_2$  буріння свердловин на ефективність дегазації: 501 (1), 503 (2), 962 (3) і 1124 (4) лави шахти ім. Героїв Космосу; 885 (5) і 1043 (6) лави шахти Західно-Донбаська»

Тому певною мірою прибираються ці обмеження і відкривається можливість для вдосконалення інших факторів організаційно-технологічного характеру в напрямі скорочення витрат часу на технологічні операції та прискорення темпів посування лави і зростання обсягів вуглевидобутку.

#### 4.5 Методика вибору параметрів дільничної дегазації

Алгоритм розрахунку параметрів розташування дільничних дегазаційних свердловин докладно викладений у §3.4.2, а зараз наведені деякі уточнення за результатами експериментальних досліджень, бо вивчення процесу дегазації на шести виїмкових дільницях двох шахт не виявило принципових розбіжностей з результатами моделювання МСЕ.

Розрахунок проводиться на основі даних з гірничо-геологічного прогнозу (глибина ведення очисних робіт, текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі), паспорту лави (планові показники її посування, схеми розміщення обладнання на кінцевих ділянках лави) і паспорту дегазації (схеми розміщення бурового обладнання). Ці відомості є вихідними даними, за якими

прийнято наступну послідовність обчислень [11], [12], [13].

1. Розраховується кут  $\beta_4$  нахилу траси дегазаційної свердловин за простяганням вугільного пласта за формулою (3.38) і кут  $\beta_5$  розвороту дегазаційної свердловини у напрямку підняття вугільного пласта за формулою (3.39). Для цього необхідно виконати обчислення проміжних параметрів за формулами (3.23) – (3.32).

2. Визначається кут  $\beta_6$  нахилу траси дегазаційної свердловини до площини нашарування вугільного пласта за формулою (3.40). Бажано, щоб розрахункова величина  $\beta_6$  попадала в експериментально визначений раціональний діапазон  $55^\circ \leq \beta_6 \leq 65^\circ$ ; тоді підвищується достовірність наших рекомендацій.

3. Розраховується крок  $l_2$  буріння дегазаційних свердловин за формулою (3.42); перед цим треба провести обчислення проміжного параметра  $a_{II}$  за формулами (3.33) – (3.37). Для підвищення достовірності рекомендацій щодо вибору величини  $l_2$  бажано, щоб вона знаходилася у діапазоні  $9 \leq l_2 \leq 13$  м.

4. Час буріння наступної свердловини визначається за умови, коли відстань її гирла від огорожі секції механізованого кріплення наближається до величини  $l_1$ , що визначається за формулою (3.41).

5. Довжина  $l_{св}$  дегазаційної свердловини визначається за формулою (3.43). Але при швидкостях посування лави  $V_l \geq 7$  м/добу довжина свердловини може скорочуватися на 25 – 40%, бо висота розшарування надвугільної товщі буде обмежена.

6. Розрахункові параметри схем розташування дегазаційних свердловин проходять перевірку на 20 – 30 м довжини виїмкового штреку. За необхідності параметри буріння свердловин корегують.

Практичне значення розробленої методики (Додаток Б) полягає у тому, що за рахунок підвищення продуктивності роботи очисних вибоїв з'являється можливість отримати додатковий економічний ефект у розмірі 91,71 млн грн по шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (Додаток В).

#### 4.6 Висновки за розділом

Комплекс шахтних інструментальних спостережень за процесами газовиділення і газозуловлювання в технології дільничної дегазації дозволив отримати багатофакторну інформацію про вплив на них геомеханічних і технологічних факторів, провести порівняльний аналіз результатів аналітичних та експериментальних досліджень, що за кінцевим рахунком сприяло створенню методики вибору раціональних параметрів схем розташування дегазаційних свердловин при високопродуктивному відпрацюванні вугільних пластів у Західному Донбасі.

1. Розроблено нову методику, що відрізняється від існуючих сумісним урахуванням багатопараметричних геомеханічних і технологічних факторів дегазації виїмкових дільниць. Обґрунтовано три основні методичні положення на базі виконаних аналітичних досліджень МСЕ. Вони увійшли у новостворений алгоритм проведення шахтних експериментів, що складається з трьох взаємопов'язаних етапів: загальна перевірка достовірності рекомендацій, що сформовані аналітичним шляхом за допомогою МСЕ; оцінка об'єктивності закономірностей впливу геомеханічних факторів на процес дільничної дегазації; вивчення впливу на ефективність дегазації низки її технологічних параметрів. У такій постановці шахтні дослідження проводяться вперше і дозволяють всебічно оцінити адекватність і достовірність рекомендацій щодо визначення раціональних параметрів технології дільничної дегазації на шахтах Західного Донбасу.

2. На етапі загальної експериментальної оцінки об'єктивності рекомендацій стабільно (для різних гірничо-геологічних умов) простежується головна тенденція: коефіцієнт дегазації за рекомендованими параметрами перевищує відповідний для існуючих на шахтах схемах розташування дегазаційних свердловин. Об'єктивність такого висновку підтверджено експериментальними вимірюваннями на шести виїмкових дільницях двох шахт – діапазон відносного підвищення коефіцієнта дегазації коливається від 19% до 123%. Отримані дані не тільки підтверджують позитивний ефект, але й обґрунтовують доцільність наступних, більш детермінованих етапів шахтних досліджень технології

дільничної дегазації за рекомендованими схемами розташування дегазаційних свердловин.

3. Зафіксовано суттєвий вплив (до 35 – 60%) текстури надвугільної товщі на коефіцієнт дегазації; цей вплив діє незалежно від інших геомеханічних і технологічних факторів відробки вугільних пластів у Західному Донбасі. Тому тип текстури обов'язково треба враховувати при виборі параметрів технології дільничної дегазації. Одночасно набуто підтвердження доцільності використання розроблених рекомендацій – незалежно від текстури надвугільної товщі і глибини розташування лави коефіцієнт дегазації зріс на 19 – 82% у порівнянні з існуючими схемами розташування дегазаційних свердловин.

4. Незважаючи на помірність впливу механічних властивостей порід надвугільної товщі (5 – 17% за рекомендованими і 4 – 24% за існуючими схемами розташування дегазаційних свердловин) цей геомеханічний фактор теж потрібно врахувати при обґрунтуванні параметрів технології дільничної дегазації, бо кінцевий багатопараметричний вплив геомеханічних факторів складається з сумарної дії кожного з них. А суттєвість такого впливу опосередковано підтверджують ще одні дані про перевищення коефіцієнта дегазації  $K_{deg}^p$  за рекомендованими параметрами над існуючими схемами розташування дегазаційних свердловин на 24 – 38% при понижених механічних властивостях і на 25 – 49% при усереднених механічних властивостях порід надвугільної товщі.

5. Експериментально встановлено, що підвищення швидкості  $V_L$  посування лави (у середньому на 30 – 45%) сприяє зростанню ефективності газозуловлювання у середньому на 25 – 40% у різних гірничо-геологічних умовах відпрацювання вугільних пластів у Західному Донбасі. Тобто, виявлені тенденції, що працюють у єдиному напрямі підвищення продуктивності вуглевидобутку: зростання  $V_L$  призводить до зниження надходження метану у прилеглі виробки, а це, у свою чергу, обґрунтовує можливість прискорити посування лави. Такий висновок підсилюється експериментально встановленим фактом зростання (від 10 – 28% до 20 – 56%) коефіцієнта дегазації за рекомендованими схемами розташування



дільничних дегазаційних свердловин. Таким чином, з'являється резерв підвищення продуктивності вуглевидобутку за «газовим фактором» і він може стати другорядним по відношенню до організаційно-технологічних факторів роботи високонавантажених лав.

6. Вплив кута  $\beta_6$  нахилу свердловин на коефіцієнт дегазації становить у середньому 20 – 30% за різних гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільних пластів у Західному Донбасі, що обґрунтовує необхідність його урахування в алгоритмі пошуку ефективних параметрів технології дільничної дегазації.

7. Крок  $l_2$  буріння дегазаційних свердловин уздовж виїмкового штреку має середній рівень 30 – 40% впливу на коефіцієнт дегазації; тому параметр  $l_2$  треба враховувати при обґрунтуванні технологічних факторів дільничної дегазації. За результатами експериментальних досліджень рекомендовано крок  $l_2$  в інтервалі  $9 \leq l_2 \leq 13$  м, де  $K_{dez}$  має підвищені показники.

8. Узагальнюючи результати експериментальних досліджень можна стверджувати, що вони на непрямих показниках (коефіцієнт дегазації) підтвердили в цілому тенденції впливу геомеханічних і технологічних факторів на ефективність дільничної дегазації при високошвидкісному відпрацюванні вугільних пластів на шахтах Західного Донбасу. Також підтверджено доцільність використання запропонованих (при моделюванні МСЕ) рекомендацій щодо вибору параметрів технології дільничної дегазації, які дозволяють у середньому на третину підвищити продуктивність очисних вибоїв за так званім «газовим фактором». Тому певною мірою прибираються ці обмеження і відкривається можливість для вдосконалення інших факторів організаційно-технологічного характеру в напрямі скорочення витрат часу на технологічні операції та прискорення темпів посування лави і зростання обсягів вуглевидобутку. Це дозволяє отримати додатковий економічний ефект у розмірі 91,71 млн грн по шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

## Список використаних джерел до розділу 4

1. Бондаренко, В.І., Кузьменко, О.М., Гайдук, В.А. та ін. (2005). *Технологія підземної розробки пластових родовищ корисних копалин*. Дніпропетровськ: НГУ, 708 с.
2. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Черватюк, В.Г., Симанович, Г.А., & Ковалевська, І.А. (2024). *Прикладні задачі геомеханіки вугільних шахт. Книга 1. Моделювання гірського масиву*. Дніпро: ЛПрес, 516 с.
3. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, H., Barabash, M., Chervatiuk, V., Husiev, O., & Snihur, V. (2020). *Combined roof-bolting systems of mine workings*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 283 p.
4. Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Ganushevych, K. (2014). *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 534 p. <https://doi.org/10.1201/b17547>
5. Pivnyak, G., Bondarenko, V., & Kovalevska, I. (2015). *New Developments in Mining Engineering 2015*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 616 p. <https://doi.org/10.1201/b19901>
6. Kovalevska, I., Zhuravkov, M., Chervatiuk, V., Husiev, O., & Snihur, V. (2019). Generalization of trends in the influence of geomechanics factors on the choice of operation modes for the fastening system in the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 13(3), 1-11. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.001>
7. Bondarenko, V., Salieiev, I., Symanovych, H., Kovalevska I., & Shyshov, M. (2023). Substantiating the Patterns of Geomechanical Factors Influence on the Shear Parameters of the Coal-Overlaying Formation Requiring Degassing at High Advance Rates of Stopping Faces in the Western Donbas. *Inżynieria Mineralna*, 1(51), 23-32. <http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-03>
8. Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., Ковалевська, І.А., Симанович, Г.А., Шишов, М.В., & Малова, О.К. (2023). Розвиток уявлень про механізм зсуву надвугільної товщі з погляду його впливу на параметри дільничної дегазації в умовах Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*, (72), 27-39. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.027>

9. Kovalevska, I., Shyshov, M., & Cherednychenko, Yu. (2023). Development of ideas on deformation of the gas-saturated coal-overlying formation in the conditions of stratified mass of weakly metamorphosed Western Donbas rocks. *XVI th International Scientific & Practical Conference “Ukrainian School of Mining Engineering”* (pp. 3-4). Skhidnytsia, Ukraine. <https://doi.org/10.33271/usme16.003>

10. Bondarenko, V., Salieiev, I., Kovalevska, I., Symanovych, H., & Shyshov, M. (2023). Substantiating the expedient route parameters for the location of the site outgassing wells in the Western Donbas conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (1348), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012032>

11. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Cawood, F., Husiev, O., Snihur, V. & Jimu, D. (2021). Development and testing of an algorithm for calculating the load on support of mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 15(1), 1-10. <https://doi.org/10.33271/mining15.01.001>

12. Pivnyak, G., Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Illiashov, M. (2012). *Geomechanical processes during underground mining – Proceedings of the School of Underground Mining*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 300 p. <https://doi.org/10.1201/b13157>

13. Pivnyak, G., Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Illiashov, M. (2013). *Mining of Mineral Deposits*. London, United Kingdom: CRC Press, Taylor & Francis Group, 382 p. <https://doi.org/10.1201/b16354>

## ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, надано нове рішення важливої наукової задачі, яка полягає у встановленні закономірностей впливу геомеханічних і технологічних факторів на процеси зсуву і дегазації слабометаморфізованих порід надвугільної товщі в районі лави з урахуванням високих швидкостей її посування, що дозволяє певною мірою прибрати обмеження видобутку вугілля за газовим фактором.

1. Аналіз існуючих уявлень про процеси зсуву надвугільної товщі в районі ведення очисних робіт у сукупності з особливостями її деформування щодо слабометаморфізованих порід Західного Донбасу з урахуванням підвищених швидкостей посування очисних вибоїв дозволив розвинути погляди на механізм перетворень текстури шаруватого масиву слабких порід з точки зору оптимізації параметрів технології дільничної дегазації вугільної шахти. З якісного боку побудовані схеми розвитку досліджуваного процесу дозволити стверджувати:

– використання дільничних дегазаційних свердловин доцільне на ділянці до 40 – 60 м позаду лави, тобто до межі зони стабілізації проявів гірського тиску, а буріння повинно бути з розворотом у бік очисного вибою, щоб захопити зону дії максимального фронтального опорного тиску; самі зони мають тенденції до скорочення при підвищених швидкостях посування очисного вибою;

– дегазаційна свердловина повинна перетинати області зміни знаку кривизни вигину літотипів з урахуванням варіації координат їх розташування позаду лави за високих швидкостей її посування; одночасно треба перетинати області максимального вигину газонасичених породних шарів у зоні фронтального опорного тиску, тобто зони максимального тріщиноутворення.

2. Кількісні закономірності зв'язку параметрів зсуву надвугільної товщі з геомеханічними і технологічними факторами визначено за допомогою МСЕ. Для цього обґрунтовано параметри просторової геомеханічної моделі відповідно до загально визнаних вимог. За результатами обчислювальних експериментів

отримано залежності для визначення доцільних трас розташування дегазаційних свердловин:

- з ростом глибини  $H$  ведення очисних робіт зафіксовано дві тенденції відносно координат дії максимальних деформацій вигину літотипів (попереду лави), що тотожно інтенсивному тріщиноутворенню: за глибин  $H \leq 300 - 350$  м відстань  $a_{II}$  розташування (від площини вибою) максимумів напружень вигину зростає досить повільно – до 30 – 50%; при переході на більш глибокі горизонти відстань  $a_{II}$  зростає до 3,3 – 4,2 разів за нелінійною залежністю;

- встановлено стійку тенденцію переміщення позначки максимуму вигину пісковика вглиб привибійної частини масиву (збільшення відстані  $a_{II}$ ) з його віддаленням у покрівлю від вугільного пласта та зменшенням потужності пісковика;

- параметр  $a_{II}$  має залежність від механічних властивостей літотипів надвугільної товщі – за їх понижених характеристик зафіксований відносний вплив у діапазоні 36 – 133% порівняно з підвищеними механічними характеристиками літотипів;

- за простяганням вугільного пласта встановлено тенденцію зростання кута  $\beta_3$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів в міру відходу очисного вибою від координати розташування гирла дегазаційної свердловини, а майже лінійний вплив  $H$  додає підвищення величини  $\beta_3$  до  $6^\circ$  для переважно тонко- і середньосаруватої текстури і до  $8^\circ$  для переважно крупно- і середньосаруватої текстури;

- зі збільшенням  $H$  спостерігається зростання кута  $\beta_1$  нахилу лінії зміни знаку кривизни вигину літотипів за падінням-підняттям пласта – для переважно тонко- і середньосаруватої текстури в діапазоні  $71,8 - 84,6^\circ$ ; для переважно крупно- і середньосаруватої текстури в інтервалі  $65,6 - 83,4^\circ$ ;

- зафіксовано суттєвий вплив механічних властивостей літотипів надвугільної товщі на параметри  $\beta_1$  і  $\beta_3$  та надано відповідне геомеханічне пояснення встановленим закономірностям.

3. Перевірка об'єктивності отриманих результатів при порівнянні з існуючими дослідженнями впливу геомеханічних факторів довела достовірність отриманих тенденцій за їх якісного співпадіння щодо інших умов залягання пологих пластів Донбасу.

4. Обґрунтовано загальні положення до вивчення впливу швидкості  $V_L$  посування лави на параметри зсуву надвугільної товщі у вироблений простір. Розроблено алгоритм урахування  $V_L$  при розрахунках НДС гірського масиву навколо лави; цей алгоритм дозволяє вирішити задачу поєднання кінематики і статички у розрахунках НДС гірського масиву при обмеженні похибки обчислень у припустимих її коливаннях щодо гірничо-технічних розрахунків.

5. Виявлено стабільні тенденції впливу швидкості  $V_L$  посування лави на ключові параметри ( $\beta_1$ ,  $\beta_3$  і  $a_{II}$ ) зсуву надвугільної товщі, які діють незалежно від геомеханічних факторів. Це дозволило врахувати вплив  $V_L$  у вигляді окремих функцій, що додаються у якості множника до вже визначених рівнянь регресії залежностей впливу глибини розташування лави, текстури і механічних властивостей породних шарів надвугільної товщі.

Користуватися встановленими закономірностями можна за допомогою низки графіків відповідних залежностей, або рівнянь регресії, що отримані за даними обчислювальних експериментів. Таким чином, визначено кількісний зв'язок ключових параметрів зсуву надвугільної товщі з найбільш впливовими геомеханічними і технологічними факторами, що дозволяє обирати доцільні схеми розташування дегазаційних свердловин.

6. Визначено умови і розроблено критерії щодо координат найбільш ефективних трас розташування дільничних дегазаційних свердловин. Ці критерії у комплексі з отриманими залежностями ключових параметрів зсуву надвугільної товщі дозволили створити методику розрахунку доцільних координат буріння дегазаційних свердловин за результатами моделювань МСЕ.

7. Комплекс шахтних інструментальних спостережень за процесами газовиділення і газоуловлювання в технології дільничної дегазації дозволив

отримати багатофакторну інформацію про вплив на них геомеханічних і технологічних чинників, провести порівняльний аналіз результатів аналітичних та експериментальних досліджень. Розроблено нову методику, що відрізняється від існуючих сумісним урахуванням багатофакторних геомеханічних і технологічних чинників дегазації виїмкових ділянок. Обґрунтовано три основні методичні положення на базі виконаних аналітичних досліджень МСЕ. Вони увійшли у новостворений алгоритм проведення шахтних експериментів, що складається з трьох взаємопов'язаних етапів: загальна перевірка достовірності рекомендацій, що сформовані аналітично; оцінка об'єктивності закономірностей впливу геомеханічних факторів на процес діляночної дегазації; вивчення впливу на ефективність дегазації низки її технологічних параметрів. Розроблено програму в програмне середовище Microsoft Visual Studio Community 2022.

8. На етапі загальної експериментальної оцінки об'єктивності рекомендацій стабільно (для різних гірничо-геологічних умов) простежується головна тенденція: коефіцієнт дегазації за рекомендованими параметрами перевищує відповідний для існуючих на шахтах схем розташування дегазаційних свердловин. Об'єктивність такого висновку підтверджено вимірюваннями на шести виїмкових ділянках двох шахт – діапазон зміни відносного підвищення коефіцієнта дегазації коливається від 19% до 123%.

9. Наступні, більш детерміновані, етапи шахтних досліджень також дали позитивні результати:

– зафіксовано суттєвий вплив (до 35 – 60%) текстури надвугільної товщі на коефіцієнт дегазації;

– незважаючи на помірність впливу механічних властивостей порід надвугільної товщі (5 – 17% за рекомендованими і 4 – 24% за існуючими схемами розташування дегазаційних свердловин) цей геомеханічний фактор теж необхідно врахувати, бо кінцевий багатофакторний вплив геомеханічних чинників складається з сумарної дії кожного з них;

– підвищення швидкості  $V_n$  посування лави (у середньому на 30 – 45%) сприяє зростанню ефективності газозуловлювання (у середньому на 25 – 40%) у

різних гірничо-геологічних умовах відпрацювання вугільних пластів у Західному Донбасі;

– вплив кута нахилу (до площини нашарування) свердловин на коефіцієнт дегазації становить у середньому 20 – 30%, що обґрунтовує необхідність його врахування;

– крок  $l_2$  буріння дегазаційних свердловин має середній рівень 30 – 40% впливу на коефіцієнт дегазації; він має підвищені показники в інтервалі  $9 \leq l_2 \leq 13$  м.

10. Узагальнюючи результати експериментальних досліджень можна стверджувати, що вони на непрямих показниках (коефіцієнт дегазації) підтвердили тенденції впливу геомеханічних і технологічних факторів на ефективність дільничної дегазації при високошвидкісному відпрацюванні вугільних пластів на шахтах Західного Донбасу. Це обґрунтовує доцільність використання розробленої методики вибору параметрів дегазації, що дозволяє у середньому на третину підвищити продуктивність очисних вибоїв за так званім «газовим фактором». Тому певною мірою прибираються ці обмеження і відкривається можливість для вдосконалення інших факторів організаційно-технологічного характеру в напрямі прискорення темпів посунання лави і зростання обсягів вуглевидобутку.

За рахунок підвищення продуктивності роботи очисних вибоїв з'являється можливість отримати додатковий економічний ефект у розмірі 91,71 млн грн по шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».



## ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ДЕГАЗАЦІЇ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ВИЙМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ MICROSOFT VISUAL STUDIO COMMUNITY 2022

```

C:\Users\pc2_4\OneDrive\Pop X + v - □ X

b1:      -52,276626275254536
b3:      93,01
CLV: 1
a_Pis: 13,33301661281768
Введіть відстань розташування пісковика від підшови
10
Введіть sh1 - Ширина охороної системи штреку
2
Введіть sh2 - відстань розташування пісковика бурового обладнання
7
b4      0
Input LOB
2
INPUT c2: 2-3м
2
b5      1,3258176636680326
Введіть Hm
10
Введіть delta_per
2
b6      1,460139105621001
-----
ALL OUTPUT b1:-52,276626275254536      b3:93,01      Kv11,14      Nv1 1,31+a_Pis:13,333016
61281768      b4:0 b5:1,3258176636680326      b6:1,460139105621001      L1:2      L2:13,3330166128
1768 +LSV:12,061539042374907      delPer:2
the End
PROSTO READLINE
|

```

```

using static System.Linq.Expressions.SwitchCase;
using System.Globalization;
using System.Security.Cryptography.X509Certificates;
using System.Text;
using System.Threading.Channels;

//Console.OutputEncoding = Encoding.GetEncoding(1251);
Console.WriteLine("Hello, BlackGold!");

// Display the name of the current thread culture.

double H = 0; // глибина_ очисних робіт
double V = 0; // швидкість просування лави

string[] reg = { "d", "p" }; // region видобутку 1

string[] type = { "ton", "normal" }; // ton - тонко шарувата структура || normal - середньо шарувата структура ; 2

double heighth_pisckov = 0;
double power_pisckov = 0;

string[] property = { "hipro", "downpro" }; // (підвищені мех властивості) | (понижені мех властивості) 3

double Kv1 = 1.14 - (0.028 * V);

double Nv1 = 1.31 - (0.062 * V);

```

```

double Nvl = 1.31 - (0.862 * V);

//
Console.WriteLine("Введіть висоту");
string inputH = Console.ReadLine();

Console.WriteLine("Введіть швидкість лави");

string inputV = Console.ReadLine();

H = Convert.ToDouble(inputH);
V = Convert.ToDouble(inputV);
//string output = ((H + V).ToString());
//Console.WriteLine(output);
Console.WriteLine(Kvl);

Console.WriteLine("Оберіть тип структури:\n " +
    "'тон' - тонко шарувата" +
    "\n 'normal' -середньшарувата ");

string inputt = Console.ReadLine();

switch (inputt)
{
    case "тон":
        Console.WriteLine("оберіть мех. властивості: " +
            "\n 'hipro' - підвищені механічні властивості \n" +
            "'downpro' - понижжені механічні властивості ");
        string inputpop = Console.ReadLine();
        switch (inputpop)
        {
            case "hipro":
                Console.WriteLine("обчислення кута b1/b3\n");

```

```

case "hipro":
    Console.WriteLine("обчислення кута b1/b3\n");

    Console.WriteLine("");

    var b1_1 = Kvl * (136.3 - 133.3 * Math.Pow(H, -0.815));

    Console.WriteLine($"b1: \t {b1_1}"); // кут нахилу ліній змінних знаку літотипів за падінням

    var b3_1 = Nvl * (62.8 + 0.33 * H);

    Console.WriteLine($"b3: \t {b3_1}"); // кут нахилу ліній змінних знаку літотипів за простяганням

    Console.WriteLine();

    Console.WriteLine("input висота пісковики і ");

    heigth_pisckov = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

    Console.WriteLine(" input потужність ");

    power_pisckov = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

    if (((power_pisckov <= 3) && (heigth_pisckov >= 12 || heigth_pisckov < 15)))
    {
        var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;

        Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");

        var a_Pis = C_V_L * (3.2 + 0.27 * Math.Pow((H / 100), 2.06));

        Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}"); // максимальний вигин пісковики в привибійній зоні

        // IN

```

```

// IN
double c1 = 0;
double sh1_oks = 0; // sh1 - Ширина охороної системи штреку
double sh2_obbb = 0; //sh2 - відстань розташування пісковики бурового обладнання

Console.WriteLine("Введіть C1 - відстань розташування пісковики від підшви ");
string c1 = Console.ReadLine();

C1 = Convert.ToDouble(c1);

Console.WriteLine("Введіть sh1 - Ширина охороної системи штреку ");
string sh1 = Console.ReadLine();
sh1_oks = Convert.ToDouble(sh1);

Console.WriteLine("Введіть sh2 - відстань розташування пісковики бурового обладнання ");
string sh2 = Console.ReadLine();
sh2_obbb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_1 * Math.PI / 180);

double b4 = Math.Atan((heigth_pisckov / (heigth_pisckov * cotangent + C1 + sh1_oks + sh2_obbb)));

Console.WriteLine($"b4 \t {b4}"); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини.

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла

```

```

Console.WriteLine("Input LOB");
lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_1 * Math.PI / 180); // input c2

Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3м ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3м
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

b5_1 = (Math.Atan(heigth_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));

Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heigth_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_oks + sh2_obbb)); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2

L1 = heigth_pisckov * cotangent_1 + C2;

L2 = a_Pis;

// Hm
Console.WriteLine($"Введіть Hm");
double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

Console.WriteLine($"Введіть delta_per");

double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double Lsv = Hm/Math.Sin(b6_1) + delPer;

```

```

double Lsv = Hm/Math.Sin(b6_1) + delPer;
Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");
Console.WriteLine(new string('-',20));
Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_1} \t b3:{b3_1} \t Kvl{Kvl} \t Mvl {Mvl} + " +
    $"a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t + " +
    $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
}

else if ((power_pisckov >= 6) && (power_pisckov <= 8) && (heigth_pisckov <10)) //додано && (heigth_pisckov <10))
{
    var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;
    Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");
    var a_Pis = C_V_L * (1.5 + 0.25 * Math.Pow((H / 100), 1.77));
    Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}");
    // IN
    double C1 = 0; double sh1_okx = 0; double sh2_obb = 0;
    // c1 = відстань лінії посунень || double sh1 - ширина до охороної системи ||
    Console.WriteLine("Введіть відстань розташування пісковика від підшеви ");
    string c1 = Console.ReadLine();

```

```

C1 = Convert.ToDouble(c1);
string sh1 = Console.ReadLine();
sh1_okx = Convert.ToDouble(sh1);
Console.WriteLine("Введіть sh2 - відстань розташування пісковика бурового обладнання");
string sh2 = Console.ReadLine();
sh2_obb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_1 * Math.PI / 180);
double b4 = Math.Atan((heigth_pisckov / (heigth_pisckov * cotangent + C1 + sh1_okx + sh2_obb)));
Console.WriteLine($"b4 \t {b4}");
//-----

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла
Console.WriteLine("Input LOB");
lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_1 * Math.PI / 180); // innput c2
Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3m ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3m
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

```

```

b5_1 = (Math.Atan(heigth_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));
Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heigth_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_okx + sh2_obb)); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2

L1 = heigth_pisckov * cotangent_1 + C2;
L2 = a_Pis;

// Hm
Console.WriteLine($"Введіть Hm");
double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

Console.WriteLine($"Введіть delta_per");
double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double Lsv = Hm / Math.Sin(b6_1) + delPer;

Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");

Console.WriteLine(new string('-', 20));

Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_1} \t b3:{b3_1} \t Kvl{Kvl} \t Nvl {Nvl}+ " +
    $"a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t + " +
    $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");

```

```

}
break;
case "downpro":
    Console.WriteLine("обчислення кута b1/b3\n");

    Console.WriteLine("");

    var b1_2 = Kvl * (175.8 - 242.5 * Math.Pow(H, -0.815));

    Console.WriteLine($"b1: \t {b1_2}");

    var b3_2 = Nvl * (56.6 + 0.836 * H);

    Console.WriteLine($"b3: \t {b3_2}");

    if (((power_pisckov <= 3) && (heigth_pisckov >= 12 || heigth_pisckov < 15)))
    {
        var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;

        Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");

        var a_Pis = C_V_L * (5.6 + 0.54 * Math.Pow((H / 100), 1.92));

        Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}");

        double C1 = 0; double sh1_okx = 0; double sh2_obb = 0;

        // c1 = відстань лінії посунень || double sh1 - ширина до охороної системи ||

        Console.WriteLine("Введіть відстань розташування пісковика від підшви ");

        string c1 = Console.ReadLine();

```

```

C1 = Convert.ToDouble(c1);

Console.WriteLine("Введіть sh1 - Ширина охороної системи штреку");
string sh1 = Console.ReadLine();

sh1_okx = Convert.ToDouble(sh1);

Console.WriteLine("Введіть sh2 - відстань розташування пісковика бурового обладнання");
string sh2 = Console.ReadLine();
sh2_obb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_2 * Math.PI / 180);

double b4 = Math.Atan((heigth_pisckov / (heigth_pisckov * cotangent + C1 + sh1_okx + sh2_obb)));
Console.WriteLine($"{b4} \t {b4}");

//-----\

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла

Console.WriteLine("Input LOB");
lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_2 * Math.PI / 180); // input c2

Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3м ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3м

```

```

var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3м
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

b5_1 = (Math.Atan(heigth_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));
Console.WriteLine($"{b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heigth_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_okx + sh2_obb)); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2

L1 = heigth_pisckov * cotangent_1 + C2;
L2 = a_Pis;

// Hm
Console.WriteLine($"Введіть Hm");
double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

Console.WriteLine($"Введіть delta_per");

double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double Lsv = Hm / Math.Sin(b6_1) + delPer;

Console.WriteLine($"{b6_1} \t {b6_1} ");

Console.WriteLine(new string('-', 20));

```

```

Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_2} \t b3:{b3_2} \t Kvl{Kvl} \t Nvl {Nvl}+" +
    $"a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t +" +
    $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
}
else if ((power_pisckov >= 6) && (power_pisckov <= 8))
{
    var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;

    Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");

    var a_Pis = C_V_L * (4.2 + 0.43 * Math.Pow((H / 100), 1.45));

    Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}");

    double C1 = 0; double sh1_okx = 0; double sh2_obb = 0;

    // c1 = відстань лінії посуень || double sh1 - ширина до охорони системи ||
    Console.WriteLine("Введіть відстань розташування пісковика від підшви ");

    string c1 = Console.ReadLine();

    C1 = Convert.ToDouble(c1);
    Console.WriteLine("Введіть sh1 - Ширина охорони системи штреку");
    string sh1 = Console.ReadLine();

    sh1_okx = Convert.ToDouble(sh1);
    Console.WriteLine("Введіть sh2 - відстань розташування пісковика бурового обладнання");

    string sh2 = Console.ReadLine();

```

```

sh2_obb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_2 * Math.PI / 180);
double b4 = Math.Atan((heigh_pisckov / (heigh_pisckov * cotangent + C1 + sh1_okx + sh2_obb)));

Console.WriteLine($"b4 \t {b4}");

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла

Console.WriteLine("Input LOB");
lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_2 * Math.PI / 180); // input c2

Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3м ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3м
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

b5_1 = (Math.Atan(heigh_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));

Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heigh_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_okx + sh2_obb)); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2

```

```

        L1 = heigth_pisckov * cotangent_1 + C2;

        L2 = a_Pis;

        // Hm
        Console.WriteLine($"Введіть Hm");
        double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

        Console.WriteLine($"Введіть delta_per");

        double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

        double Lsv = Hm / Math.Sin(b6_1) + delPer;

        Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");

        Console.WriteLine(new string('-', 20));

        Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_2} \t b3:{b3_2} \t Kvl{Kvl} \t Nvl {Nvl} + " +
            $"a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t + " +
            $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
    }
    break;
}
break;

case "normal":
    Console.WriteLine("оберить мех. властивості: " +
        "\n 'hipro' - підвищені механічні властивості \n" +
        "'downpro' - понижені механічні властивості ");
    string inputpopp = Console.ReadLine();
    switch (inputpopp)
    {

```

```

string inputpopp = Console.ReadLine();
switch (inputpopp)
{
    case "hipro":
        Console.WriteLine("обчислення кута b1/b3\n");

        Console.WriteLine("");

        var b1_1 = Kvl * (122.1 - 102.3 * Math.Pow(H, -0.015));

        Console.WriteLine($"b1: \t {b1_1}");

        var b3_1 = Nvl * (43.8 + 0.33 * H);

        Console.WriteLine($"b3: \t {b3_1}");

        Console.WriteLine();

        Console.WriteLine("input висота пісковика i ");

        heigth_pisckov = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

        Console.WriteLine(" input потужність ");

        power_pisckov = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

        if (((power_pisckov <= 3) && (heigth_pisckov >= 12 || heigth_pisckov < 15)))
        {
            var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;

            Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");

            var a_Pis = C_V_L * (3.2 + 0.27 * Math.Pow((H / 100), 2.06));

```



```

Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}");

// IN

double C1 = 0; double sh1_okx = 0; double sh2_obb = 0;

Console.WriteLine("Введіть C1 - відстань розташування пісковика від підшви ");
string c1 = Console.ReadLine();
C1 = Convert.ToDouble(c1);

Console.WriteLine("Введіть sh1 - Ширина охорони системи штреку\r\n ");
string sh1 = Console.ReadLine();
sh1_okx = Convert.ToDouble(sh1);

Console.WriteLine("Введіть sh2 - відстань розташування пісковика бурового обладнання ");
string sh2 = Console.ReadLine();
sh2_obb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_1 * Math.PI / 180);

double b4 = Math.Atan((heighth_pisckov / (heighth_pisckov * cotangent + C1 + sh1_okx + sh2_obb)));

Console.WriteLine($"b4 \t {b4}");

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла

```

```

lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_1 * Math.PI / 180); // input c2

Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3м ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3m
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

b5_1 = (Math.Atan(heighth_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));

Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heighth_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_okx + sh2_obb)); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2

L1 = heighth_pisckov * cotangent_1 + C2;

L2 = a_Pis;

// Hm
Console.WriteLine($"Введіть Hm");
double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

Console.WriteLine($"Введіть delta_per");

double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double Lsv = Hm / Math.Sin(b6_1) + delPer;

Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");

```

```

Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");

Console.WriteLine(new string('-', 20));

Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_1} \t b3:{b3_1} \t Kvl{Kvl} \t Nvl {Nvl}+" +
    $"a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t +" +
    $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
}
else if ((power_pisckov >= 6) && (power_pisckov <= 8))
{
    var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;

    Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");

    var a_Pis = C_V_L * (1.5 + 0.25 * Math.Pow((H / 100), 1.77));

    Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}");

    // IN
    double C1 = 0; double sh1_okx = 0; double sh2_obb = 0;

    // c1 = відстань лінії посунень || double sh1 - ширина до охороної системи ||

    Console.WriteLine("Введіть відстань розташування пісковику від підшови ");

    string c1 = Console.ReadLine();

    C1 = Convert.ToDouble(c1);
    Console.WriteLine("Введіть sh1 - Ширина охороної системи штреку");

```

```

sh1_okx = Convert.ToDouble(sh1);
Console.WriteLine("Введіть sh2 - відстань розташування пісковику бурового обладнання");

string sh2 = Console.ReadLine();

sh2_obb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_1 * Math.PI / 180);

double b4 = Math.Atan((heigth_pisckov / (heigth_pisckov * cotangent + C1 + sh1_okx + sh2_obb)));

Console.WriteLine($"b4 \t {b4}");

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла

Console.WriteLine("Input LOB");
lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_1 * Math.PI / 180); // innput c2

Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3м ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3м
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

b5_1 = (Math.Atan(heigth_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));

Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

```

```

Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазацийних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heigth_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_okx + sh2_obb)); // кут нахилу траси дегазацийної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2

L1 = heigth_pisckov * cotangent_1 + C2;
L2 = a_Pis;

// Hm
Console.WriteLine($"Введіть Hm");
double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

Console.WriteLine($"Введіть delta_per");
double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double Lsv = Hm / Math.Sin(b6_1) + delPer;

Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");

Console.WriteLine(new string('-', 20));

Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_1} \t b3:{b3_1} \t Kvl{Kvl} \t Nvl {Nvl}" +
    $"a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t + " +
    $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
}

```

```

    $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
}
break;
case "downpro":
    Console.WriteLine("обчислення кута b1/b3\n");

    Console.WriteLine("");

    var b1_2 = Kvl * (156.8 - 231.5 * Math.Pow(H, -0.815));

    Console.WriteLine($"b1: \t {b1_2}");

    var b3_2 = Nvl * (43.2 + 0.833 * H);

    Console.WriteLine($"b3: \t {b3_2}");

    Console.WriteLine();

    if (((power_pisckov <= 3) && (heigth_pisckov >= 12 || heigth_pisckov < 15)))
    {
        var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;

        Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");

        var a_Pis = C_V_L * (5.6 + 0.54 * Math.Pow((H / 100), 1.92));

        Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}");

        double C1 = 0; double sh1_okx = 0; double sh2_obb = 0;

        // c1 = відстань лінії посунень || double sh1 - ширина до охороної системи ||

        Console.WriteLine("Введіть відстань розташування пісковика від підшови ");
    }
}
}

```

```

// c1 = відстань лінії посунень || double sh1 - ширина до охороної системи ||
Console.WriteLine("Введіть відстань розташування пісковика від підшви ");

string c1 = Console.ReadLine();

C1 = Convert.ToDouble(c1);
Console.WriteLine("Введіть sh1 - Ширина охороної системи штреку");

string sh1 = Console.ReadLine();

sh1_okx = Convert.ToDouble(sh1);
Console.WriteLine("Введіть sh2 - відстань розташування пісковика бурового обладнання");

string sh2 = Console.ReadLine();

sh2_obb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_2 * Math.PI / 180);

double b4 = Math.Atan((heigth_pisckov / (heigth_pisckov * cotangent + C1 + sh1_okx + sh2_obb)));

Console.WriteLine($"b4 \t {b4}");

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла

Console.WriteLine("Input LOB");
lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_2 * Math.PI / 180); // innput c2

```

```

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_2 * Math.PI / 180); // innput c2

Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3м ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3м
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

b5_1 = (Math.Atan(heigth_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));

Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heigth_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_okx + sh2_obb)); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2

L1 = heigth_pisckov * cotangent_1 + C2;

L2 = a_Pis;

// Hm
Console.WriteLine($"Введіть Hm");
double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

Console.WriteLine($"Введіть delta_per");

double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double Lsv = Hm / Math.Sin(b6_1) + delPer;

Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");
Console.WriteLine(new string('-', 20));

```

```

Console.WriteLine(new string('-', 20));

Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_2} \t b3:{b3_2} \t KvL{KvL} \t NvL {NvL}+ " +
    $"a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t + " +
    $"LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
}
else if ((power_pisckov >= 6) && (power_pisckov <= 8))
{
    var C_V_L = 1.22 - 0.044 * V;

    Console.WriteLine($"CLV: {C_V_L}");

    var a_Pis = C_V_L * (4.2 + 0.43 * Math.Pow((H / 100), 1.45));

    Console.WriteLine($"a_Pis: {a_Pis}");

    double C1 = 0; double sh1_okx = 0; double sh2_obbb = 0;

    // c1 = відстань лінії посуень || double sh1 - ширина до охороної системи ||

    Console.WriteLine("Введіть відстань розташування пісковика від підшови ");

    string c1 = Console.ReadLine();

    C1 = Convert.ToDouble(c1);

    string sh1 = Console.ReadLine();

    sh1_okx = Convert.ToDouble(sh1);

    string sh2 = Console.ReadLine();

    sh2_obbb = Convert.ToDouble(sh2);

```

```

sh2_obbb = Convert.ToDouble(sh2);

double cotangent = Math.Tan(Math.PI / 2 - b3_2 * Math.PI / 180);

double b4 = Math.Atan((heigth_pisckov / (heigth_pisckov * cotangent + C1 + sh1_okx + sh2_obbb)));

Console.WriteLine($"b4 \t {b4}");

double b5_1; // кут розвороту дегазаційних свердловин
double lob; // відстань розташування бурового обладнання від гирла

Console.WriteLine("Input LOB");
lob = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

double cotangent_1 = Math.Tan(Math.PI / 2 - b1_2 * Math.PI / 180); // input c2

Console.WriteLine("INPUT c2: 2-3м ");
var c2 = Console.ReadLine(); // 2-3м
double C2 = Convert.ToDouble(c2);

b5_1 = (Math.Atan(heigth_pisckov * cotangent_1 + C2 + lob));

Console.WriteLine($" b5 \t {b5_1}"); // кут розвороту дегазаційних свердловин

double b6_1 = Math.Atan(((heigth_pisckov * Math.Sin(b5_1)) / C1 + sh1_okx + sh2_obbb)); // кут нахилу траси дегазаційної свердловини

double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1

```

```

ocalizationService.cs Program.cs
SwitchCase
817 double L1; // відстань огороження секцій механізованого кріплення L1
818 double L2; // відстань між гилами наступних свердловин L2
819
820 L1 = height_pisckov * cotangent_1 + C2;
821
822 L2 = a_Pis;
823
824 // Hm
825 Console.WriteLine($"Введіть Hm");
826 double Hm = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
827
828 Console.WriteLine($"Введіть delta_per");
829
830 double delPer = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
831
832 double Lsv = Hm / Math.Sin(b6_1) + delPer;
833
834 Console.WriteLine($"b6 \t {b6_1} ");
835
836 Console.WriteLine(new string('-', 20));
837
838 Console.WriteLine($"ALL OUTPUT b1:{b1_2} \t b3:{b3_2} \t Hv1{Hv1} \t Hv1 {Hv1} + +
839 $a_Pis:{a_Pis} \t b4:{b4} b5:{b5_1}\t b6:{b6_1}\t L1:{L1} \t L2:{L2}\t + +
840 $LSV:{Lsv}\t delPer:{delPer}");
841 }
842 break;
843 }
844
845 break;
846 }
847 Console.WriteLine("the End");
848 Console.WriteLine("PROSTO READLINE");
849 Console.ReadLine();
850

```

## Додаток Б

Міністерство освіти і науки України  
Міністерство енергетики України  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
(НТУ «Дніпровська політехніка»)  
ТОВ «ДТЕК Енерго»

ПОГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи,  
д-р геол. наук, професор

  
\_\_\_\_\_ І.С. Нікітенко  
\_\_\_\_\_ 2024 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Керівник департаменту з виробництва  
ТОВ «ДТЕК Енерго», канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ В.Г. Черватюк  
\_\_\_\_\_ 2024 р.



**МЕТОДИКА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ДЕГАЗАЦІЇ  
ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ВИЇМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ  
ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ**

Дніпро  
2024

Методика призначена для використання інженерно-технічним персоналом вугільних шахт Західного Донбасу і проєктувальниками під час розробки заходів щодо дільничної дегазації за високих швидкостей посування очисних вибоїв. Містить рекомендації щодо вибору параметрів розташування дільничних дегазаційних свердловин з урахуванням змінних геомеханічних (глибина розташування лави, текстура і механічні властивості порід надвугільної товщі) і технологічних (швидкість посування очисного вибою) факторів у гірничо-геологічних умовах Західного Донбасу.

Вихідними даними для розрахунку є відомості про глибину  $H$  ведення очисних робіт, текстуру та механічні властивості порід надвугільної товщі, заплановану швидкість посування  $V_n$  лави, схему розміщення обладнання для буріння дільничних дегазаційних свердловин. Перелічені відомості отримуються з гірничо-геологічного прогнозу на виїмкову дільницю, що відпрацьовується, паспорту лави та паспорту дегазації.

Розрахунок раціональних параметрів розташування дегазаційних свердловин має таку послідовність.

1. Визначаються кути нахилу ліній зміни знаку кривизни вигину літотипів за падінням  $\beta_1$  та простяганням  $\beta_3$  вугільного пласта.

Переважно тонко- і середньшарувата текстура:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_n} (136,3 - 133,3 H^{-0,15}); \quad (1)$$

$$\beta_3 = N_{V_n} (62,8 + 0,033 H); \quad (2)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_n} (175,8 - 242,5 H^{-0,15}); \quad (3)$$

$$\beta_3 = N_{V_n} (56,6 + 0,036 H). \quad (4)$$

Переважно крупно- і середньшарувата текстура:

– підвищені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_n} (169 - 262,5 H^{-0,18}); \quad (5)$$



$$\beta_3 = N_{V_L} (52,3 + 0,041H); \quad (6)$$

– понижені механічні властивості

$$\beta_1 = K_{V_L} (56,9 + 0,039H); \quad (7)$$

$$\beta_3 = N_{V_L} (53,2 + 0,023H), \quad (8)$$

$$\text{де } K_{V_L} = 1,14 - 0,028V_L; \quad (9)$$

$$N_{V_L} = 1,31 - 0,062V_L. \quad (10)$$

У рівняннях (1) – (8) глибина  $H$  підставляється у метрах, а кути  $\beta_1$  і  $\beta_3$  вираховуються у градусах; у рівняннях (9) і (10) швидкість посування лави  $V_L$  має розмірність м/добу.

У випадку гірничо-геологічних умов усередненої текстури або усереднених механічних властивостей літотипів надвугільної товщі береться також усереднене значення між двома граничними розрахунками.

2. Розраховується величина  $a_{II}$  відстані максимального вигину пісковиків у привибійній зоні, що також дорівнює довжині блоку пісковика у зоні шарнірно-блокового зсуву.

При висоті розміщення пісковика (від підосви вугільного пласта)  $h_{II} \geq 12 - 15$  м і його потужності  $m_{II} \leq 2 - 3$  м:

– для умов підвищених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_L} \left[ 3,2 + 0,27 \left( \frac{H}{100} \right)^{2,06} \right]; \quad (11)$$

– для умов понижених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_L} \left[ 5,6 + 0,54 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,92} \right]. \quad (12)$$

При висоті розміщення пісковика  $h_{II} < 10$  м і його потужності  $m_{II} \geq 6 - 8$  м:

– для умов підвищених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_l} \left[ 1,5 + 0,25 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,77} \right]; \quad (13)$$

– для умов понижених механічних властивостей

$$a_{II} = c_{V_l} \left[ 4,2 + 0,43 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,45} \right], \quad (14)$$

$$\text{де } c_{V_l} = 1,22 - 0,044 V_l. \quad (15)$$

У рівняннях (11) – (14) величина  $a_{II}$  розраховується в метрах.

3. Визначається кут  $\beta_4$  нахилу траси дегазаційної свердловини за простяганням вугільного пласта

$$\beta_4 = \arctg \frac{h_{II}}{h_{II} \operatorname{ctg} \beta_3 + C_1 + III_{ox} + III_{ob}}, \quad (16)$$

де  $h_{II}$  – висота розташування пісковика від підшви вугільного пласта;

$C_1$  – відстань між лінією повних посуень надвугільної товщі і лінією зміни знаку кривизни вигину її літотипів за простяганням вугільного пласта; зазвичай  $C_1 = 2,0 - 3,0$  м;

$III_{ox}$  – ширина охоронної системи виїмкового штреку; визначається паспортом відпрацювання виїмкової ділянки; зазвичай  $III_{ox} = 0,8 - 1,5$  м для умов Західного Донбасу;

$III_{ob}$  – відстань розташування бурового обладнання від робочого борту штреку.

4. Розраховується кут  $\beta_5$  розвороту дегазаційних свердловин у напрямку підняття вугільного пласта

$$\beta_5 = \operatorname{arccctg} \frac{C_1 + III_{ox} + III_{ob}}{h_{II} \operatorname{ctg} \beta_1 + C_2 + L_{ob}}, \quad (17)$$

де  $C_2$  – відстань між лінією повних посуень надвугільної товщі і лінією зміни знаку кривизни вигину її літотипів за падінням вугільного пласта; зазвичай  $C_2 = 2,0 - 3,0$  м для умов Західного Донбасу;

$L_{об}$  – відстань розташування бурового обладнання від гирла свердловини; визначається за паспортом дегазації виїмкової ділянки.

5. Визначається кут  $\beta_6$  нахилу траси дегазаційної свердловини до площини нашарування вугільного пласта; бажано, щоб розрахункова величина  $\beta_6$  попадала в експериментально визначений раціональний діапазон  $55^\circ \leq \beta_6 \leq 65^\circ$

$$\beta_6 = \arctg \frac{h_{II} \sin \beta_5}{C_1 + III_{ox} + III_{об}}. \quad (18)$$

6. Розраховується відстань першої свердловини від огороження секції механізованого кріплення  $L_1$  і відстань  $L_2$  між гирлами наступних свердловин

$$L_1 = h_{II} \operatorname{ctg} \beta_6 + C_2; \quad (19)$$

$$L_2 = a_{II}. \quad (20)$$

Бажано, щоб крок  $L_2$  буріння дегазаційних свердловин знаходився в діапазоні  $9 \text{ м} \leq l_2 \leq 13 \text{ м}$ .

7. Довжина свердловини  $L_{св}$  визначається за формулою, але при швидкостях посування лави  $V_l \geq 7$  м/добу довжина свердловини може скорочуватися на 25 – 40%

$$L_{св} = \frac{H_m}{\sin \beta_6} + \Delta_{пер}, \quad (21)$$

де  $H_m$  – висота (від підшви вугільного пласта) розташування метанонасичених літотипів у основній покрівлі вугільного пласта; визначається за гірничо-геологічним прогнозом для виїмкової ділянки;

$\Delta_{пер}$  – довжина перебуру свердловини; зазвичай  $\Delta_{пер} = 2,0 - 3,0$  м.

8. Розрахункові параметри розташування дегазаційних свердловин проходять перевірку на 20 – 30 м довжини виїмкового штреку за лавою. За необхідності параметри буріння свердловин корегують.

## ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ДІЛЬНИЧНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ В УМОВАХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

### Вихідні дані щодо розрахунку:

- глибина ведення очисних робіт  $H = 520$  м;
- текстура надвугільної товщі переважно тонко- і середньошарувата;
- механічні властивості порід надвугільної товщі віднесені до категорії понижених;
- середня висота розміщення пісковика (від підшви вугільного пласта)  $h_{\Pi} = 9,5$  м за його усередненої потужності  $m_{\Pi} = 6,3$  м;
- висота розташування метанонасичених літотипів (від підшви вугільного пласта) в основній покрівлі  $H_m = 31$  м;
- середня швидкість посування лави  $V_l = 5,8$  м/добу;
- відстані між лініями основних посувань вугільної товщі і лініями зміни знаку кривизни вигину її літотипів за простяганням і падінням вугільного пласта  $C_1 = C_2 = 2,5$  м;
- ширина охоронної системи виїмкового штреку  $Ш_{ox} = 1,0$  м;
- відстань розташування бурового обладнання від робочого борту штреку  $Ш_{об} = 2,0$  м;
- відстань розташування бурового обладнання (патрона до хвостовика бурового ставу) від гирла свердловини  $L_{об} = 5,0$  м;
- довжина перебування свердловини  $\Delta_{пер} = 3,0$  м.

### Порядок розрахунку:

1. Визначаємо кути нахилу ліній зміни знаку кривизни вигину літотипів за падінням  $\beta_1$  та простяганням  $\beta_3$  вугільного пласта – формули (3), (4), (9) і (10) «Методики...»

$$\beta_1 = K_{V_l} (175,8 - 242,5H^{-0,15}) = (1,14 - 0,028 \cdot 5,8) \times \\ \times (175,8 - 242,5 \cdot 520^{-0,15}) = 79,1 \text{ град.}$$

$$\beta_3 = N_{V_l} (56,6 + 0,036 \cdot H) = (1,31 - 0,062 \cdot 5,8)(56,6 + 0,036 \cdot 520) = 71,5 \text{ град.}$$

2. Розраховуємо величину  $a_{\Pi}$  відстані максимального вигину пісковиків у привибійній зоні – формули (14) і (15) «Методики...»

$$a_{\Pi} = C_{V_l} \left[ 4,2 + 0,43 \left( \frac{H}{100} \right)^{1,45} \right] =$$

$$= (1,22 - 0,044 \cdot 5,8) \left[ 4,2 + 0,43 \left( \frac{520}{100} \right)^{1,45} \right] = 8,9 \text{ м.}$$

3. Визначаємо кут  $\beta_4$  нахилу траси дегазаційної свердловини за простяганням вугільного пласта – формула (16) «Методики...»

$$\begin{aligned} \beta_4 &= \operatorname{arctg} \frac{h_{II}}{h_{II} \operatorname{ctg} \beta_3 + C_1 + III_{ox} + III_{об}} = \\ &= \operatorname{arctg} \frac{9,5}{9,5 \operatorname{ctg} 71,5^\circ + 2,5 + 1,0 + 2,0} = 47,7 \text{ град.} \end{aligned}$$

4. Розраховуємо кут  $\beta_5$  розвороту дегазаційних свердловин у напрямку підняття вугільного пласта (17) «Методики...»

$$\begin{aligned} \beta_5 &= \operatorname{arcctg} \frac{C_1 + III_{ox} + III_{об}}{h_{II} \operatorname{ctg} \beta_1 + C_2 + L_{об}} = \\ &= \operatorname{arcctg} 2 \frac{2,5 + 1,0 + 2,0}{9,5 \operatorname{ctg} 79,1^\circ + 2,5 + 5,0} = 59,5 \text{ град.} \end{aligned}$$

5. Визначаємо кут  $\beta_6$  нахилу траси дегазаційної свердловини до площини нашарування вугільного пласта – формула (18) «Методики...»

$$\beta_6 = \operatorname{arctg} \frac{h_{II} \sin \beta_5}{C_1 + III_{ox} + III_{об}} = \operatorname{arctg} \frac{9,5 \sin 59,5^\circ}{2,5 + 1,0 + 2,0} = 56,0 \text{ град.}$$

Розрахункове значення  $\beta_6$  цілком відповідає рекомендованому інтервалу  $55^\circ \leq \beta_6 \leq 65^\circ$ .

6. Розраховуємо відстань першої свердловини від огороження секції механізованого кріплення  $L_1$  і відстань  $L_2$  між гирлами наступних свердловин – формули (19) і (20) «Методики...»

$$L_1 = h_{II} \operatorname{ctg} \beta_6 + C_2 = 9,5 \cdot \operatorname{ctg} 56^\circ + 2,5 = 8,9 \text{ м; } L_2 = a_{II} = 8,9 \text{ м.}$$

За рекомендаціями «Методики...» остаточно приймаємо  $L_1 = L_2 = 9,0 \text{ м.}$

7. Розраховуємо довжину свердловини  $L_{cv}$  – формула (21) «Методики...»

$$L_{cv} = \frac{H_m}{\sin \beta_6} + \Delta_{nep} = \frac{31}{\sin 56^\circ} + 3,0 = 40,4 \text{ м.}$$

8. Розрахункові параметри розташування дегазаційних свердловин можуть бути скореговані за результатами перших етапів відпрацювання вугільного пласта.

## Додаток В

ПОГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи  
НТУ «Дніпровська політехніка»,  
д-р геол. наук, професор



І.С. Нікітенко

2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Генеральний директор  
ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»



С.А. Воронін

2024 р.

## ДОВІДКА

щодо фактичного економічного ефекту від впровадження експериментальних параметрів буріння та збільшення діаметру дегазаційних свердловин

## Шахта ім. Герої Космосу за 2023 – 2024 рр.

№ з/п	Рік	Лава	Багатогазовість, м <sup>3</sup> /хв	Навантаження за газовим чинником, т/д	Досягнутий коефіцієнт ефективності дегазації	Економія при збільшенні коефіцієнта дегазації в порівнянні з базовим варіантом, млн грн
1	2022-2023	503	24,7	1709	0,39	5,1
2	2023-2024	505	23,3	1901	0,5	5,55
3	2024	507	21,8	2000	0,53	6,07

Відповідно загальний економічний ефект по шахті ім. Героїв Космосу при впровадженні заходів для забезпечення максимального коефіцієнта дегазації може скласти 16,72 млн гривень.

## Шахта Західно-Донбаська за 2023 – 2024 рр.

№ з/п	Рік	Лава	Багатогазовість, м <sup>3</sup> /хв	Навантаження за газовим чинником, т/д	Досягнутий коефіцієнт ефективності дегазації	Економія при збільшенні коефіцієнта дегазації в порівнянні з базовим варіантом, млн грн
1	2023-2024	869	17,7	2101	0,43	16,88
2	2023	887	23,1	2250	0,67	2,22
3	2024	889	18,9	2500	0,59	5,17
4	2023	1045	33,7	2100	0,69	0,78

Відповідно загальний економічний ефект по шахті Західно-Донбаська при впровадженні заходів для забезпечення максимального коефіцієнта дегазації може скласти 25,05 млн гривень.

#### Шахта Самарська за 2023 – 2024 рр.

№ з/п	Рік	Лава	Багатогазовість, м <sup>3</sup> /хв	Навантаження за газовим чинником, т/д	Досягнутий коефіцієнт ефективності дегазації	Економія при збільшенні коефіцієнта дегазації в порівнянні з базовим варіантом, млн грн
1	2023	1002	14,52	3185	0,58	1,07
2	2024	1004	19,37	3502	0,64	0,54

Відповідно загальний економічний ефект по шахті Самарська при впровадженні заходів для забезпечення максимального коефіцієнта дегазації може скласти 1,61 млн гривень.

#### Шахта Степова за 2023 – 2024 рр.

№ з/п	Рік	Лава	Багатогазовість, м <sup>3</sup> /хв	Навантаження за газовим чинником, т/д	Досягнутий коефіцієнт ефективності дегазації	Економія при збільшенні коефіцієнта дегазації в порівнянні з базовим варіантом, млн грн
1	2023	153	28,9	2303	0,65	2,7
2	2023	180 бис	25,0	3976	0,66	0,92
3	2023	155	28,2	3844	0,64	1,78
4	2023	184	32,0	2301	0,70	2,22
5	2023	186	33,55	2098	0,68	2,84
6	2024	156	24,0	4000	0,7	0,88
7	2024	188	28,0	2290	0,68	2,85

Відповідно загальний економічний ефект по шахті Самарська при впровадженні заходів для забезпечення максимального коефіцієнта дегазації може скласти 14,19 млн гривень.

#### Шахта Ювілейна за 2023 – 2024 рр.

№ з/п	Рік	Лава	Багатогазовість, м <sup>3</sup> /хв	Навантаження за газовим чинником,	Досягнутий коефіцієнт ефективності	Економія при збільшенні коефіцієнта
-------	-----	------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

				т/д	дегазації	дегазації в порівнянні з базовим варіантом, млн грн
1	2023	134	26,34	1917	0,46	15,72
2	2023	586	9,91	2766	0,52	1,33
3	2023	134-бис	15,43	1213	0,53	12,89
4	2023	608	11,42	2767	0,66	0,76
5	2024	144	22,73	3096	0,67	1,78
6	2024	146	21,3	2879	0,70	1,66

Відповідно загальний економічний ефект по шахті Ювілейна при впровадженні заходів для забезпечення максимального коефіцієнта дегазації може скласти 34,14 млн гривень.

Тож загальний економічний ефект по шахтам ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» складатиме 91,71 млн грн



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Головний інженер

ВСП «ШУ ім. Героїв Космосу»

ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугля»



В.В. Коробченко

РОЗРАХУНОК

**загального фактичного економічного ефекту від збільшення коефіцієнту дегазації при відпрацювання 505 лави шахти «Героїв космосу» ВСП «ШУ ім. Героїв Космосу».**

505 лава шахти ім. Героїв космосу має високу багатогазовість близько 20-25 м3/хв, та обмежена в частині подання максимальної кількості повітря із-за малої пропускної спроможності. Основним джерелом виділення метану є газonosний пісковик, який знаходиться в покрівлі виробки. Тож для забезпечення безпечних умов відпрацювання 505 лави згідно проекту застосовується дегазація покрівлі свердловинами діаметром 93 мм та довжиною 42-59 м. Середній коефіцієнт ефективності дегазації, який вдалося досягнути при відпрацюванні 503 лави (взята за аналог) - 0,43. Після впровадження експериментальних параметрів буріння та збільшення діаметру свердловин коефіцієнт ефективності дегазації досягнув 0,58. Така ситуація дозволила зробити перерахунок максимально допустимого навантаження на лаву та збільшити його з 2000 до 2200 т/добу.

Розрахунок економічного ефекту в частині отримання прямої вигоди виконано за формулою:

$$EE = V_{\text{пл}} - V_{\text{макс}}$$

де  $V_{\text{пл}}$  – вартість відпрацювання лави з плановим навантаженням 2000 т/д;

$V_{\text{макс}}$  – вартість відпрацювання лави з плановим максимальним навантаженням 2200 т/д;

$$C_{\text{пл}} = T \cdot C_{1л}$$

де  $T$  – термін відпрацювання кількості запасів 505 лави з навантаженням 2000 т/д;

$C_{1л}$  – добова собівартість роботи лави (приймаємо 1,7 млн грн).

З урахуванням кількості запасів в 505 лаві 720 тис тон – термін її відпрацювання ( $T$ ) складатиме

$$T = \frac{720000 \text{ т}}{2000 \text{ т/д}} = 360 \text{ діб}$$

Тож вартість відпрацювання

$$V_{\text{оп}} = 360 \cdot 1\,700\,000 = 612\,000\,000 \text{ грн}$$

$A_1$  – прийняте навантаження 2000 т/д;

Відповідно при навантаженні 2200 т/д

$$T = \frac{720000 \text{ т}}{2200 \text{ т/д}} = 327 \text{ діб}$$

Враховуючи, що добова собівартість складається з умовно постійних витрат та для 2000 тон і для 2400 тон – вона буде приблизно однаковою з поправочним коефіцієнтом навантаження обладнання 1,09 – вартість відпрацювання при навантаженні 2200 складе

$$V_{\text{оп}} = 327 \cdot (1\,700\,000 \cdot 1,09) = 605\,931\,000 \text{ грн}$$

Тобто економічний ефект від збільшення коефіцієнту дегазації складає:

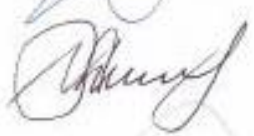
$$EE = 612\,000\,000 - 605\,931\,000 = 6\,069\,000 \text{ грн.}$$

Головний технолог  
з операційної ефективності



Андрій ТКАЧУК

Керівник департаменту  
з планування та інвестицій



Ірина ПОГРЕБНЯК

Заступник головного інженера по ПАЗ



Вадим ГРЕВЦЕВ