

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра хімічної інженерії та екології

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня **магістр**

спеціальності 184 «Гірництво»

на тему:

**Дослідження геологічних та геофізичних умов розвитку та
причин обтяження лав вугільних шахт**

Виконав студент групи ГІР-25дМ

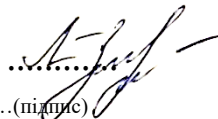
..... (підпис)



Захарова Ю.І.

Керівник

..... (підпис)



Любимова-
Зінченко О.В.

Завідувач кафедри

..... (підпис)



Зубцов Є.І.

Рецензент

..... (підпис)

Київ, 2025

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії
Кафедра хімічної інженерії та екології
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Спеціальність: 184 «Гірництво»

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

_____  доц. Зубцов Є.І.

«_13_» _____10_____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Захарова Юлія Іванівна

1. Тема роботи: «Дослідження геологічних та геофізичних умов розвитку та причин обтяження лав вугільних шахт».

Керівник роботи: Любимова-Зінченко О.В., к.т.н. доцент кафедри,
затверджено наказом закладу вищої освіти від 13.10.2025 р. № 208/20.04

2. Строк подання студентом роботи: 15.12.25р.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали переддипломної практики та гірничотехнічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): згідно програми дипломного проектування та методичних вказівок по складанню дипломної роботи студентами напряму підготовки 184 «Гірництво».

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Вугленосні басейни на мапі України.
2. Загальна характеристика вугленосних басейнів України.
3. Зведений стратиграфічний розріз Західного та центрального Донбасу.
4. Зведений стратиграфічний розріз Львівсько-Волинського басейна
5. Геологічна та стратиграфічна будова Донецького кам'яновугільного басейну
6. Технологічні засоби зменшення обтяження лав

6. Консультанти розділів:

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

7. Дата видачі завдання 13.10.25

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

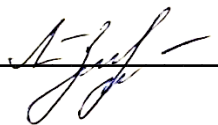
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Геологічна будова вуглевмісних басейнів України	14.10.25-18.10.25	
2	Стратиграфічна та тектонічна будова	19.10.25-24.10.25	
3	Літологічні характеристики порід	25.10.25-28.10.25	
4	Геофізичні умови та фактори обтяження лав	29.10.25-05.11.25	
5	Практичний аналіз геологічних та гірничих умов шахт Центрального та Західного Донбасу	06.11.25-28.11.25	
6	Шляхи зменшення обтяження лав	29.11.25-04.12.25	
7.	Перспективи впровадження сучасних методів контролю	05.12.25-11.12.25	

Студент



Захарова Ю.І.

Керівник проекту



Любимова-Зінченко О.В.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. РЕГІОНАЛЬНЕ ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ.....	9
1.1. Загальна характеристика та геологічна будова вуглевмісних басейнів України	9
1.2. Тектонічні умови та їх вплив на формування лав	16
1.3. Літологічні характеристики порід та їх вплив на умови ведення гірничих робіт	19
1.4. Стратиграфічні особливості вугільних регіонів України	21
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ.....	29
РОЗДІЛ 3. ГЕОФІЗИЧНІ УМОВИ ТА ФАКТОРИ ОБТЯЖЕННЯ ЛАВ	36
3.1. Геофізичні методи дослідження вугільних пластів.....	36
3.2. Вплив геофізичних параметрів на стійкість лав	38
3.3. Причини обтяження лав	40
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГЕОЛОГІЧНИХ І ГІРНИЧИХ УМОВ У ШАХТАХ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ БАСЕЙНІВ УКРАЇНИ	42
4.1. Загальна інформація по обраним шахтам.....	42
4.2. Загальна геологічна характеристика регіонів	44
4.3. Стратиграфія, літологія та геолого-геотехнічні умови роботи шахт	51
4.3.1. Шахта імені О.Ф. Засядька (центральна частина Донбасу).....	51
4.3.2. Шахта Павлоградська (Західний Донбас)	53
4.4. Геофізичні параметри масиву	55
4.5. Тектонічні порушення та блокова структура.....	56
4.5.1. Шахта імені О.Ф. Засядька (Центральний Донбас).....	56
4.5.2. Шахта Павлоградська (Західний Донбас)	57
РОЗДІЛ 5. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ОБТЯЖЕННЯ ЛАВ НА ПРИКЛАДІ ШАХТ імені ЗАСЯДЬКА ТА ПАВЛОГРАДСЬКА	61
5.1. Технологічні заходи (кріплення, дегазація, вентиляція).....	61
5.2. Геофізичний моніторинг та прогнозування небезпечних явищ.....	63
5.3. Оптимізація гірничих робіт з урахуванням геологічних умов.....	65
5.4. Перспективи впровадження сучасних методів контролю	67
ВИСНОВКИ.....	70
ЛІТЕРАТУРА.....	72

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота: 81 стор., 13 рис., 14 табл., 79 джерел літератури.

Предмет дослідження - геологічні та геофізичні умови, що визначають розвиток і прояви обтяження лав у вугільних шахтах, а також методи їхнього прогнозування та контролю.

Об'єкт дослідження - лави вугільних шахт Донбасу та Західного Донбасу (зокрема шахти ім. Засядька та Павлоградська)

Мета - встановити закономірності впливу геологічних та геофізичних чинників на обтяження лав, здійснити порівняльний аналіз умов різних шахт.

Методи дослідження: стратиграфічний та літологічний аналіз, геофізичні методи, порівняльний аналіз, метод систематизації та узагальнення для формування практичних рекомендацій і визначення перспектив впровадження сучасних технологій контролю.

У роботі досліджено геологічні та геофізичні умови, що визначають розвиток і причини обтяження лав у вугільних шахтах України. Проведено порівняльний аналіз шахт ім. Засядька (Донбас) та Павлоградської (Західний Донбас), який засвідчив різну природу небезпек: газодинамічні процеси та гірничі удари у Донбасі, нестійкість покрівлі та здимання підшви у Західному Донбасі.

Встановлено роль літологічної мінливості порід, тектонічних порушень та високої газоносності пластів у формуванні небезпечних умов. Обґрунтовано ефективність застосування комбінованих систем кріплення, дегазаційних заходів та сейсмоакустичного моніторингу.

Наукова новизна полягає у комплексному підході до аналізу геологічних та геофізичних чинників обтяження лав, а також у розробці рекомендацій щодо оптимізації гірничих робіт. Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів для підвищення безпеки та ефективності вугільних шахт.

Перспективи впровадження пов'язані з використанням сучасних технологій: інтелектуальних систем моніторингу, адаптивного анкерного кріплення, цифрових двійників шахт та Big Data-платформ для прогнозування небезпечних явищ.

ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА, ТЕКТОНІЧНА БУДОВА РОДОВИЩА,
ЛІТОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРІД, СТРАТИГРАФІЧНИЙ РОЗРІЗ,
ОБТЯЖЕННЯ ЛАВ, ГЕОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ

ВСТУП

Вугільна промисловість України є однією з складових паливно-енергетичного комплексу держави. Значна частина електроенергетики і промислового теплопостачання в Україні забезпечується за рахунок використання вугілля, тому стабільність роботи шахт є стратегічно важливою. Проте умови роботи українських шахт характеризуються складною геологічною будовою, високою розчленованістю гірського масиву, наявністю зони тектонічних пошкоджень, підвищеною газоносністю вугільних пластів і значним техногенним впливом від багаторічної гірничої діяльності. У сукупності ці фактори створюють передумови для розвитку небезпечних процесів, серед яких одним із найбільш розширених є розвиток обтяження у вугільних лавах.

Обтяження у вугільних лавах проявляється в різкому зростанні навантаження на механізоване кріплення, ускладнення ведення очисних робіт, уповільнення руху очисного комплексу, деформації порід покриву та підосви та підвищений ризик аварійних ситуацій, включаючи руйнування виробів. Ця проблема має комплексний характер і залежить від поєднання геологічних, геофізичних, гідрогеологічних та техногенних факторів.

В умовах українських шахт, значна частина яких залягає у геологічних структурах Донбасу та Дніпропетровського басейну і має складну будову, питання дослідження механізмів формування обтяжень набуває особливого значення. Різноманітність тектонічних порушень, неоднорідність фізико-механічних властивостей рід, висока газоносність вугільних пластів, наявність зони обведення та впливу багаторічної техногенної діяльності створюють повність умов, які сприяють розвитку небезпечних проявів у вищих комплексах. Так, у дослідженнях [1-3] показано, що на ризики обрушення впливають дві групи факторів: гірничо-геологічні та фізико-механічні. Серед гірничо-геологічних факторів велике значення мають тектонічна будова родовища і глибина розробки, які визначають напружений стан гірського

масиву. Фізико-механічні властивості гірських порід також суттєво впливають на ризики утворення обтяжень, але мають підпорядковане значення, оскільки в масиві руйнування і розшарування йде по найбільш послабленим контактам. Нерозуміння або недооцінювання цих чинників може призвести до несподіваних ускладнень та виникненню аварійних ситуацій.

Вивчення геологічних та геофізичних умов, що зумовлюють обтяження лав, є необхідною передумовою для підвищення надійності системи підземних робіт, удосконалення технології очисного виймання та запобігання небезпечним проявам гірського тиску. Комплексний аналіз природних і техногенних факторів дозволяє встановити закономірності розвитку обтяжень, оцінити ступінь їх небезпеки та розробити оптимальні заходи для зниження.

Актуальність теми також зумовлена сучасним станом вугільної галузі України, у якій зростає потреба в науково обґрунтованих методах діагностики геодинамічних процесів та підвищення рівня промислової безпеки. Додатково впроваджуються сучасні геофізичні методи контролю стану масиву порід, що дозволяє виявляти небезпечні зони та оптимізувати систему управління.

Методом магістерської роботи є комплексне дослідження геологічних та геофізичних умов, геофізичних характеристик масиву порід і техногенних чинників, що впливають на розвиток обтяження лав у вугільних шахтах України, а також визначення основних причин та механізмів його формування. Досягнення цієї мети передбачає аналіз будови гірського масиву, характеристику фізико-механічних властивостей порід, оцінку геодинамічної напруженості, а також роль техногенних факторів у розвитку небезпечних проявів.

Об'єктом дослідження є геологічне середовище та масиви гірських порід шахт Кам'яновугільних басейнів України.

Предметом дослідження є закономірності формування обтяжень очисних лав, а також геологічні, геофізичні та техногенні чинники, що забезпечують їх розвиток.

Наукова новизна цієї магістерської роботи виникає в комплексному підході до вивчення причин обтяження лав в українських вугільних шахтах - поєднання геологічного аналізу, фізико-механічних досліджень, геофізичних спостережень та оптимізації гірничих робіт з урахуванням геологічних умов.

Практичне значення дослідження проявляється в можливості розробки рекомендацій для підвищення безпеки шахт, оптимізації параметрів кріплення, а також впровадження системи моніторингу для прогнозування та запобігання небезпечних явищ, підвищення безпеки та ефективності вугільних шахт.

РОЗДІЛ 1. РЕГІОНАЛЬНЕ ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Вугільна промисловість України забезпечує потреби металургійної, хімічної та теплоенергетичної галузей і відіграє ключову ролі у підтримці енергетичної незалежності країни.

Регіональне геологічне середовище кам'яновугільних регіонів України формувалося протягом тривалих етапів геологічної історії та охоплює території, у межах яких накопичувалися, трансформувалися та збереглися потужні товщі осадових порід кам'яновугільного віку. Ці регіони включають Донецький кам'яновугільний басейн, Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн та Дніпровський буровугільний басейн.

Геологічні умови кожного з цих басейнів визначаються особливостями тектонічної будови, стратиграфічними характеристиками, глибиною залягання вугільних пластів, їхньою потужністю, гідрогеологічними умовами та проявами техногенного впливу. Всі ці фактори формують комплекс умов, що є визначальним для планування і здійснення гірничодобувних робіт, оцінки екологічних ризиків та прогнозування можливих геодинамічних процесів.

1.1. Загальна характеристика та геологічна будова вуглевмісних басейнів України

Вуглевмісні території України сформувалися внаслідок тривалих тектонічних, осадових та метаморфічних процесів, які настали впродовж кількох геологічних епох. Основними регіонами, де зосереджені вугільні родовища, є Донецький кам'яновугільний басейн, Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн та Дніпровський буровугільний басейн. Кожен з цих басейнів характеризується власними літологічними, гідроструктурними та геологічними особливостями, що визначають умови розвитку вугільних пластів та впливають на рівень обтяження гірничих виробів.



Рис.1.1. Вугленосні басейни України [2]

Донецький кам'яновугільний басейн є найбільшою групою родовищ кам'яного вугілля не тільки в Україні, а також у Європі, він охоплює територію Донецької, Луганської, Дніпропетровської, частини Харківської і Полтавської областей України. Загальна площа близько 60 тис. км², з них у межах України - 50 тис. км² [3,4].

Донецький кам'яновугільний басейн є одним із найстаріших та найпотужніших вуглевидобувних регіонів України. Перші згадки про видобуток вугілля на території Донецької сучасної та Луганської областей належать до кінця восьмидесятого століття (1796 р.). Від цього часу було видобуто понад 8 млрд. тон вугілля. Масове промислове освоєння почалося в середині дев'ятнадцятого століття, після введення в експлуатацію парових шахт. Найбільшого рівня видобуток кам'яного вугілля в Україні досягнув у 1970 році і склав 177, 8 млн.т/рік [4]. Це забезпечувало вугіллям металургійну

промисловість, енергетичні підприємства, хімічний галузь та транспортні потоки.

Геологічний басейн простягається з північного заходу на південний схід (рис. 1.2.). Вугленосні породи належать до кам'яновугільної системи. За даними [4,5] розвідані запаси промислових категорій вугілля Донбасу становлять близько 58 млрд. тон і перспективні ще понад 18 млрд. тон. Близько шістдесяти-сімдесяти відсотків цих запасів становлять антрацити високої якості та коксівне вугілля. Потужність вугільних пластів коливається від півметра до трьох з половиною метрів. Глибини залягання пластів на південному басейні досягають тисячі сто двадцяти метрів.

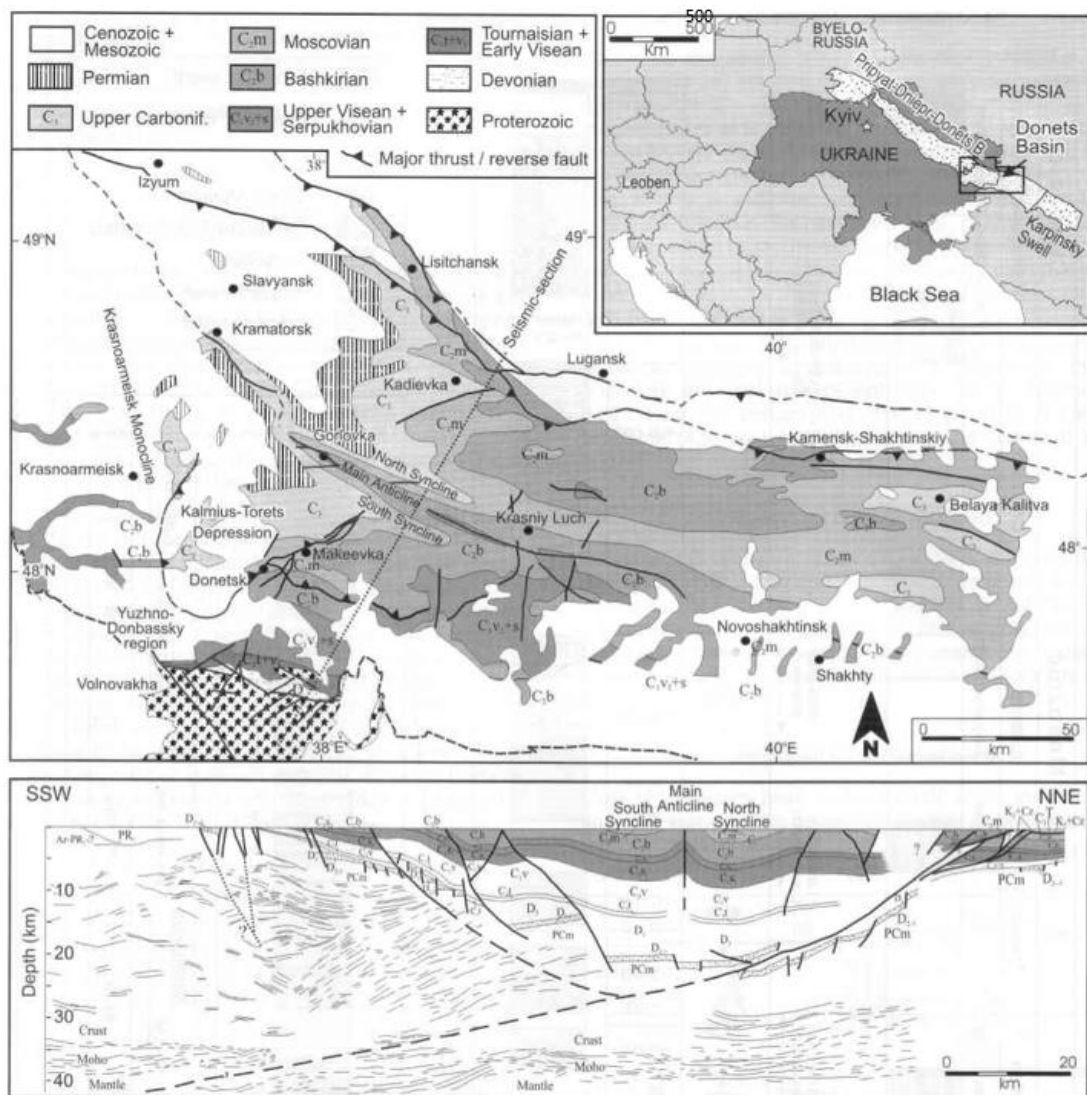


Рис. 1.2. Геологічна схематична карта та геологічний розріз Донецького кам'яновугільного басейну [5].

Сучасний стан басейну характеризується переважно підземним видобутком. Основними проблемами є значне залягання пластів, високий рівень гірничої небезпеки, екологічні та соціальні ризики, а також обмеження, пов'язані зі збройним конфліктом у регіоні. Якщо на ці складнощі, Донецький басейн залишається стратегічно важливим для енергетики та промисловості України [6].

Донецький кам'яновугільний басейн за своєю геологічною будовою є найскладнішим. Тут помітна дислокованість пластів, наявність складчастих та розривних пошкоджень, різка мінливість потужності вугільних шарів та літологічних прошарків. Розмаїття структурно-тектонічних елементів створює умови для формування зони підвищених гірничо-геологічних ризиків. У надрах є багато водоносних шарів. Вода часто перебуває під великим тиском. Вона може бути мінералізованою, тобто містить багато солей, що суттєво ускладнює гірничі роботи і потребує спеціального відкачування. Тривалий видобуток вугілля в регіоні призвів до цілої низки проблем: територія місцями просідає; після зупинки частини шахт вода затоплює виробки. Це призводить до забруднення обґрунтованих вод та підтоплення житлових районів.

Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн [6,7] знаходиться на заході України. Він сформувався у більш спокійній частині земної кори, тому його будова менш складна, ніж у Донецького басейну. Вугілля залягає серед пісковиків, алевролітів та глинистих порід. Пласти тонші і менші, ніж у Донбасі. Порооди зазнали незначних деформацій, тому пласти вугілля тут менш викривлені і лежать дуже рівно. Підземні води більш прісні, тобто вони містять менше солей. Рівень тиску також нижчий. У підстилаючих горизонтах можуть виникати карстові процеси, тобто розчинення вапнякових порід під дією води.

Після зупинки багатьох шахт у регіоні є поступове підтоплення території та подання обґрунтувань. У деяких районах можливе утворення карстових западин.

Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн розташований на заході України, на території Львівської та Волинської областей (рис.1) та продовжується на території Польщі. Басейн має витягнуту форму, яка простягається з північного заходу на південний схід приблизно на двісті кілометрів. Рельєф території переважно рівнинний, з окремими горбистими ділянками та плато. На території басейну виявлено близько 70 вугільних пластів, промислове значення мають 12 пластів потужністю понад 0,6 м. Балансові запаси вугілля - близько 970 млн. тон [4].

Промислове освоєння Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну почалося у другій половині дев'ятнадцятого століття. Перші шахти були відкриті на початку двадцятого століття для забезпечення необхідного залізничного транспорту та місцевої промисловості в енергетичному вугіллі. У двадцятому сторіччі басейн активно використовувався для забезпечення роботи теплових електростанцій та задоволення потреб промислових підприємств західних областей України в енергетиці.

Вугленосні пласти Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну залягають на глибині від ста до шістсот метрів. Потужність пластів коливається від півметра до трьох метрів. Основний тип вугілля - енергетичне, яке використовують для виробництва теплової енергії на промислових підприємствах та теплових електростанціях. Вугільні горизонти простягаються на території Львівської та Волинської областей, утворюючи єдину вугільну систему. Прогнозні запаси вугілля оцінюються приблизно від одного мільярда двісті п'ятдесят доларів до одного мільярда п'ятсот

На сучасному етапі видобуток вугілля у Львівсько-Волинському басейні відбувається виключно підземним способом. Басейн характеризується середньою якістю вугілля та середньою глибиною залягання пластів, проте має значні гідрогеологічні ускладнення, пов'язані з водонасиченими породами та високим рівнем природного притоку підземних вод. Буре вугілля зниженої потужності формує слабкі породи покривів та подошви пластів. Ці породи легко деформуються, що створює загрозу зрушення, осідання та обвалення

породи, а також додаткові навантаження на приватний масив та підвищує ризик раптового прориву води. Основними обмеженнями промислового освоєння є екологічні фактори, складні геологічні умови та соціально-економічні проблеми.

Дніпровський буровугільний басейн розташований у центральній-східній частині України уздовж великої геологічної западини, яка простягається через центральну частину України, охоплюючи територію Житомирської, Вінницької, Київської, Черкаської, Кіровоградської, Запорізької Дніпропетровської областей. На території басейну виявлено близько 200 родовищ і вуглепроявів бурого вугілля площею 150 тис. км². Розвідані запаси бурого вугілля близько 3 млрд. тон, з них придатних до відкритої розробки - 0,5 млрд тон [4,6].

Промислове освоєння Дніпровського басейну почалося на початку двадцятого століття у зв'язку зі зростанням потреби промислово розвинутого регіону у вугіллі. Основною метою видобутку було забезпечення металургійних підприємств Дніпра та Павлограда, а також теплоелектростанцій. У радянський період басейн активно використовувався для забезпечення потреб металургійної та енергетичної промисловості.

Геологічний басейн представляє собою вузьку смугу, орієнтовану з північного заходу на південний схід. Вугленосні пласти залягають на глибині від двохсот до чотирьохсот метрів. Потужність пластів коливається від сімдесяти сантиметрів до двох метрів. Основні типи вугілля – коксівне та енергетичне. Коксівне вугілля використовується для виробництва коксу на металургійних підприємствах, а енергетичне - для забезпечення теплової енергії. Прогнозні запаси вугілля оцінюються приблизно від п'ятисот до мільйонів тон.

Сучасний стан басейну забезпечує видобуток як підземним, так і відкритим способом. Басейн має досить просту геологічну структуру, характеризується середніми глибинами залягання пластів та середнім рівнем освоєння родовищ. Породи мають пологий нахил і деформовані незначно.

Глибокі піщані шари відповідають прісні або слабо мінералізовані води. У деяких районах вода може бути більшою солоною. Основними проблемами є економічна рентабельність видобутку, екологічні обмеження та необхідність модернізації шахтного обладнання. Дніпровський буровугільний басейн забезпечує потреби металургійної промисловості та теплоенергетики центральної частини України.

Таблиця 1.1 – Загальна характеристика вугільних басейнів України

Басейн	Запаси вугілля	Основні типи вугілля	Сучасний стан та використання
Донецький	Понад 80 млрд тон	Антрацити, коксівне вугілля високої якості	Переважно підземний видобуток; глибоке залягання пластів; використання в металургії та енергетиці; ускладнене отримання через технологічні, екологічні та військові чинники
Дніпровський	Близько 3 млрд тон	Коксівне та енергетичне вугілля	Видобуток підземним та відкритим способом
Львівсько-Волинський	Близько 1 млрд тон	Енергетичне вугілля	Підземний видобуток; середня якість вугілля та середня глибина залягання пластів; використання для теплоенергетики; обмежене промислове освоєння через екологічні та соціально-економічні чинники

Вуглевмісні басейни України мають різне географічне розташування, потужність вугільних пластів та типи вугілля, що визначає їх значення для промисловості та енергетики країни. Донецький басейн характеризується глибоким заляганням пластів та високоякісним антрацитом і коксівним вугіллям, Дніпровський - середньою глибиною залягання та коксівним і енергетичним вугіллям, Львівсько-Волинський - середньою потужністю пластів та енергетичним вугіллям (таблиця 1.1.).

Для всіх басейнів ключовими геологічними факторами, що визначають умови роботи лав, є: тектонічна порушеність (щільність і характер розломів), літологічна мінливість теригенних товщ, ступінь тріщинуватості та водогазонасичення порід. Відмінності у будові (складчастість і блокуватість Донбасу, моноклінальний характер Дніпровського сегмента, спрощена

структура Львівсько-Волинського) формують різні сценарії напружено-деформованого стану й ризики обтяження лав, що необхідно враховувати при плануванні очисних робіт, кріпленні, дегазації та моніторингу.

Війна в Україні суттєво вплинула на вугільну галузь. На окупованих територіях та на територіях, де ведуться бойові дії, робота шахт зупинена повністю або суттєво обмежена. Порущена логістика постачання вугілля, продуктивність підприємств, накопичуються екологічні проблеми. Крім того, війна підвищила ризики для безпеки працівників і вимагає додаткових витрат на захист та відновлення інфраструктури.

1.2. Тектонічні умови та їх вплив на формування лав

Тектонічні умови кам'яновугільних басейнів України є одним із ключових факторів, що визначають особливості залягання пластів, їхню стійкість та умови ведення гірничих робіт.

Тектонічні структури - це форми залягання гірських порід, що утворюються внаслідок тектонічних рухів і закономірно повторюються в земній корі [7]. Вони охоплюють як елементарні структурні форми (шари, складки, тріщини, розривні порушення - зсуви, скиди), так і складні комплекси (антиклінорії, синклінорії, складчасті системи). До тектонічних структур також належать структури магматичних тіл (дайки, сілли, лаколіти), які мають власні структурні риси. На великих платформах виділяють синеклізи, антеклізи, авлакогени - великі структурні елементи, що визначають загальну будову земної кори.

Донецький басейн (Рис.1.3) характеризується складною блоково-складчастою структурою з розвиненою системою розломів і насувів [4,5,8]. Це призводить до значної мінливості глибин залягання пластів навіть у межах невеликих ділянок. Висока тріщинуватість і порушеність масиву спричиняють підвищений ризик обвалів та газодинамічних явищ у лавах (таблиця 1.2).



Рис.1.3. Тектонічна карта України

У Дніпровсько-Донецькій западині тектонічні умови мають більш моноклінальний характер (рис.1.3, таблиця 1.2): пласти занурюються поступово, а складчастість менш виражена. Проте наявність глибинних розломів і блокових структур створює локальні зони напруженого стану, що можуть ускладнювати ведення очисних робіт. У таких умовах лави часто зазнають додаткового обтяження через нерівномірний розподіл напружень у масиві.

Львівсько-Волинський басейн (рис.1.3) відзначається відносно простою тектонічною будовою, з меншою амплітудою дислокацій. Тут пласти залягають ближче до поверхні, що полегшує їхню розробку. В той же час в межах басейну є декілька глибинних розломів: Рава-Руський, Володимир-Волинський, Радехівський (Рис.1.4). Однак навіть у цьому регіоні локальні порушення та дрібні розломи можуть створювати небезпечні умови для лав, особливо у випадках підвищеної газоносності або водонасичення порід (таблиця 1.2).



Рис. 1.4. Тектонічна схема Львівсько-Волинського вугільного басейну за [9].

1 - Львівсько-Волинська западина і Варшавсько-Люблінський прогин; 2 - найбільш занурена частина западини з основною промисловою вугленосністю в межах України; 3 - південносхідне крило палеозойського прогину (Волино-Подільська монокліналь); 4 - західне крило палеозойського прогину; 5 - Український щит; 6 - Волинський або Ковельський виступ; 7 - Передкарпатський прогин; 8 - Карпатський складчастий комплекс; 9 - Словацько-Ратнівський горст; 10 - Пінська або Поліська улоговина; 11 - Підлясько-Брестська западина; 12 - великі тектонічні порушення; 13 - межі структурних підрозділів/

Тектонічні порушення визначають напружено-деформований стан масиву, що безпосередньо впливає на стійкість лав. У районах із високою порушеністю (Донбас) лави часто потребують посиленого кріплення та систем дегазації. У більш стабільних умовах (Львівсько-Волинський басейн) ризики менші, але локальні тектонічні фактори все одно можуть спричиняти аварійні ситуації. Таким чином, врахування тектонічних умов є необхідним для прогнозування небезпечних явищ і оптимізації технології ведення гірничих робіт.

Таблиця 1.2. Порівняння тектонічної будови вугільних басейнів України

Басейн	Основні розломи	Складки / антикліналі	Блоки структурні елементи	Особливості інтерпретації
Донецький кам'яновугільний басейн	Система поздовжніх і поперечних розломів, що контролюють вугленосні товщі	Складчаста будова з численними антикліналями та синкліналями	Поділ на східну, центральну та західну частини; локальні блоки	Класичний приклад складчасто-розломної структури; акцент на ускладненнях при довгих вибоях
Дніпровсько-Донецька западина (Дніпровський басейн)	Глибинні рифтогенні розломи, пізніше інверсійні	Антикліналі як результат рифтогенезу та інверсії	Сегменти: північний, центральний, південний; блоки Лівобережний, Центральний	Геодинамічна модель: рифт → інверсія → сучасна западина; акцент на нафтогазоносність
Львівсько-Волинський басейн	Розломи північно-західного простягання, що контролюють осадо накопичення	Слабко виражені складки; переважно моноклінна будова	Поділ на Львівську та Волинську частини	Порівняно проста тектонічна будова; акцент на стратиграфії та вугленосних товщах

1.3. Літологічні характеристики порід та їх вплив на умови ведення гірничих робіт

Літологічні особливості осадових товщ кам'яновугільних басейнів України мають вирішальне значення для формування умов у лаві та визначають рівень її обтяження. Вугленосні товщі карбону складаються з чергування пластів кам'яного вугілля з пісковиками, алевролітами, аргілітами та глинистими породами, що створює складну геомеханічну систему [8-10].

Пісковики та алевроліти характеризуються відносно високою міцністю, але при наявності тріщинуватості та зон розуцільнення вони стають джерелом обвалів. Їхня масивність і твердість часто призводять до утворення великих брил при руйнуванні, що ускладнює роботу очисних комбайнів і потребує посиленого кріплення.

Аргіліти та глинисті породи мають низьку міцність і схильність до розмокання при контакті з водою. Це створює небезпеку пластичних деформацій та обвалів покрівлі лави. У багатьох шахтах Донбасу саме

глинисті прошарки є головним чинником нестійкості покрівлі, що вимагає застосування спеціальних технологій кріплення та водовідведення.

Вугілля як основний продуктивний пласт має неоднорідну структуру: від щільних антрацитів до більш пористих кам'яних вугіллів. Мінеральні включення у вугіллі в залежності від регіону можуть бути представлені кварцом, польовими шпатами, халцедоном, доломітом, анкеритом, каолінітом, малантеритом, кальцитом. Так локальні прошарки карбонатних порід (вапняки, доломіти) у Дніпровському басейні створюють додаткові труднощі через їхню твердість і схильність до утворення тріщинних систем. Це може спричиняти раптові обвали та ускладнювати буріння й кріплення виробок.

Найпоширеніший мінерал у вугіллі – пірит, який зустрічається у вигляді округлих та неправильної форми утворень або окремих кристалів.. В золі вугілля переважають оксиди кремнію, можуть також бути оксиди заліза, які знаходяться у тісному взаємозв'язку з піритовою сіркою у вугіллі. Іноді зустрічаються рідкісні елементи: миш'як, барій, берилій, кобальт, марганець, нікель, цинк, хром, германій, молібден, стронцій, цирконій [11].

Висока газоносність вугілля, особливо метану, створює додаткові ризики газодинамічних явищ, вибухів та раптових викидів. Літологічна мінливість вугілля (зміна текстури, вмісту домішок, щільності) визначає його механічну поведінку під час очисних робіт.

Літологічні особливості вугільних басейнів України представлені в таблиці 1.3.

Донецький басейн характеризується переважанням кам'яновугільних (карбонових) відкладів із потужними вугленосними товщами, тоді як Дніпровсько-Донецька западина має багат шарову осадову товщу девонського–четвертинного віку з теригенними породами, вапняками та колекторами нафти і газу.

У Львівсько-Волинському басейні літологічні умови відносно сприятливі: пласти мають меншу потужність, а породи - більш передбачувану

структуру. Проте навіть тут глинисті прошарки та газоносність вугілля залишаються факторами ризику, що потребують постійного моніторингу.

Таблиця 1.3 – Літологічні особливості вугільних басейнів України

Ознака	Донецький басейн	Дніпровсько-Донецька западина	Львівсько-Волинський басейн
Основні породи	Кам'яне вугілля, антрацит, пісковики, алевроліти, глини, вапняки	Теригенні породи (піски, пісковики, алевроліти), вапняки, мергелі, крейда	Кам'яне вугілля, пісковики, алевроліти, глини
Вік відкладів	Переважно карбон (верхній палеозой)	Девон —четвертинний період	Переважно верхній палеозой (карбон)
Потужність товщ	До кількох км	11-18 км	1-2 км (порівняно невелика)
Ресурсна спеціалізація	Вугілля (кам'яне, антрацит)	Нафта і газ, другорядно - вугілля	Кам'яне вугілля (менш потужні пласти, ніж у Донбасі)
Структурна форма	Синклінорій, складчасто-розломна будова	Рифтогенна западина з інверсією	Моноклінальна будова з локальними складками

Таким чином, літологічні характеристики порід визначають: стійкість покрівлі та бокових порід у лаві; ймовірність обвалів та гірничих ударів; газодинамічні ризики; необхідність спеціальних технологічних заходів (кріплення, дегазація, водовідведення).

Врахування літологічних особливостей є критично важливим для прогнозування небезпечних явищ та розробки ефективних систем охорони праці у вугільних шахтах.

1.4. Стратиграфічні особливості вугільних регіонів України

Геологічна будова вугільних басейнів описує просторову організацію гірських порід і вугільних пластів, враховуючи їх залягання, потужність, нахили, складки, розломи та мінералогічний склад, і створює технологічні умови виготовлення та безпеку гірничих робіт. Стратиграфія, у свою чергу, вивчає послідовність, вікові компоненти та склад гірських порід, окремі

верхньо-, середньо- та нижньокам'яновугільні відклади, і дозволяє встановити історію формування відкладів та спланувати видобуток корисних копалин.

Розглянемо детально стратиграфічну будову кам'яновугільних басейнів України.

Стратиграфічна будова Донецького кам'яновугільного басейну [12-16] (центральный Донбас) включає три основні комплекси гірських порід: верхньокам'яновугільні відклади, середньокам'яновугільні відклади та нижньокам'яновугільні відклади. У верхньому комплексі залягають найпотужніші та найпродуктивніші пласти антрацитового та коксівного вугілля. Вугілля відбувається з пісковиками, алевролітами, аргілітами, глинами та окремими прошарками вапняків. Пластики мають значну потужність, часто досягають завтовшки від чотирьох до шести метрів. Характерною особливістю є нахиленість пластів, а також їх розриви та зсуви внаслідок тектонічних пошкоджень.

Середньокам'яновугільний комплекс складається з чисельних промислових пластів коксівного та енергетичного вугілля, потужністю приблизно від одного до трьох метрів. Породи, що їх оточують, представлені пісковиками, алевролітами, глинами та окремими карбонатними прошарками. У частині цієї розрізу породи знаходяться в складних структурних умовах, що пов'язані з розвитком складчастості.

Нижньокам'яновугільні відклади характеризуються перевагою товщів пісковиків, мергелів, алевролітів та глин, у які трапляються лише окремі тонкі вугільні прошарки. Вугілля практично не має промислового значення. Цей комплекс характеризується найбільшою глибиною залягання, яка часто перевищує 800 м.

Стратиграфічна послідовність Донецького басейна включає п'ять основних шарів:

- **четвертинні відклади (0-300 м)** - представлені сучасними алювіальними та делювіальними утвореннями;

- **неогенові породи** (300-600 м) - переважно глини, пісковики, алевроліти.
- **карбон** (600-1500 м) - основна продуктивна товща з вугільними пластами, пісковиками та алевролітами.
- **перм** (1500-1600 м) - представлений осадовими породами, зокрема пісковиками та глинами;
- **палеозойський фундамент** (з 1600 м) - кристалічні породи, що завершують розріз.

Стратиграфічна послідовність Дніпровського кам'яновугільного басейна схожа (Західний Донбас, частина Дніпропетровської області) з Донецькою, що пояснюється їх геотектонічною єдністю [12], але має певні особливості [10,17].

Верхньокам'яновугільний комплекс представлений пластами коксівного та енергетичного вугілля середньої потужності. Вугілля залягає у товщах пісковиків, алевролітів і глин. Породи розташовані майже горизонтально/

Середньокам'яновугільні відклади включають пісковики, глини, алевроліти та кілька промислових пластів вугілля. Потужність пластів становить приблизно від одного до двох метрів.

Нижньокам'яновугільні вклади складені пісковиками, мергелями, глинами та алевролітами. Вугільні пластики в частині цієї розрізу представлені поодинокими тонкими прошарками. Комплекс характеризується найбільшою глибиною залягання.

Стратиграфічна послідовність включає п'ять основних шарів, але з іншими товщинами:

- **четвертинні** (0-50 м) - малопотужні сучасні відклади;
- **неоген** (50-150 м) - глинисті та піщані породи;
- **карбон** (150-1500 м) - потужна вугленосна товща;
- **перм** (1500-1800 м) - добре виражений, на відміну від Львівсько-Волинського басейну;
- **фундамент** (з 1800 м) - кристалічні породи.

Схематично стратиграфічний розріз представлено на рис.1.5.

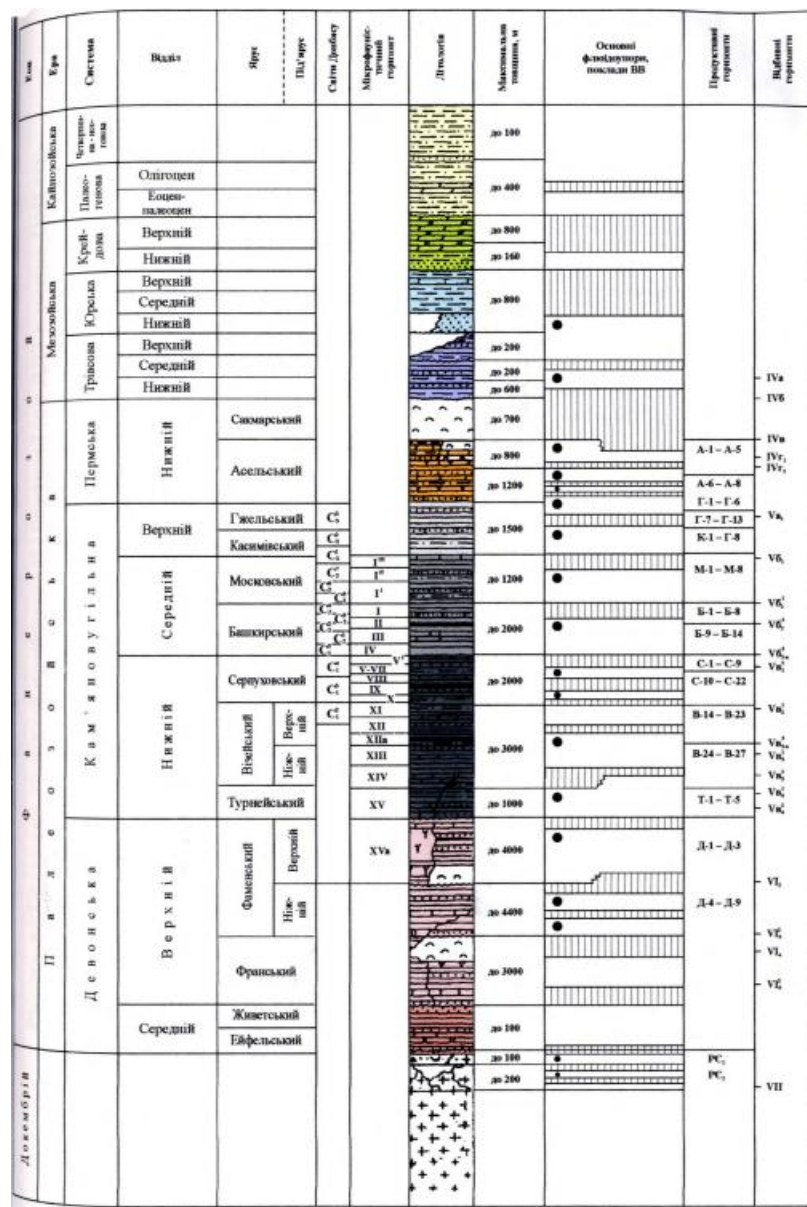


Рис. 1.5. Зведений стратиграфічний розріз Західного та центрального Донбасу [12].

Зауважимо, що в науковій літературі Донецький кам'яновугільний басейн та Дніпровсько-Донецька западина нерідко розглядаються у комплексі, що зумовлено їхньою геотектонічною єдністю [12]. Донбас є південно-східним сегментом Дніпровсько-Донецької рифтогенної системи, яка сформувалася внаслідок палеозойського рифтогенезу та подальшої інверсії. Спільними для обох регіонів є система глибинних розломів, сегментація на блоки та розвиток антиклінальних структур. Водночас їхня ресурсна спеціалізація та структурні особливості суттєво відрізняються: Донецький

басейн характеризується складчасто-розломною будовою та високим ступенем дислокованості, що визначає його вугленосність і складність гірничих робіт, тоді як Дніпровсько-Донецька западина має переважно рифтогенну природу та є основним нафтогазоносним регіоном України. Таким чином, коректно розглядати ці структури разом у геотектонічному аспекті, але необхідно підкреслювати їхні відмінності у стратиграфії, тектоніці та ресурсній спеціалізації.

Стратиграфічна будова Львівсько-Волинського [18-20] кам'яновугільного басейна є значно простішою (у порівнянні з Донецьким басейном) і характеризується меншою потужністю вугленосної товщі. На відміну від Дніпровсько-Донецької западини Львівсько-Волинський басейн не має багат шарових нафтогазоносних комплексів, натомість має чітку орієнтацію на кам'яновугільні пласти.

Відрізняється відсутністю пермських відкладів:

- **четвертинні** (0-30 м) - сучасні осадові утворення;
- **неоген** (30-100 м) - глинисті та піщані породи;
- **карбон** (100-1200 м) - продуктивна товща з пластами башкирського ярусу;
- **фундамент** (з 1200 м) - палеозойські кристалічні породи.

Порівняння зведених стратиграфічних розрізів Донецько-Дніпровського басейнів (рис.1.5.) та Львівсько-Волинського басейну (рис.1.6.) дозволяє зробити такі висновки.

У всіх трьох басейнах простежується подібна послідовність стратиграфічної будови: четвертинні → неоген → карбон → (перм, якщо присутній) → палеозойський фундамент. Це свідчить про спільні закономірності геологічного розвитку території.

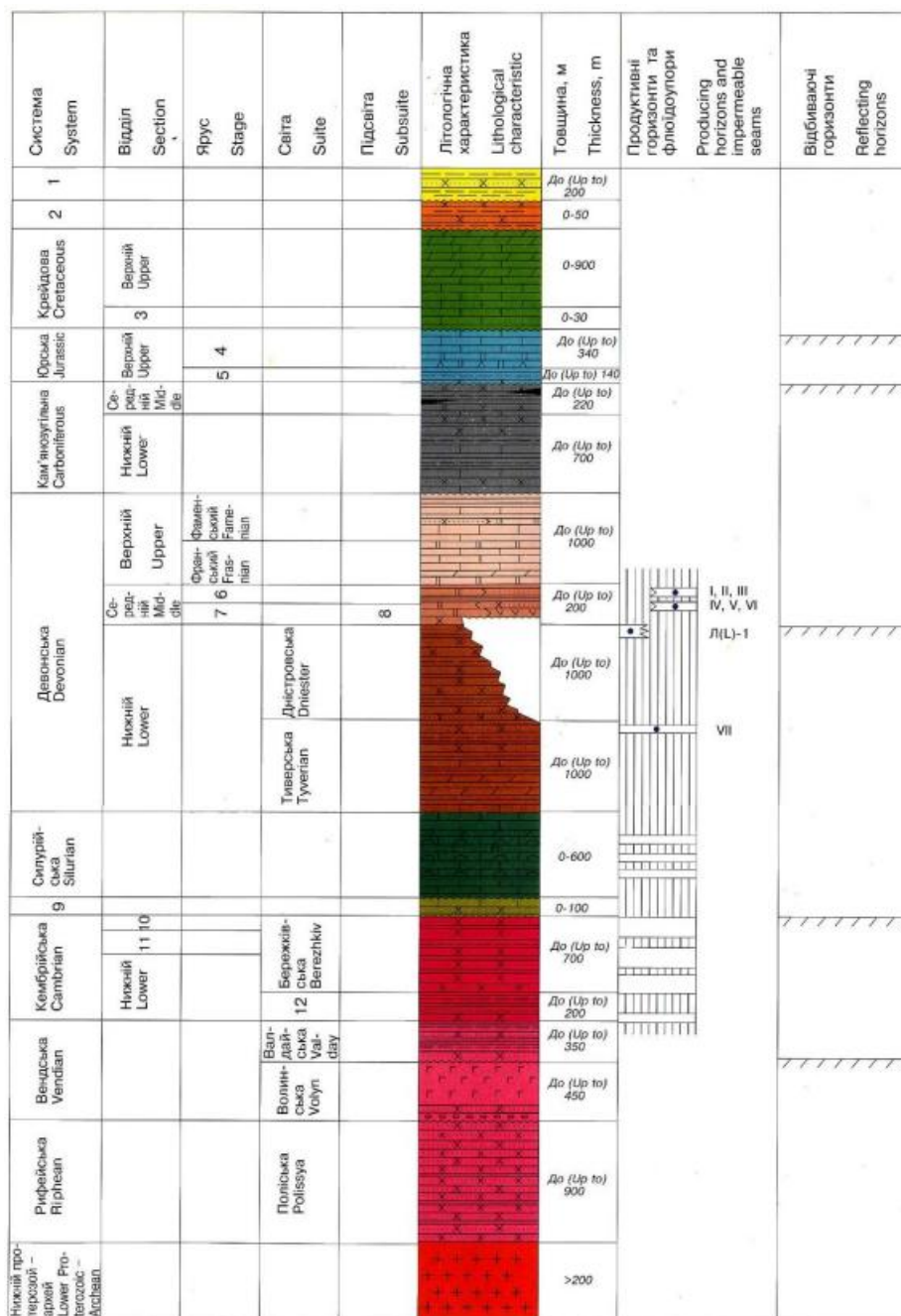


Рис. 1.6. Зведений стратиграфічний розріз Львівсько-Волинського басейна [21]
1 - неогенова система, 2 - палеогенова система, 3 - нижній відділ крейдової системи; 4 - кімерійсько-тетонський ярус, 5 - оксфордський ярус, 6 - живецький ярус, 7 - ейфельський ярус, 8 - лопушанська підсвіта, 9 - ордовіцька система, 10 - верхній відділ кембрійської системи, 11 - середній відділ кембрійської системи, 12 - балтійська світа

Вугільні басейни України мають відмінності у товщині четвертинних і неогенових відкладів. Так, Донецький басейн має найпотужніші четвертинні відклади (до 300 м), у Дніпровському та Львівсько-Волинському вони значно тонші (50 м та 30 м відповідно). Це відображає різні умови новітнього осадонакопичення.

У всіх басейнах карбон є найпотужнішим шаром (від 900 до 1350 м), що підтверджує його ключове значення для вуглевидобутку. В той же час у Львівсько-Волинському карбон залягає ближче до поверхні, що робить його доступнішим для розробки. У Донецькому та Дніпровському він більш глибокий, але потужний.

Пермські відклади присутні у Донецькому та Дніпровському басейнах, але відсутні у Львівсько-Волинському. У Дніпровському перм значно потужніший (300 м), ніж у Донецькому (100 м). Це свідчить про різні умови осадо накопичення в пермський час.

У Львівсько-Волинському басейні фундамент залягає найближче (з 1200 м). У Донецькому - з 1600 м, у Дніпровському - з 1800 м. Це відображає різну глибину залягання кристалічних порід і тектонічні особливості регіонів.

Таблиця 1.5 - Стратиграфічна характеристика та послідовність вугільних басейнів України

Ознака	Донецький басейн	Дніпровсько-Донецька западина	Львівсько-Волинський басейн
Фундамент	Докембрійські породи Українського щита та Воронезького масиву	Докембрійський кристалічний фундамент	Девонські породи (пісковики, алевроліти, вапняки)
Основна вугленосна товща	Карбон (намюр, візе, пізніші яруси) з численними пластами кам'яного вугілля та антрациту	Кам'яновугільні відклади (карбон), але менш потужні; головна роль -колектори нафти і газу	Карбон (намюрський ярус) -головна продуктивна товща з вугільними пластами
Пермські відклади	Вапняки, мергелі, теригенні породи	Вапняки, пісковики, мергелі	Вапняки, мергелі, пісковики
Мезозойські відклади	Тріас, юра, крейда - покривні комплекси	Тріас, юра, крейда - потужні товщі, важливі для нафтогазоносності	Тріас, юра, крейда - покривні породи
Кайнозойські відклади	Палеоген, неоген, четвертинні - глини, піски, леси	Палеоген, неоген, четвертинні - різноманітні осадові товщі	Палеоген, неоген, четвертинні - алювіальні та лесові відклади
Особливість	Потужна карбонова вугленосна товща, складчасто-розломна будова	Багат шарова осадова товща (11-18 км), головна спеціалізація - нафта і газ	Простіша моноклінальна будова, менша потужність вугленосних товщ

Стратиграфічна будова Донецького, Дніпровського та Львівсько-Волинського вугільних басейнів демонструє різні геологічні умови та особливості залягання вугільних пластів (таблиця 1.5). Стратиграфічна будова басейнів характеризується наявністю верхньо-, середньо- та нижньокам'яновугільних відкладень з різною потужністю пластів і різними типами вугілля. Донецький басейн має складну стратиграфічну і тектонічну структуру, глибоке залягання пластів та високоякісне антрацитове і коксівне вугілля, Дніпровський – середньої глибини залягання та більшу просту структуру з коксівним і енергетичним вугіллям, а Львівсько-Волинський характеризується середньою потужністю пластів, простими геологічними умовами та енергетичним вугіллям. Особливості стратиграфічної будови вимагають для кожного басейна особливі технології виробництва, та особливі вимоги безпеки гірничих робіт.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

Тема магістерської роботи «Дослідження геологічних та геофізичних умов розвитку та причини обтяження лав вугільних шахт» є актуальною, науково обґрунтованою та важливою для сучасної гірничої галузі України. Її вибір зумовлений комплексом факторів, що стосуються безпеки гірничих робіт, ефективності виробництва та сучасних викликів видобувної галузі.

Головною причиною вибору цієї теми є критична важливість проблеми обтяження лав у процесі видобутку вугілля. Обтяження лав включає сукупність небезпечних або ускладнюючих факторів, що проявляються у значному тиску гірських порід, раптових викидів вугілля та газу, зруйнування масивів порід, інтенсивного водоприпливу або проявів гірничих тектонічних процесів. Ці явища створюють пряму загрозу для життя працівників шахт, порушують ритмічність видобутку, викликають аварійні ситуації та суттєво збільшують виробничі витрати. Дослідження причини їх виникнення є важливою передумовою для підвищення рівня безпеки вугільновидобувних підприємств.

Складність геологічних умов вуглевидобувних регіонів України є також одним з можливих факторів виникнення обтяжень. Більшість вугільних басейнів, зокрема Донецького, характеризуються значною тектонічною пошкодженістю, високим пластовим тиском, значною глибиною залягання продуктивних пластів та нерівномірністю їхньої потужності. У багатьох шахтах є активна газодинамічна діяльність, що створює загрозу раптових викидів та вибухів метану. Вивчення геологічної будови, структури масиву порід, характеру розломів, зони дроблення та інших тектонічних елементів є необхідним для розуміння механізмів виникнення обтяжень.

Внаслідок військової агресії вугільна галузь України зазнала значних структурних змін. Частина шахти перебуває в зоні бойових дій або втрачена, інша частина стикається з критичним зношенням інфраструктури та

обмеженням умов експлуатації. В цих умовах підвищення рівня безпеки гірничих робіт є стратегічним завданням держави та гірничої науки. Дослідження обтяження лав дає можливість вирішити ключові ризики та розробити практичні рекомендації для запобігання аварійних ситуацій.

Відомо, що головною причиною аварій на шахтах є вибух метану. В той же час у загальних статистичних даних зазначено, що обвали породи («вивалення/обвалення порід») становлять значну частку нещасних випадків у вугільній промисловості України [22]. Проблема обвалення вугільних пластів є предметом дослідження фахівців в галузі промислової безпеки. Обвали вугілля є наслідком тиску, що утворився в гірських виробках, і дій гравітаційних процесів, тобто обвали є результатом обтяження лав. Цей процес відбувається під механічним впливом, викликаним геологічними тектонічними процесами і високим тиском.

Для освідомлення реальних масштабів проблеми, ми провели аналіз літературних даних по аварійним ситуаціям на шахтах України із визначенням їх геофізичного підґрунтя.

Аварійні ситуації у вугільних шахтах України мають багатофакторний характер, але їхня основа завжди пов'язана з геологічними та геофізичними умовами масиву. Аналіз практики показує, що найбільш небезпечними є газодинамічні явища, гірничі удари та обвалення порід, які виникають у результаті поєднання високої газоносності, тектонічної порушеності та літологічної мінливості.

Аналіз аварійності у шахтах кам'яновугільних басейнів України виконано за період 2014-2024 рр.. Саме цей десятирічний інтервал є репрезентативним, оскільки охоплює сучасний етап функціонування шахт від активної експлуатації до поступового закриття та консервації. У цей час накопичено найбільш систематизовані дані у наукових публікаціях, дисертаційних дослідженнях та технічних звітах. Вибір десятирічного періоду забезпечує достатню статистичну базу для узагальнення та дає змогу

простежити актуальні тенденції розвитку небезпечних явищ у шахтах різних басейнів.

При аналізі аварійних ситуацій ми врахували, що з 2014 року більшість шахт центрального Донбасу опинилися у зоні бойових дій і фактично припинили систематичну роботу. Це означає, що дані після 2014 р. є фрагментарними та не відображають реальної картини аварійності. Тому для центрального Донбасу у дослідженні використано переважно статистику та узагальнення за період до 2014 р., коли шахти функціонували повноцінно. У той же час для Дніпровського та Львівсько-Волинського басейнів аналіз охоплює 2014–2024 рр., що дозволяє простежити сучасні тенденції розвитку небезпечних явищ. Такий підхід забезпечує коректність порівняння між басейнами та уникнення статистичних перекручень.

Таблиця 2.1 Аварійні ситуації у шахтах вугільних басейнів України [8, 22,23]

Басейн	Типові аварії	Орієнтовна кількість випадків (2014–2024)	Основні причини
Донецький (Центральний Донбас)	Раптові викиди метану та вугілля	> 200 випадків	Висока газонасність, складна тектоніка, тріщинуватість, глибина залягання
	Вибухи газопилових сумішей	> 100 випадків	Накопичення метану + пил, недостатня вентиляція
	Обвалення порід	> 150 випадків	Масивні пісковики, глинисті прошарки, слабка покрівля
Дніпровський (Західний донбас)	Гірничі удари	> 50 випадків	Глибоке залягання пластів, високий напружено-деформований стан масиву
	Раптові викиди газу	> 30 випадків	Локальні тектонічні порушення, підвищена газонасність
	Обвалення виробок	> 40 випадків	Тріщинуватість пісковиків, слабкі глинисті прошарки
Львівсько- Волинський	Обвалення порід покрівлі	> 20 випадків	Водоносні горизонти, розмокання глинистих порід
	Водопритоки у виробки	> 15 випадків	Підземні водоносні системи, недостатній дренаж
	Газодинамічні явища	> 10 випадків	Локальні зони метанонасності, слабка вентиляція

Аналіз аварійних ситуацій за період 2014–2024 рр. показує суттєві відмінності між кам'яновугільними басейнами України.

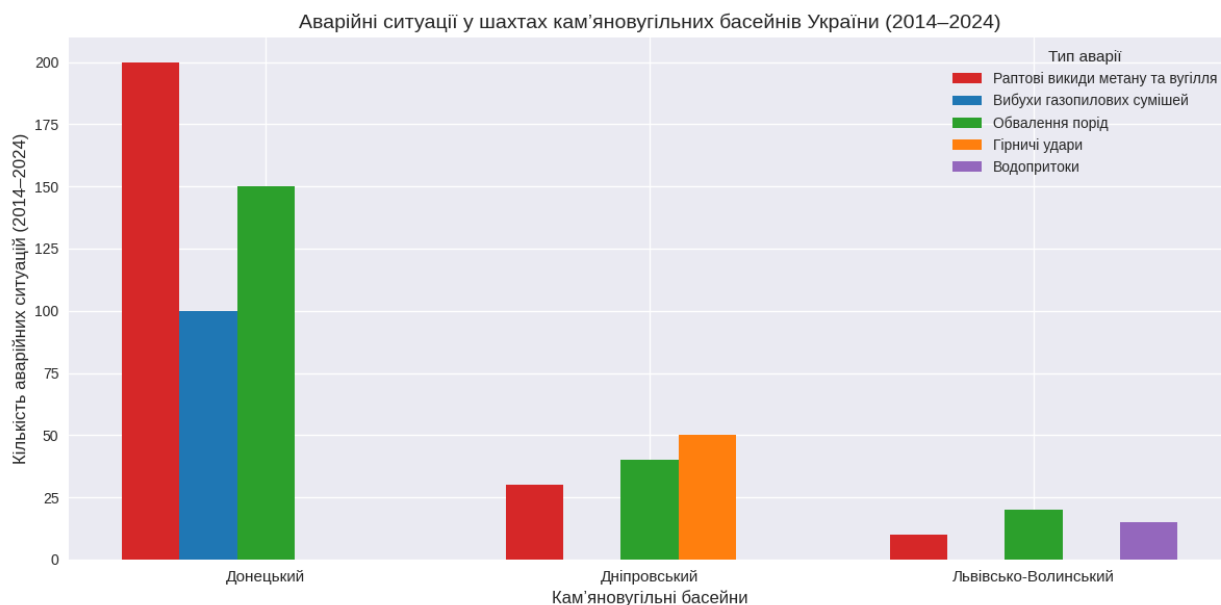


Рис.2.1. Аварійні ситуації на шахтах України 2014-2024 рр. [22]

Донецький кам'яновугільний басейн демонструє найбільшу кількість аварій, що пояснюється як історично високим рівнем газоносності пластів, так і складною тектонічною будовою. Основними причинами є раптові викиди метану та вибухи газопилових сумішей. Водночас слід враховувати, що після 2014 року більшість шахт припинили роботу, тому наведені дані відображають переважно ситуацію до початку воєнних дій.

Дніпровський басейн характеризується меншою кількістю аварій, але специфічною проблемою є гірничі удари, пов'язані з глибоким заляганням пластів і високим напружено-деформованим станом масиву. Це робить його особливо небезпечним у плані механічної нестійкості виробок.

Найменша кількість аварій відбувається на шахтах Львівсько-Волинського басейну, проте тут домінують обвалення порід покрівлі та водопритоки. Причиною є водоносність глинистих прошарків і близьке залягання пластів до поверхні, що створює специфічні ризики для безпеки робіт.

Зупинка роботи багатьох шахт після 2014 року на Донбасі, та активні бойові дії в Україні з лютого 2022 року (Донеччина, Дніпропетровщина) призводять до критичного геофізичного обтяження вугільних басейнів - через підтоплення, осідання, зсув та втрату контролю над гірничим масивом. Це підтверджують останні наукові дослідження та польові спостереження в Донецькому та Дніпровському регіонах [24].

За даними звіту ОБСЄ: П'ять років бойових дій на сході України [25] підтоплюються або вже повністю затоплені і не підлягають подальшій експлуатації 39 шахт регіону, в деяких з них зберігаються небезпечні речовини (дані за 2014-2018 рр).

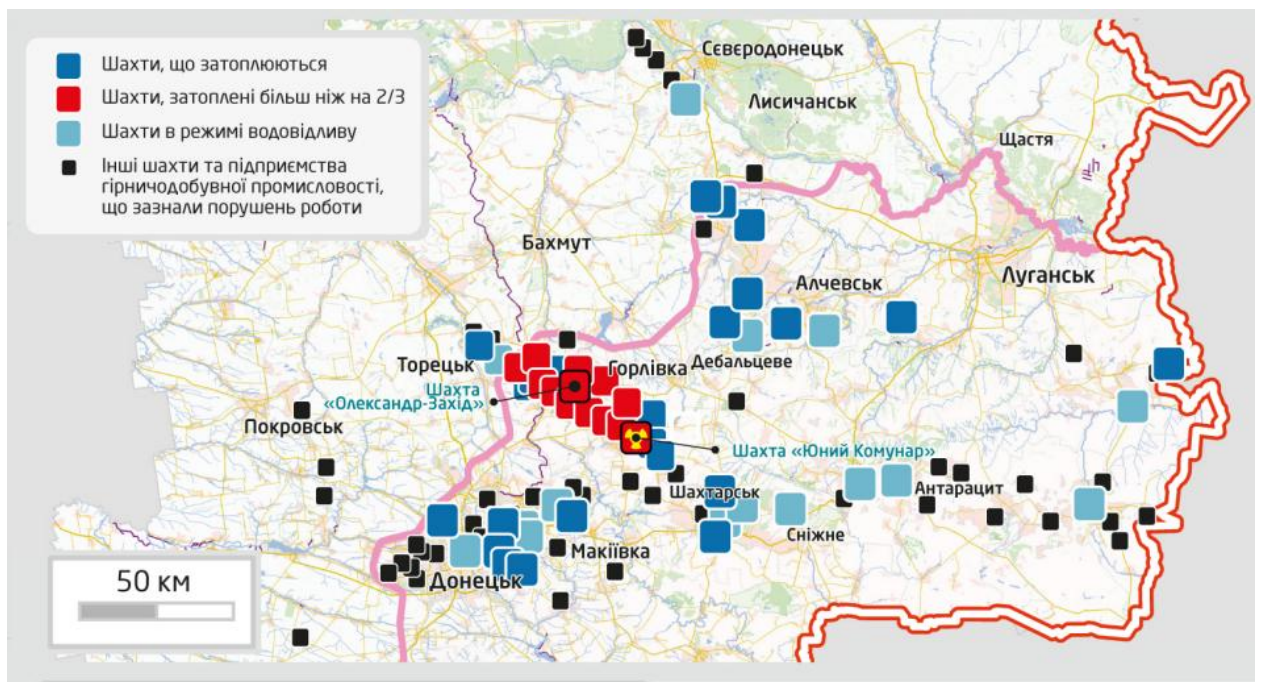


Рис.2.2. Стан шахт Донецького кам'яновугільного басейна [25]

Після зупинки водовідливу рівень шахтних вод стрімко підвищується, що змінює поривний тиск і викликає деформацію масиву; через втрату опори в гірничих виробках відбувається поступове осідання, іноді з провалами. Посилюється газова міграція - метан та інші гази, накопичені в шахтах, можуть вийти на поверхню через тріщини. Таким чином перерозподіл шахтних вод

після закриття шахти спричиняє локальне обтяження в масиві, зміну гідродинамічного режиму та ризику для поверхневих споруд.

З лютого 2022 року в зоні активних бойових дій опинились найбільші шахти Донбасу (Донецька та Луганська області). Це стосується шахт у Бахмуті, Торезьку, Авдіївці, Мар'їнці, Добропіллі, Покровській, Селидовому, Красноармійському районі та Лисичанській. На рис.2.3. наведені дані звіту ОБСЄ [26] по пошкоджених промислових об'єктах України станом на кінець 2023 р.



Рис.2.3. Пошкодження промислових об'єктів [26]

У Дніпровському басейні (Західний Донбас, Павлоградський район) шахти не окуповані, але регулярно зазнають ракетних та дронівих атак, що створює ризики для їхньої роботи. Ці шахти зберігають видобуток, але тривалі вібраційні навантаження від вибухів призводять до локальних деформацій. зсувів на териконах, збільшується ризик підтоплення виробок через перебої у водовідливі.

У таблиці 2.2 наведені узагальнені дані впливу бойових дій на геофізичний стан шахт для трьох ключових вугільних регіонів - Бахмут, Покровськ та Павлоград.

Таблиця 2.2. – Вплив бойових дій на геофізичні процеси шах центрального та західного Донбасу

Ознака	Бахмут (Донецчина)	Покровськ (Донецчина)	Павлоград (Дніпропетровщина)
Стан шахт	Більшість шахт зруйновані або підтоплені; водовідлив зупинений	Шахта «Покровська» зупинила видобуток у 2025 р.; частина інфраструктури зруйнована	У жовтні 2025 р. обстріли знеструмили шахти; понад 1000 шахтарів залишалися під землею
Основні наслідки бойових дій	Руйнування інфраструктури, підтоплення виробок, неконтрольовані провали	Руйнування поверхневих об'єктів, ризик втрати коксівного вугілля	Знеструмлення → ризик підтоплення; вібраційні навантаження; небезпека зсувів на териконах
Геофізичні процеси	Осідання поверхні, газова міграція, підтоплення	Підйом рівня шахтних вод, провали, деформації споруд	Осідання, локальні деформації, підтоплення, зсуви

Бойові дії на території Донецчини та Дніпропетровщини спричинили комплексні зміни у геофізичному стані шахтних регіонів. У Бахмуті більшість шахт зруйновані або підтоплені через зупинку водовідливу, що призводить до осідань поверхні, неконтрольованих провалів та міграції шахтних газів. У Покровську стратегічна шахта «Покровська», яка забезпечувала коксівне вугілля для металургії, зупинила видобуток; руйнування інфраструктури та підйом рівня шахтних вод створюють ризики деформацій і втрати контролю над гірничими полями. У Павлограді обстріли призвели до знеструмлення шахт, що підвищило небезпеку підтоплення виробок; вибухові навантаження та порушення роботи териконів посилюють ризик локальних зсувів і осідань. Таким чином, бойові дії не лише зупинили видобуток у ключових центрах, але й активізували небезпечні геофізичні процеси - підтоплення, осідання, зсуви та газову міграцію, які мають довготривалі наслідки для екологічної та техногенної безпеки регіонів.

Таким чином, кожен басейн має власний «профіль безпеки», що потребує регіонально диференційованого підходу до безпеки гірничих робіт.

РОЗДІЛ 3. ГЕОФІЗИЧНІ УМОВИ ТА ФАКТОРИ ОБТЯЖЕННЯ ЛАВ

3.1. Геофізичні методи дослідження вугільних пластів

Геофізичні методи досліджень у вугільних шахтах застосовуються для визначення фізичних властивостей порід, прогнозування небезпечних явищ та оптимізації гірничих робіт. Вони базуються на фундаментальних законах фізики - гравітаційного та магнітного поля, поширення пружних хвиль, радіоактивного випромінювання тощо. Найбільш відомі й застосовуються в світі геофізичні методи дослідження вугільних пластів - це електричні, сейсмічні, гравіметричні, магнітні, радіометричні, геотермічні та комплексні каротажні методи.

Електричні методи (каротаж, електророзвідка) базуються на вимірюванні питомого електричного опору гірських порід. Залежно від пористості, водонасиченості та газоносності породи мають різні електричні характеристики. Каротаж у свердловинах дозволяє отримати вертикальний розріз фізичних властивостей пластів, тоді як електророзвідка застосовується для площинного картування. У Львівсько-Волинському басейні електричні методи використовують для картування морфології пластів та визначення умов осадонакопичення [19]. В шахтах Донбасу електричні методи використовують для виявлення зони підвищеної тріщинуватості, для визначення ділянок із метановими скупченнями, для оцінки ступеня водонасиченості пластів у районах підтоплення шахт та контролю стану масиву після бойових дій, коли порушується гідрогеологічний режим [24].

Через масове підтоплення шахти та руйнування інфраструктури електричні методи залишаються одним із небагатьох способів отримання даних про стан масиву без прямого доступу до виробу.

Сейсмічні методи ґрунтуються на аналізі швидкості поширення пружних хвиль у гірському масиві, що дозволяє визначити зони розуцільнення, тріщинуватості та тектонічних пошкоджень. У практиці вугільних шахт Дніпровсько-Донецького регіону сейсміка використовується

для прогнозування гірничих ударів та локалізації небезпечних ділянок, а також для моніторингу впливу бойових дій на геодинамічний стан масиву [25, 26]. У Львівсько-Волинському басейні сейсмічні методи допомагають досліджувати малоамплітудну тектоніку пластів [27].

В реаліях України сейсмічні дослідження мають особливе значення: вони можуть відстежувати зміни геодинамічного стану масиву без послідовного доступу до виробок [28]. Це критично важливо для прогнозування техногенних катастроф, таких як неконтрольовані провали, осідання поверхні та активізація газової міграції.

Методи гравіметрії та магніторозвідки дають можливість виявити глибинні структури та розломи, які впливають на напружено-деформований стан масиву. Теорія та практика гравітаційних та магнітних методів у гірничій геофізиці, опис принципів, практичні аспекти та використання для розвідки корисних копалин надані Дж. Хінце [29]. У світовій практиці ці методи використовують для прогнозування зони гірничих ударів, визначення глибинних тектонічних пошкоджень та оцінки стійкості масиву при інтенсивному отриманні. В Україні магніторозвідка використовує для уточнення морфології пластів та малоамплітудної тектоніки (Львівсько-Волинський басейн), для виявлення великих тектонічних порушень, що ускладнюють видобуток і створюють ризики осідання поверхні (Донецький, Дніпровський басейни) та для забезпечення безпеки очисних робіт у складних блокових структурах.

Радіометричні методи використовуються для контролю природної радіоактивності порід, що може бути індикатором їхнього складу та умов осадонакопичення. У поєднанні з іншими методами вони допомагають уточнити стратиграфічну побудову пластів та оцінити екологічні ризики.

Вимірювання температурних градієнтів у шахтах (геотермічні дослідження) дозволяє оцінити тепловий режим і його вплив на газонасність та стійкість порід. У глибоких шахтах Донбасу підвищений тепловий потік є додатковим фактором ризику, що ускладнює видобуток [24].

З'єднання електричних, акустичних та радіометричних вимірювань у свердловинах дає повну картину фізичних властивостей поряд. Це дозволяє прогнозувати поведінку масиву під час очевидних робіт і остаточно виявляти небезпечні ділянки як у Донбасі, так і в Дніпровському та Львівсько-Волинських вугільних басейнах.

Геофізичні методи дослідження вугільних пластів є ключовим інструментом для комплексного розуміння геологічної будови та прогнозування небезпечних процесів у шахтарських регіонах України. У Донецькому басейні вони можуть виявляти зони тріщинуватості, підтоплення та прогнозувати гірничі удари, що особливо актуально в умовах бойових дій та втрати контролю над шахтами. У Дніпровському басейні найбільш ефективними є гравіметричні та електричні методи, які допомагають картувати блокові структури та забезпечувати стійкість лав. Львівсько-Волинський басейн, де пласти залягають на менших глибинах, потребує акценту на сейсмічних та електричних методах для дослідження малоамплітудної тектоніки та морфології пластів. Таким чином, кожен басейн має власну специфіку застосування геофізичних методів, але їх комплексне використання забезпечує найбільш повну картину фізичних властивостей поряд і є необхідними умовами для безпечної та ефективної роботи вугільної промисловості.

3.2. Вплив геофізичних параметрів на стійкість лав

Стійкість очисних лав у вуглевидобувних шахтах є ключовим чинником безпеки гірничих робіт та ефективності видобування корисної копалини. Геофізичні параметри гірських порід визначають характер напружено-деформованого стану масиву, а також умови формування зон обвалювання і проявів небезпечних гірничих явищ (таблиця 3.1.). Правильне розуміння цих параметрів дає можливість прогнозувати поведінку гірських порід, оптимізувати параметри систем розробки та мінімізувати ризики аварійних ситуацій.

Таблиця 3.1. - Вплив геофізичних параметрів на стійкість лав [24, 30-33]

Параметр	Індикатор	Вплив на стійкість лав
Пружні характеристики порід (швидкість Р- і S-хвиль, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона) (швидкість Р- і S-хвиль, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона)	Зміна швидкості хвиль, зниження модулів	Вказує на розушільнення та деградацію міцності, закінчується ризик гірничих ударів
Міцність та щільність порід	Границя міцності на стиск/зсув, густина	Визначає здатність порід витримувати навантаження; низька міцність → обвали
Напружено-деформований стан масиву	Концентрація головних напруг	Локальні піки напруження біля лави провокують нестабільність та відрив борту
Тріщинуватість і пошкодженість	Наявність розломів, блокових меж	Контролює перерозподіл напруги, підвищує ризик нестабільності обвалів
Газоносність (метан)	Вміст газу у пластах	Знижує ефективне напруження,, підвищує ризик раптових викидів і ризик раптових вибухів
Водоносність	Питомий опір (електрокаротаж)	Зволожені зони мають меншу міцність, що сприяє розушільненню та ковзанню
Геотермічні умови	Термокаротаж, теплові аномалії	Підвищений тепловий потік у глибоких шахтах знижує міцність порід
Радіоактивність порід	Природний фон	Індикатор складу та умов осадонакопичення, уточнює стратиграфію
Гравітаційні та магнітні аномалії	Відхилення гравітаційного та магнітного полів	Виявляють глибинні структури та блокову дискретність, що впливає на стійкість лав
Мікросейсмічна активність	Локальні імпульси	Сигналізує про наближення граничного стану масиву, прогнозує нестабільність

Щільність гірських порід безпосередньо пов'язана з їхньою міцністю і ступенем стійкості до деформацій. Порооди зі збільшеною щільністю зазвичай мають вищий модуль пружності, що сприяє рівномірному розподілу напружень навколо очисної лави. Так висока щільність пісковиків та алевролітів створює жорсткі умови для руйнування масиву. Навпаки, породи з підвищеною пористістю (тріщинуватістю) характеризуються меншою міцністю, нерівномірним розподілом навантажень і схильністю до

передчасного руйнування. У зонах з підвищеною пористістю частіше виникають обвалення покрівлі, руйнування бокових поверхонь лави та значні деформації, що потребує застосування посиленого кріплення та ретельного моніторингу стану масиву.

Електричний опір і природна електропровідність порід є індикаторами їхнього фізичного стану. Зниження електричного опору свідчить про: підвищену вологість, тріщинуватість, наявність зон розущільнення у масиві. Вода у тріщинах і порах порід знижує їхню міцність, сприяє розмоканню глинистих прошарків і утворенню обвалів. Такі ділянки зазвичай мають зменшену міцність покрівлі та підвищений ризик локальних провалів. У Львівсько-Волинському басейні водоносність є одним із головних чинників нестійкості покрівлі [19]. Зміни електричного опору вздовж лави дозволяють визначати слабкі ділянки до початку ведення робіт і своєчасно вживати заходи щодо їхнього укріплення.

Вплив геофізичних параметрів на стійкість лав проявляється у трьох головних аспектах:

1. Механічна нестійкість (щільність, тріщинуватість, водоносність).
2. Газодинамічні ризики (метан, пористість, тепловий режим).
3. Аварійні явища (раптові викиди, гірничі удари, обвалення порід).

Комплексне врахування цих параметрів у геофізичних дослідженнях дозволяє прогнозувати небезпечні ділянки та розробляти заходи для зменшення обтяження лав.

3.3. Причини обтяження лав

Обтяження - це динамічне явище, яке спостерігається в шахтах, де вугілля видобувається методом лав. Обтяження характеризується високою швидкістю зростання навантаження на кріплення, які підтримують стабільність покрівлі вздовж забою лав, що призводить до втрати стійкості покриття, обвалів, відривів борту та негативно впливає на процес видобутку.

Воно виникає внаслідок перерозподілу напруження у масиві порід і є результатом комплексної взаємодії геологічних та геофізичних факторів.

Основні причини виникнення обтяжень можна згрупувати за кількома напрямками:

1. Газодинамічні явища – це раптові викиди вугілля та газу та вибухи газопилових сумішей (метан та вугільний пил). Виникають у зонах високої газоносності та тріщинуватості, особливо в Донбасі, де метан накопичується у замкнених блоках і зафіксовано численні аварії, пов'язані з раптовими викидами метану, що призводили до обвалів покрівлі та зупинки робіт.

2. Гірничі удари виникають у результаті локального перерозподілу напружень у масиві порід. Найчастіше спостерігаються у зонах тектонічних порушень, де пласти ущільнені та мають високу міцність. У Дніпровському басейні гірничі удари реєструвалися при розробці глибоких пластів, де напружено-деформований стан масиву був особливо складним.

3. Обвалення порід спричиняють глинисті прошарки схильні до розмокання та масивні пісковики, що утворюють великі уламки при руйнуванні, наприклад, у Львівсько-Волинському басейні обвалення часто пов'язані з водонасиченням глинистих порід, що знижує їхню міцність.

4. Водоносність і гідрологічні фактори. Вода у тріщинах і порах порід знижує їхню стійкість, сприяє утворенню зон розущільнення. Водоносні горизонти можуть створювати небезпеку прориву води у виробки.

Приклад: у шахтах Донбасу прориви води з водоносних горизонтів неодноразово ставали причиною аварійних ситуацій.

Причини обтяження лав мають комплексний характер, але для кожного регіону є свої особливості: у Донбасі домінують газодинамічні явища та обвали через складну тектоніку; у Дніпровському басейні - гірничі удари та напружений стан масиву; у Львівсько-Волинському - водоносність і слабкі глинисті породи.

Врахування цих факторів є критично важливим для прогнозування небезпечних явищ і розробки заходів безпеки.

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГЕОЛОГІЧНИХ І ГІРНИЧИХ УМОВ У ШАХТАХ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ БАСЕЙНІВ УКРАЇНИ

Практичний аналіз умов у шахтах здійснено на основі стратиграфічних даних, геофізичних характеристик, літологічних особливостей, глибини залягання пластів, аварійності та гірничотехнічних умов. Враховуючи складність будови, історичний аспект та поточну ситуацію, для практичного дослідження ми обрали Донецько-Дніпровський регіон. Для кожного регіону розглянуто типові шахти, що дозволяє виявити специфіку ускладнень та визначити регіональні відмінності: шахта О.Ф. Засядько (Zasyadko mine) - класичний приклад складної тектоніки, підвищеної газонасиченості шахт Донецького кам'яновугільного басейна (центральний Донбас) та Павлоградська шахта / Pavlohradska (Pavlogradugol) - центральна шахта Павлоградського вугільного району (західний Донбас, Дніпровська область).

4.1. Загальна інформація по обраним шахтам

Шахта імені Олександра Федоровича Засядька (далі шахта Засядька) є однією з історичних шахт Донецького кам'яновугільного басейну. Розташована в місті Донецьк, експлуатується з 1958 року, проектна потужність 1,200 млн. тон вугілля на рік. Робочі горизонти розташовані на глибині 529 м, 802 м, 1078 м, максимальна глибина - 1270 м. Промислові запаси вугілля станом на 01.01.99 р. становили 97,4 млн тон [34].

З 2014 року територія Донецької області, де знаходиться шахта Засядько знаходиться на тимчасово непідконтрольній Україні території (географічне положення шахти Засядько на мапі України дивись рис.4.1.). В січні 2023 року окупаційна влада закрила кілька шахт Донеччини, серед них була і шахта Засядька [35]. У 2025 році стало відомо За інформацією [36] стало відомо, що з початку 2025 року шахта Засядька затоплена та працює у режимі водовідливу.

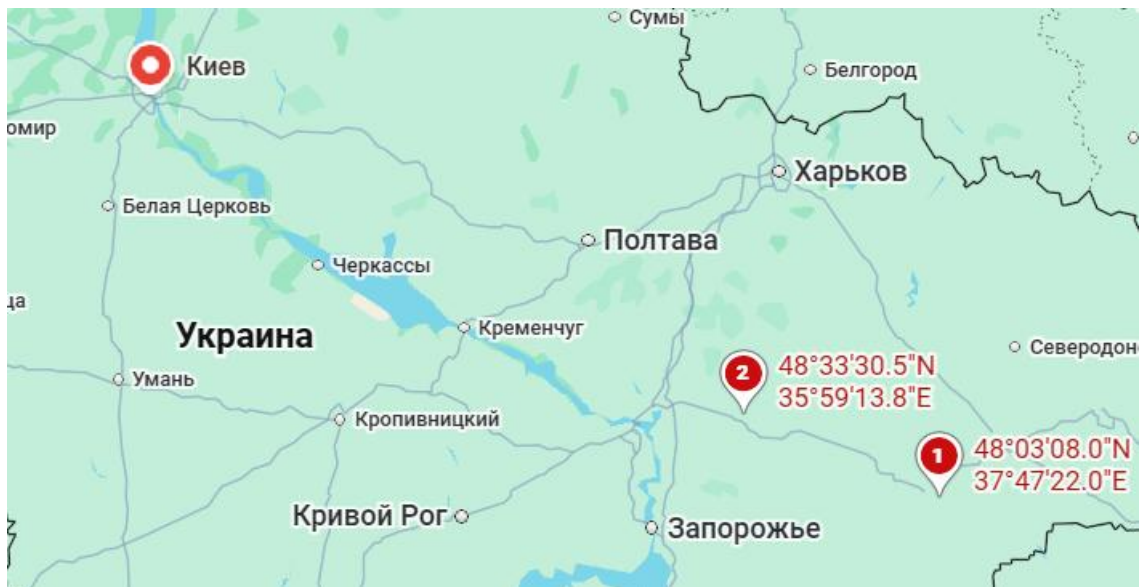


Рис.4.1. Положення досліджуваних шахт на мапі України:
1 – шахта Засядько (Донецьк); 2 – шахта Павлоградська (Дніпропетровська область)

ДХК «Павлоградвугілля» - найбільше вуглевидобувне підприємство України, розробляє копалини у Західному Донбасі (Дніпропетровська область). За даними [37] до складу підприємства входить 10 шахт, серед яких ДВАТ шахта Павлоградська, яка розташована у місті Павлоград Дніпропетровської області (географічне положення шахти на мапі України показано на рис.4.1). Павлоград вважається центром Західного Донбасу, а навколо міста розташовані вугільні шахти. Розташоване за 80 км від Донецької області, місто періодично страждає від російських обстрілів. Шахта знаходиться в експлуатації з 1968 року, проектна потужність 1,2 млн. т вугілля на рік. Максимальна глибина розробки складає ~235 м, сукупні промислові запаси всіх 10 шахт, що входять до «ДХК Павлоградвугілля» складають 699,2 млн тон.

Через російське вторгнення багато людей покинули Павлоград, зокрема шахтарі, а близько 3600 шахтарів було мобілізовано до лав Армії оборони. Вугільні підприємства зіткнулися з кадровою кризою, і зараз на шахтах Павлограда працює багато жінок.

4.2. Загальна геологічна характеристика регіонів

Геологічні умови шахт ім. Засядька (Центральний Донбас) та Павлоградських шахт (Західний Донбас) формуються в межах двох структурних зон Донецької складчастої області, що є частиною Дніпровсько-Донецької западини. Обидва регіони характеризуються високою вугленосністю, складною тектонічною будовою та наявністю глибинних розломів, які істотно впливають на стійкість гірничих виробів.

Донецький кам'яновугільний басейн - один із найбільших в Європі, охоплює територію Донецької та Луганської областей. Його геологічна будова - складчасто-блокова, з численними тектонічними розломами і скидами, що створює складні умови для підземних розробок. Це означає, що промислові пласти можуть мати значну просторову мінливість, як за глибиною, так і за структурною орієнтацією. Його геологічна будова (рис 4.1.) представлена осадовими породами палеозойського віку, переважно карбоном, з потужністю вугленосної товщі. Вугленосність приурочена до середнього та верхнього карбону, з численними пластами вугілля, які мають промислове значення. Стратиграфічна товща включає пісковики, алевроліти, аргіліти, вуглисті сланці, а також вапняки нижнього карбону, які слугують підстиляючими породами. Через цю мінливість, для багатьох шахт, характерні висока неоднорідність літологічного розрізу, наявність тріщинуватих зон, неоднорідне залягання покрівельних і підшвових порід. Це підвищує ризики нестабільності при відпрацюванні пластів.

Тектонічна структура басейну складна: наявні численні розломи, зони тріщинуватості, блокова дискретність масиву. Це створює умови для нерівномірного розподілу напруги, що особливо актуально для глибоких шахт, таких як шахта імені Засядька, глибина виконання робіт перевищує 1200 м. Геодинамічна активність регіону спричиняє підвищений ризик гірничих ударів, обвалів та обтяжень лав.

У межах басейну розвідані запаси кам'яного вугілля промислових категорій становлять п'ятдесят сім цілих п'ять десятих мільярда тон, а

перспективні запаси оцінюються у вісімнадцять цілих три десятих мільярда тонн. На рис 4.3. представлено розташування вугільних шахт Донбасу. У басейні представлені всі основні марки кам'яного вугілля - від довгополуменового до антрациту, а також перехідні типи від бурого до довгополуменового вугілля. За генетичними ознаками вугілля переважно належить до класу гумітів, хоча місцями спостерігаються прошарки сапропелево-гумусового типу.

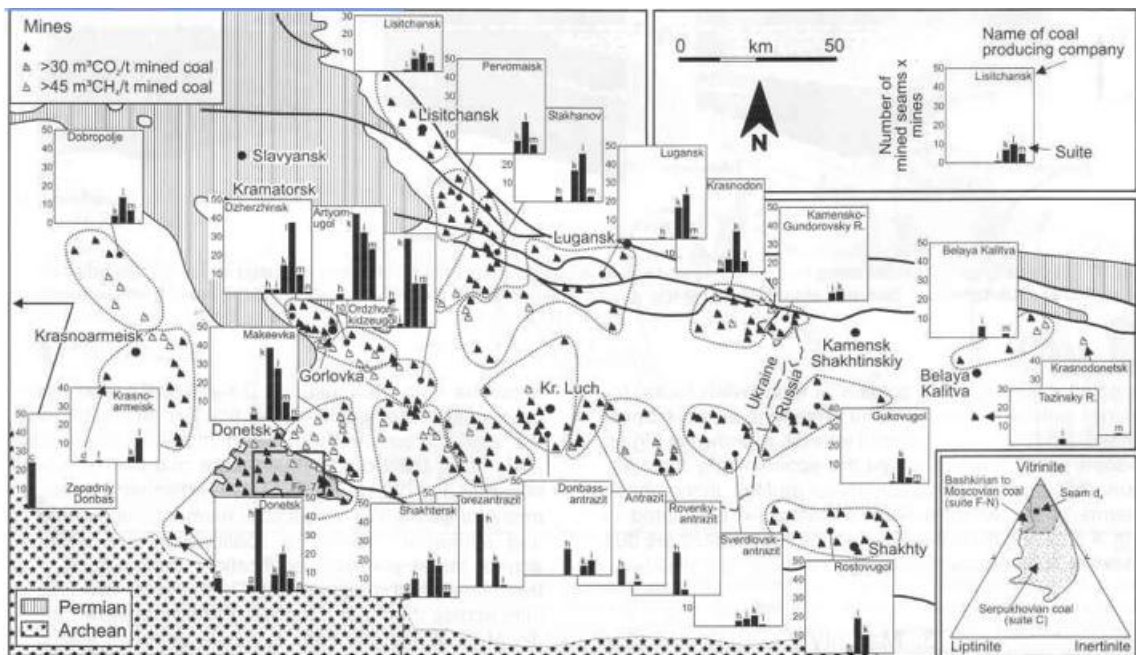


Рис. 4.3. Розташування вугільних шахт та вуглевидобувних асоціацій у Донецькому басейні [5]. Стратиграфічне положення вироблених пластів показано для кожного району.

Вугілля центрального Донбасу характеризується значною часткою антрацитів (близько тридцяти відсотків) та великим вмістом коксівного вугілля (приблизно сорок два відсотки), з яких шістдесят три відсотки припадають на високоцінні спікливі марки (Ж, К, ОС). Особливу роль у паливному балансі відіграє вугілля марки Г. Його частка у розвіданих запасах перевищує сорок два відсотки, а разом із близьким за властивостями вугіллям марки Д сягає шістдесяти відсотків. Завдяки добрій спікливості та низькому вмісту сірки вугілля марки Г широко застосовується у шихті для коксування (у кількості від тридцяти двох до тридцяти п'яти відсотків). Високий вміст

летких речовин забезпечує отримання значної кількості цінних хімічних продуктів. У геохімічних роботах відзначається [5,24], що антрацити та коксівне вугілля мають підвищений вміст Hg, As, Se, Pb, які концентруються в тонких прошарках та супутніх породах. Це особливо актуально для шахт із глибоким заляганням пластів (ім. Засядька), де газоносність і метанова небезпека поєднуються з токсичними домішками.

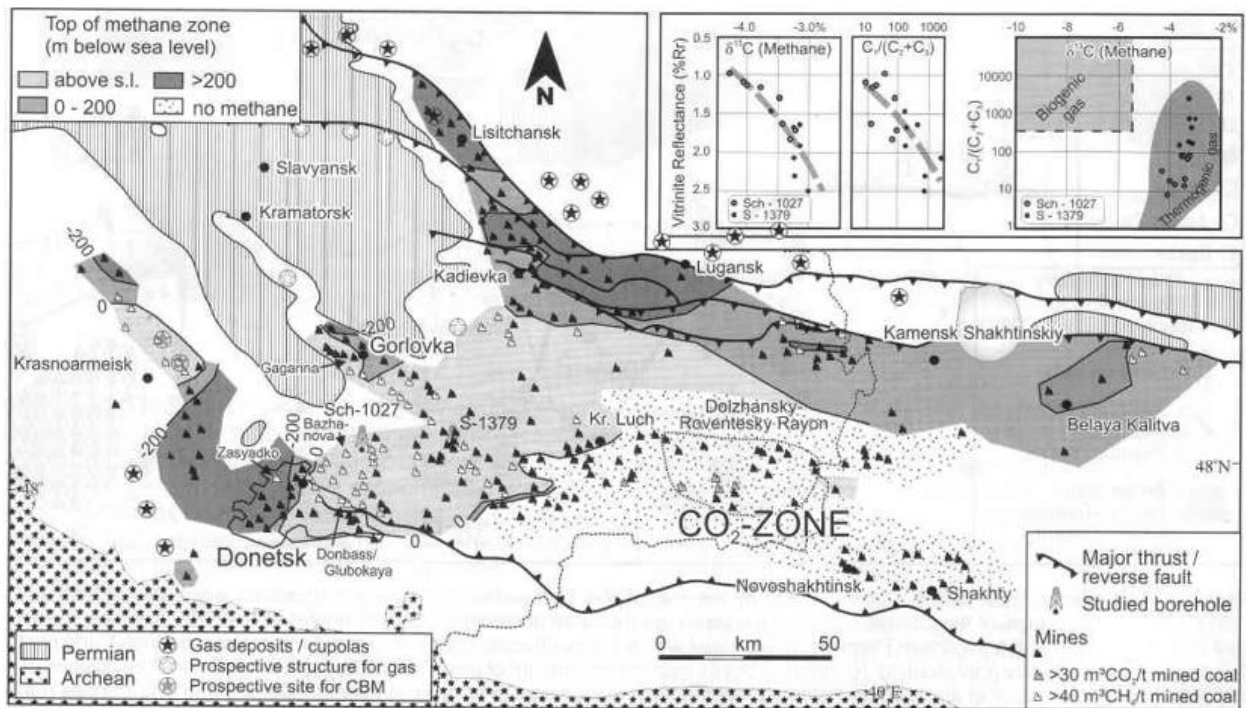


Рис. 4.4. Вершина метанової зони в різних частинах Донецького басейну; дані про вміст CO₂. На вставці - ізотопні дані про метан вугільних пластів з двох свердловин [5].

Вугілля Богданівського, Новомосковського та Петриківського родовищ, що містить приблизно третину запасів марок Д і Г, належить до так званого «солоного» вугілля. Загальні запаси цього типу оцінюються приблизно у дванадцять мільярдів тонн. Це вугілля є одним із найбільш високоступенево метаморфізованих серед аналогів у світі й належить або до перехідних від бурого до довгополуменевого, або до довгополуменевого й газового.

Основними засолюючими компонентами є водорозчинні сполуки натрію: вміст оксиду натрію у вугіллі становить від менш ніж 0,5-1,0 %; вміст хлору – 0,3-0,9 %; вміст сірки – 1,6-2,1 %. Завдяки низькій зольності, відносно невеликій вологості, високому вмісту летких речовин і невеликій глибині

залягання «солоне» вугілля розглядається як перспективна сировина для теплових електростанцій за умови розроблення відповідних технологій його енергетичного використання.

Середня теплота згоряння товарного вугілля становить від двадцяти одного цілих двох десятих до двадцяти шести цілих одного десятих мегаджоулів на кілограм. Вугілля малофосфористе, має від низького до високого вмісту сірки. Усі пласти, окрім антрацитів, є газоносними. Геологічні запаси вугільного газу у пластах і породах перевищують два цілих п'ять десятих трильйона кубічних метрів, що дозволяє розглядати Донбас як одне з найбільших газових родовищ України.

Павлоградські шахти розташовані в межах Західного Донбасу — південно-західної частини Донецького басейну, яка має специфічні геологічні особливості. Регулярні дослідження геологічного середовища у межах ДТЕК Pavlogradugol показують, що шахти районів Павлоград–Петропавлівка мають більш стабільну й відносно однорідну геологічну будову порівняно з Донбасом [38]. Тут вугленосна товща представлена пластами кам'яного вугілля середнього карбону, з потужністю пластів від 0,8 до 1,8 м. Глибина залягання 400-600 м, що значно менше, ніж у центральному Донбасі, однак тектонічна пошкодженість і блокова структура залишаються актуальними.

Вугілля Західного Донбасу - це кам'яне вугілля середнього карбону (марки Д та Г). Вугілля характеризується низькою зольністю та високою теплотворною здатністю (теплота згоряння вугілля 20-24 МДж/кг). Газоносність середня, але метанова, то питання безпеки залишаються актуальними. У ряді родовищ виявлено підвищений вміст Na та Cl що пов'язано з умовами торфонакопичення.

У роботах [12-14,39] українських дослідників наведено дані про токсичні елементи у вугіллі та породах. Виявлено підвищений вміст As, Pb, Cd, Hg, Cr, Ni, Zn , які концентруються як у мінеральних, так і в органічних складових вугіллях. Просторовий розподіл цих елементів свідчить про залежність від умов торфонакопичення та наступної вуглефікації.

Регіон характеризується наявною глибиною розломів, які контролюють морфологію пластів та умови ведення гірничих робіт. Геофізичні дослідження (гравіметрія, магніторозвідка) підтверджують наявність зони концентрації напруги на межах блоків, що підтримує стійкість лав. Крім того, водонасиченість порід та газоносність (метан) є додатковими факторами ризику.

На території Дніпровського басейну розташовано більш ніж сто п'ятдесят окремих родовищ бурого вугілля, які різняться за глибиною залягання, потужністю пластів та якісними характеристиками. Загальні геологічні запаси становлять близько 5 млрд. тон, розвідані запаси оцінюються у 2,4 млрд. тон, з яких приблизно 500 млн тон придатні для відкритого видобутку. Буре вугілля залягає у товщі палеогенових і неогенових континентальних відкладів, що перекривають кристалічний фундамент Українського щита. Потужність вугільних пластів у межах басейну може досягати двадцяти п'яти метрів, середня потужність становить від трьох до чотирьох метрів. Глибина залягання варіює від п'яти до ста шістдесяти метрів, що робить більшу частину родовищ придатними для відкритої розробки. За ступенем метаморфізму буре вугілля басейну належить до групи Б1, тобто є м'яким бурим вугіллям, яке зберегло більшу частину вихідної органічної структури рослинного матеріалу. Це визначає його фізичні властивості: вологість (50-60 %); зольність (15-25 %); вміст сірки (2,3-3,0 %); нижча теплота згоряння (5,0-9,2 МДж/кг). У ряді родовищ відзначено засолювання вугілля - наявність Na_2O (0,5-1%), Cl (0,3-0,9%), що створює екологічні ризики при спалюванні. Такі характеристики відносять буре вугілля до низькосортних видів палива, однак доступність залягання і значні запаси роблять його важливою складовою паливно-енергетичного балансу.

Для окремих родовищ басейну характерний підвищений вміст бітумів і смолистих компонентів. У середньому вміст бітумів становить 5-7 %, а смол – 12-15%. Така сировина може використовуватися не лише для енергетичних

потреб, а й у хімічній промисловості, зокрема для отримання смол, сорбентів, карбонових матеріалів та компонентів дорожніх мастик.

Основна частина видобутого бурого вугілля традиційно застосовується як паливо для теплових електростанцій. Через високу вологість, підвищений вміст золи та сірки необхідні спеціальні теплотехнічні системи для спалювання, а також системи газоочистки. Для побутового сектору буре вугілля піддається брикетуванню на спеціалізованих фабриках. Брикетоване паливо має стабільнішу теплотворну здатність, меншу вологість і підвищену транспортабельність.

Таблиця 4.1. – Геологічна характеристика, склад вугілля та геохімічні ризики

Ознака	Донбас (шахта ім. Засядька)	Західний Донбас (Павлоград)	Дніпровський басейн
Тип вугілля	Кам'яне, антрацит	Кам'яне (Д, Г)	Буре (Б1)
Глибина залягання	>1200 м	400-600 м	5-160 м
Теплота згоряння	21-26 МДж/кг	20-24 МДж/кг	5-9 МДж/кг
Основні токсичні елементи	Hg, As, Se, Pb	As, Pb, Cd, Hg, Na, Cl	Na, Cl, S, бітум
Вологість	2-5%	5-10%	55-60%
Зольність	10-20%	10-15%	15-25%
Газоносність	дуже висока (метан)	Середня	Низька
Екологічні ризики	Метан + важкі метали	Важкі метали + вода	Засолене вугілля, SO ₂

Геологічні умови, склад вугілля та геохімічні ризики українських басейнів формують комплексну картину, де кожен регіон має власні переваги й проблеми. Донецький басейн - стратегічний ресурс для металургії, Західний Донбас - ключовий енергетичний регіон, а Дніпровський буровугільний басейн - резервний енергетичний ресурс із високими екологічними обмеженнями.

4.3. Стратиграфія, літологія та геолого-геотехнічні умови роботи шахт

Донецький кам'яновугільний басейн і Західний Донбас формують найбільш потужні та економічно значущі вуглевмісні структури України [5]. Геологічна будова цих територій визначається розвитком потужних осадових товщ кам'яновугільної системи, які складаються з комплексів пісковиків, алевролітів, аргілітів і численних промислових вугільних пластів. Відклади карбону формувалися в умовах циклічної седиментації у межах дельтових, лагунних і прибережно-морських басейнів, що спричинило характерний донецький ритм - чергування теригенних порід і вугільних пластів у вигляді циклітів (рис.4.1).

4.3.1. Шахта імені О.Ф. Засядька (центральна частина Донбасу)

Шахта розташована в межах центрального Донбасу, де найбільш повно розвинуті відклади середнього (C_2) та верхнього (C_3) карбону. Основними стратиграфічними комплексами є:

- Бахмутська серія (C_2) – найпотужніший і найбільш вугленосний комплекс, який включає десятки вугільних пластів з промисловим значенням.
- Моспинська серія (C_3) – представлена переважно теригенними породами з меншою кількістю промислових вугільних пластів.

У межах шахтного поля розробляються переважно пласти горизонтів L, K, M та H, серед яких найбільше промислове значення мають пласти L_1 , L_3 , L_6 , K_7 , K_8 , M_3 , M_4 , H_7 . Потужність пластів варіює від 0,5 до 2,2 м, в окремих випадках досягаючи понад 3 м.

Гірничо-геологічні умови визначаються такими основними літотипами:

- пісковики – світло- та темно-сірі, кварцові, переважно дрібнозернисті, місцями ущільнені карбонатним цементом. Відзначаються високою міцністю та стійкістю в масиві;
- алевроліти – тонкошаруваті, сірі та темно-сірі, часто з рослинними залишками. Формують як покрівлю, так і підшву пластів;

- аргіліти – вуглисті, темно-сірі або чорні, пластичні, проте малостійкі і особливо небезпечні у покрівлі виробок;

- вугільні пласти – представлені кам'яним вугіллям марок Ж (жирне) та К (коксівне). Характеризуються середньою і високою метаморфізацією, підвищеною газоносністю та значною мінливістю будови.

Шахтне поле характеризується високим ступенем тектонічної дислокованості: численні скидово-зсувні порушення з амплітудою від 5-10 до 80-120 м; густі зони тріщинуватості та дроблення; наявність локальних антиклінальних і синклінальних складок; різкі зміни потужності пластів унаслідок тектонічних рухів.

Дислокованість спричиняє: ускладнені умови проходки виробок; підвищення ризику гірничих ударів; формування небезпечних газонасичених зон.

Шахта імені Засядька належить до найнебезпечніших щодо раптових викидів вугілля та газу.

Гідрогеологічний режим представлений:

- верхньокарбововими водоносними горизонтами, які залягають у пісковиках;

- алевролітово-аргілітовими верствами, що мають слабку водопроникність;

- локальними зонами тріщинуватості, які можуть раптово пропускати значні об'єми води.

У верхніх горизонтах зустрічаються техногенні води, що проникають через зони порушень. Загальний водоприплив характеризується як середній або підвищений.

Для шахти характерні:

- нестійкі породи покрівлі (аргіліти, алевроліти), які вимагають міцного анкерного й рамного кріплення;

- пісковики середньої та підвищеної міцності, які забезпечують стійкість боків виробок;

- висока газоносність пластів (до 10-14 м³/т);
- схильність до самозаймання 30 % пластів;
- розвиток зон гірського тиску, що викликають обрушення покрівлі та гірничі удари.

4.3.2. Шахта Павлоградська (Західний Донбас)

Павлоградські шахти розташовані у межах Західного Донбасу, де розвинуті відклади верхнього карбону, переважно іллінської серії (С₃).

Стратиграфічний розріз містить:

- чергування пісковиків, алевролітів та аргілітів;
- численні промислові вугільні пласти циклітів;
- найбільш продуктивні пласти: С₁, С₂, С₃, С₅, С₇, С₈, С₁₀, С₁₁, С₁₃.

Потужність пластів зазвичай становить 0,6-1,5 м, інколи до 2 м.

Основними типами гірських порід є:

- пісковики - сірі, дрібнозернисті, часто пористі, менш цементовані, ніж у Донбасі;
- алевроліти - світло-сірі, добре шаруваті, складають основну товщу;
- аргіліти - пластичні, вуглисті, формують слабку покрівлю пластів;
- вугілля - марок Д (довгополум'яне), Г (газове), рідше Ж, метаморфізація нижча, ніж у шахті імені Засядька.

Західний Донбас відрізняється меншою дислокованістю:

- переважають невеликі скидові порушення (амплітуда 10–30 м);
- розріз відносно рівний, з помірною мінливістю потужності пластів;
- дрібні складки та зони тріщинуватості присутні, але маловиражені.

Тектонічні порушення переважно не ускладнюють розробку, проте створюють локальні небезпечні ділянки.

Характерні: середній рівень водоприпливу; водоносні горизонти у пісковиках та тріщинуватих зонах; локальні прояви водопроникнення при перетині порушень.

На деяких ділянках спостерігається підтоплення виробок, пов'язане з техногенним перетворенням водного режиму.

Для Павлоградського району характерні:

- помірний гірничий тиск;
- нестійка покрівля (алевроліти, аргіліти) при відносно стійкій підшви;
- нижчий рівень газонасності порівняно з центральним Донбасом;
- пластичність порід, що часто спричиняє здимання підшви виробок;
- відносно сприятливі умови для механізації.

Таблиця 4.2. – Геолого-геотехнічні умови (порівняльний аналіз)

Показник	Шахта імені Засядька	Шахта Павлоградська
Вік порід	Середній і верхній карбон	Верхній карбон
Марки вугілля	Ж, К	Д, Г
Потужність пластів	0,5–2,2 м	0,6–1,5 м
Дислокованість	Дуже висока	Помірна
Газонасність	Висока	Середня
Небезпека викидів	Дуже висока	Низька–середня
Стійкість покрівлі	Низька	Помірна
Водонасність	Середня–висока	Середня
Гірничий тиск	Високий	Помірний

Стратиграфічні, літологічні та геотехнічні умови шахти імені Засядька та шахти Павлоградська суттєво відрізняються, що визначає специфіку технології видобутку, способів кріплення виробок та заходів з безпеки.

Донецький басейн, зокрема шахта імені Засядька, характеризується складними гірничо-геологічними умовами, високою тектонічною порушеністю та газонасністю. Павлоградські шахти працюють у більш стабільних умовах, однак мають високі вимоги до контролю стійкості порід покрівлі та боротьби зі здиманням підшви.

4.4. Геофізичні параметри масиву

Геофізичні параметри масиву дуже важливі, оскільки вони показують фізичні властивості гірських порід і вугільних пластів, які є ключовими індикаторами стійкості гірничих виробів та умов ведення очисних робіт. Основні параметри включають: швидкість пружних хвиль, резистивір порід, газоносність, гідрологічні умови. У таблиці 4.3 наведені основні геофізичні параметри масивів для досліджуваних шахт.

Таблиця 4.3. – Геофізичні параметри масиву

Параметр	Шахта ім. Засядька (Центральний Донбас)	Шахта Павлоградська (Західний Донбас)
Щільність порід, г/см ³	Пісковики: 2,4-2,6 Алевроліти: 2,3-2,5 Аргіліти: 2,1-2,3 Вугілля: 1,3-1,5	Пісковики: 2,3-2,5 Алевроліти: 2,2-2,4 Аргіліти: 2,0-2,2 Вугілля: 1,25-1,4
Міцність на стиск, МПа	Пісковики: 40-80 Алевроліти: 20-40 Аргіліти: 10-25	Пісковики: 35-70 Алевроліти: 18-35 Аргіліти: 8-20
Питомий електричний опір, Ом·м	Вугілля: 10 ² -10 ³ Пісковики: 10 ³ -10 ⁴ Аргіліти: 10 ² -10 ³	Вугілля: 10 ² -8·10 ² Пісковики: 8·10 ² -5·10 ³ Аргіліти: 10 ² -5·10 ²
Сейсмічні швидкості (V _p), м/с	Пісковики: 3500-4200 Алевроліти: 2800-3500 Аргіліти: 2200-2800 Вугілля: 1500-2200	Пісковики: 3200-4000 Алевроліти: 2600-3200 Аргіліти: 2000-2500 Вугілля: 1400-2000
Газоносність пластів, м ³ /т	10-14 (висока, небезпечні вікиди)	5-8 (середня, локальні ризики)
Гідрогеологічні умови	Водоносні горизонти у пісковиках, прориви води через тріщини	Середній водопривід, підтоплення виробок у зонах пошкоджень
Геотехнічні ризики	Висока тріщинуватість, гірничі удари, самозаймання пластів	Здимання підосви, нестійка покриття, локальні прорив

Геофізичні параметри підтверджують, що шахта ім. Засядька має більш складні умови ведення робіт через значну глибину, високий метановий тиск і підвищений рівень напруженості масиву. Павлоградські шахти характеризуються меншою глибиною та нижчими значеннями швидкості хвиль і резистентності, однак водонасиченість і блокова структура також створюють ризики обтяження лав.

4.5. Тектонічні порушення та блокова структура

Тектонічні структури Донецького та Дніпровського вугільних басейнів формувалися під впливом тривалих геодинамічних процесів, які визначили характер розшарування, розривні порушення та ступінь дислокованості вугільних пластів. Тектонічна будова Центрального та Західного Донбасу має складні системи розломів, які поділяють масиви на блоки різної стійкості. Блокова дискретність породного масиву є одним із ключових чинників, що впливають на стійкість лав та виробів. Межі блоків часто виступають зонами концентрації напруги, що провокує обтяження лав і аварійні ситуації. В той же час природа та морфологія порушень регіонів істотно відрізняється, що зумовлює різні інженерно-геологічні ризики при веденні очисних робіт.

Донецький кам'яновугільний басейн (Центральний Донбас) являє собою асиметричну структуру герцинського віку, ускладнену блоковими переміщеннями та значною кількістю лінійних розривів [40, 41]. Основу тектонічного плану формує Донецький кряж, де розвиток складчастості та розломів найбільш інтенсивний. Для центральних районів, включно з ділянкою шахти ім. О. Ф. Засядька, характерні круті та частково порушені монокліналі, численні скидово-зсувні системи та зони дроблення порід [42].

Західний Донбас належить до південно-західної окраїни Дніпровсько-Донецької западини. Тектонічна дислокованість тут менш інтенсивна, однак масив характеризується активним блокуванням та наявністю широких субмеридіональних розривів [43,44]. У Павлоградському районі великі тектонічні порушення пов'язані з глибинними розломними зонами, які контролюють газоносність і напружено-деформований стан [45,46].

4.5.1. Шахта імені О.Ф. Засядька (Центральний Донбас)

Шахтне поле розміщене у Центральному геолого-промисловому районі Донбасу, де концентрація розривних порушень одна з найвищих у регіоні [47]. Породний масив розчленований системами розломів північно-західного та північно-східного простягання, які утворюють складну сітку блоків.

За даними шахтного геологічного паспорта [48], у межах шахтного поля виділяються:

- скидові порушення з амплітудами 5–35 м, які локально ускладнюють залягання пластів L_1 , m_3 та d_4 ;
- зони тектонічного дроблення, шириною 10–70 м, що супроводжуються інтенсивною тріщинуватістю та зниженням міцності порід;
- супутні дрібні зсувні порушення (амплітуди до 1–3 м), які ускладнюють ведення очисних робіт через нерівномірний розподіл напружень.

Дослідження Лисенка [49] показують, що у зонах перетину великих тектонічних ліній спостерігається максимальна газонасиченість та підвищений ризик раптових викидів. Це особливо характерно для пластів кременистої пачки, де породи мають знижену проникність, а напруження акумулюються інтенсивніше.

Для шахти Засядько характерне дрібне блокування масиву через високу густоту розломів. Блоки мають розміри від 300–500 м до 1,5 км і різну ступінь порушеності. Це ускладнює прогнозування поведінки порід при очисних роботах та збільшує ризик здимання ґрунту [47, 50].

4.5.2. Шахта Павлоградська (Західний Донбас)

Павлоградські шахти розташовані в межах блочно-розчленованої структури, де основними є порушення субмеридіонального та північно-західного напрямів. Вони пов'язані з Дніпровським глибинним розломом і формують систему великих плит, що різко відрізняються за газоносністю та гірничо-геологічними умовами [43].

Згідно з Паспортом геологічних умов [51], у районі виділяють:

- головні тектонічні порушення з амплітудами 10-50 м, які часто розсічують робочі пласти C_3 , C_5 , C_7 ;
- повторні та вторинні скидові порушення, що формують “сходинкову” структуру занурення пластів;

- тектонічні зони підвищеної тріщинуватості, що збільшують водопритливість та впливають на стійкість покрівлі.

За дослідженнями Чебана і Бурикіної [45], напружено-деформований стан у Західному Донбасі суттєво контролюється розривною тектонікою: при наближенні до великих порушень спостерігаються локальні зони підвищеного вертикального та горизонтального напруження. Це зумовлює часті гірські удари у виробках окремих шахт.

У Павлоградському районі блоки крупніші – 1-3 км, із чіткими межами по основних субмеридіональних порушеннях. Вони менш дислоковані, проте характеризуються різною газоносністю, що має важливе значення для дегазації та вентиляційних розрахунків [44,46].

Зведена інформація по тектонічним особливостям та блоковій структурі шахт Засядько та Павлоградської наведена у таблиці 4.4. Аналіз наведених літературних даних дозволяє зробити такі висновки.

Шахта Засядько залягає в межах найскладніше дислокованої частини Донбасу, що зумовлює: дрібноблокову будову, високу інтенсивність розривів, надвисокі гірські тиски, максимальні ризики геодинамічних явищ.

Шахта Павлоградська характеризується більш вирівняною блоковою структурою та меншою інтенсивністю порушень, однак: має високий рівень газоносності, відзначається зонами ослабленої покрівлі, потребує ретельного контролю стану тріщинуватості та водоносних горизонтів.

Для обох районів спільною є необхідність високого рівня геофізичного контролю та прогнозування небезпечних зон.

Практичний аналіз геологічних і гірничих умов у шахтах кам'яновугільних басейнів України засвідчив істотну складність та неоднорідність природного середовища, у межах якого здійснюється видобуток вугілля. Дослідження показали, що кожний басейн, а також окремі шахтні поля, характеризуються специфічними рисами стратиграфічної будови, тектонічних деформацій, гідрогеологічних умов і інженерно-геологічних властивостей порід. Сукупність цих факторів визначає безпеку,

вибір технологій видобутку, рівень гірничих ризиків і економічну ефективність експлуатації родовищ.

Таблиця 4.4. – Порівняльна характеристика тектонічних та структурних умов

Параметр	Шахта ім. Засядько (Центральний Донбас)	Шахта Павлоградська (Західний Донбас)
Тектонічна зона	Центральна частина Донецької складчастої споруди, район інтенсивної дислокованості	Південно-східна частина Дніпровсько-Донецької западини, менш дислокована зона
Блокова структура	Дрібноблокова, блоки площею 0,5–2,0 км², обмежені численними скидами та вздовженнями	Середньоблокова, розмір блоків 3–8 км², порушені переважно системою регіональних скидів
Переважаючі тектонічні порушення	Скиди та зсуви зі зміщенням 5–120 м; наявні складні <i>ступінчасті зони порушень</i>	Прості та середньої складності скиди, зміщення 1–40 м; зони дроблення менш виражені
Орієнтація розривів	Переважно субмеридіональна та північно-східна; вторинні – північно-західні	Переважно північно-східна (продовження тріщинуватості Придніпровської зони)
Інтенсивність тріщинуватості	Висока, понад 8-15 тріщин на 1 м; часто – відкрита або частково цементована	Середня, 4-8 тріщин на 1 м; значна частина заповнена кальцитом або глинистими мінералами
Глибина розробки	900-1250 м, локально до 1350 м	350-500 м (частково до 700 м на окремих ділянках)
Гірський тиск та тектонофізичні умови	Дуже високі: горизонтальні напруження $\sigma_h > \sigma_v$, часта зміна індикаторів напруженості через блокування масиву	Високі, але стабільніші; напруження ближчі до регіонально рівновісних
Гірничо-геологічні ризики	Викидонебезпечність, гірські удари, раптові викиди газу та породи, інтенсивна дегазація	Підвищена газоносність, небезпека самозаймання, але менша імовірність ударів
Вплив на стійкість лав	Зниження стійкості, часті обвалення, необхідність підсиленних кріплень та інтенсивної дегазації	Можливі деформації, але загалом стабільніші умови; частіше проявляються зрушення порід у покрівлі

Донецький кам'яновугільний басейн відзначається високою тектонічною порушеністю, значною метаносністю та мінливістю будови пластів, що формує підвищений рівень геодинамічних небезпек. Шахта ім. Засядька є типовим прикладом території з густою мережею розривів,

складною блоковою структурою та необхідністю інтенсивних заходів дегазації.

Павлоградський район Західного Донбасу характеризується меншою дислокованістю, однак має складні гідрогеологічні умови, нерівномірний водоприплив і неоднорідні інженерно-геологічні властивості порід. Шахта Павлоградська функціонує у масиві зі значними водонапірними горизонтами та потребує ефективної системи гідрозниження.

Порівняльний аналіз показує, що вирішальними факторами безпеки є характер тектонічних порушень, міцність і стійкість порід, газонасиченість пластів та гідродинамічні процеси. Ці параметри істотно різняться між басейнами (і шахтами в межах одного басейну), що потребує індивідуального підходу до планування гірничих робіт.

Узагальнення результатів підтверджує необхідність постійного геологічного моніторингу, удосконалення технологій видобутку та застосування сучасних методів прогнозування геомеханічних процесів для забезпечення стабільного й безпечного функціонування шахт України.

РОЗДІЛ 5. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ОБТЯЖЕННЯ ЛАВ НА ПРИКЛАДІ ШАХТ імені ЗАСЯДЬКА ТА ПАВЛОГРАДСЬКА

5.1. Технологічні заходи (кріплення, дегазація, вентиляція)

Зменшення обтяження лав у кам'яновугільних шахтах потребує комплексного підходу, який передбачає впровадження технологічних заходів, що безпосередньо впливають на стабільність гірничих виробок та безпеку праці.

Кріплення лав є основним засобом запобігання обвалам та осипанню порід. Системи кріплення можуть включати металеві, дерев'яні та комбіновані конструкції, а також сучасні телескопічні або гідравлічні опори. Оптимальний вибір кріплення залежить від геологічних умов, товщини та міцності вугільних і покрівельних порід, а також від глибини залягання лави. Кріплення лав та виробок забезпечується відповідно до вимог нормативів та результатів досліджень сталевих рамних конструкцій [52, 53, 54].

Дегазація лав полягає у видаленні метану та інших вибухонебезпечних газів із вугільного пласта або виробленого простору до ведення робіт. Це дозволяє знизити ризик вибухів і підвищує стабільність порід, оскільки видалення газу зменшує внутрішнє обтяження породи. Методи дегазації включають буріння дегазаційних свердловин, вакуумну дегазацію та використання адсорбційних систем. Дегазація шахтних ділянок з метою зниження концентрації метану виконується із застосуванням сучасних методів відбору та утилізації газу [55, 56].

Вентиляція шахт забезпечує видалення газів, пилу та тепла, створюючи безпечні умови для роботи персоналу. Вентиляційні системи включають припливні та витяжні канали, вентилятори змінного та постійного тиску, а також локальні вентиляційні установки. Вентиляція шахт організовується з урахуванням газоносності та потужності виробок, із застосуванням систем автоматичного моніторингу повітряного режиму [57, 58]. Ефективна

вентиляція зменшує концентрацію газів у виробках, що сприяє стабілізації лав і підвищенню безпеки гірничих робіт.

Шахта Засядька має багату історію добування вугілля, але znana як одна з найнебезпечніших шахт через метанобезпечність та численні нещасні випадки [34, 48]. Для цієї шахти необхідне підсилення системи дегазації і вентиляції з урахуванням глибини залягання і метанобезпечності - стабільна дегазація та видалення газів до початку робіт на лаві, а також підтримка вентиляції під час відробки. Регулярний технічний контроль стану вентиляційних та газоаналізаторних систем, своєчасне обслуговування та модернізація обладнання; суворе виконання нормативів безпеки для шахт І категорії небезпеки. Наприклад, зміни в нормативних документах щодо безпеки виконання гірничих робіт у шахтах з високим вмістом горючих газів. Запровадження сучасних систем кріплення лав та виробок з урахуванням механічних параметрів порід, потужності пласта, глибини, історії тріщиноутворень - мета: мінімізувати ризик обвалів і зрушень.

Робота шахти Павлоградська суттєво впливає на навколишнє середовище за рахунок зміни в геохімічному складі вугільних пластів та враховуючи проблеми зі скидами шахтних вод, мінералізацією вод, забрудненням ґрунтів, змінами рослинності і т.п. Для шахти Павлоградська необхідно планування кріплення і виробничих робіт з обов'язковим урахуванням інженерно-геологічних та гідрогеологічних особливостей району - це зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище та знижує екологічні ризики. Окрім кріплення, вентиляції та дегазації (якщо наявна газоносність), треба врахувати питання екологічної безпеки: контроль шахтних вод, очищення вод після скидів, запобігання засоленню ґрунтів, рекультивація земель, очищення стічних вод, зменшення негативного впливу на екосистему регіону.

Таким чином, технологічні заходи мають різну спрямованість: у Донбасі це боротьба з газовими ризиками та напруженням масиву, у Західному Донбасі - стабілізація покрівлі та підосви.

Таблиця 5.1. – Технологічні засоби зменшення обтяження лав

Заходи	Шахта ім. Засядька (Центральний Донбас)	Шахта Павлоградська (Західний Донбас)
Кріплення	Комбіноване кріплення (рамне + анкерне); гідравлічні опори для глибоких лав; ін'єкційне закріплення у зонах тріщинуватості	Анкерне кріплення у зонах здимання підшви; телескопічні гідравлічні опори для нестійкої покрівлі; комбіновані системи у виробках з водоприпливом
Дегазація	Активна дегазація через буріння свердловин (газоносність 10-14 м ³ /т); вакуумні системи відсмоктування метану; локальна дегазація у небезпечних зонах	Профілактична дегазація (газоносність 5-8 м ³ /т); свердловини для локального відведення газу; поєднання дегазації з вентиляційними потоками
Вентиляція	Центральна схема вентиляції з потужними головними вентиляторами; локальні установки у небезпечних ділянках; автоматизований контроль метану та СО ₂	Флангова схема вентиляції для довгих лав; допоміжні вентилятори у виробках з підтопленням; локальні системи газового контролю
Ефект	Зменшення ризику раптових викидів, гірничих ударів та обвалів	Зменшення ризику здимання підшви, проривів води та локальних газових небезпек

5.2. Геофізичний моніторинг та прогнозування небезпечних явищ

Геофізичний моніторинг є ключовим інструментом для забезпечення безпеки вугледобувних шахт, особливо в умовах високої газоносності та складної геологічної будови. Його основна мета - своєчасне виявлення потенційно небезпечних явищ, таких як: підвищення концентрації метану та інших газів; осідання покрівлі та зрушення гірських порід накопичення пилу та небезпечних частинок; гідрогеологічні зміни, що можуть призвести до затоплення виробок [59,60].

Сучасні методи геофізичного моніторингу передбачають:

- автоматизовані системи спостереження за газами та пилом, що дозволяють відстежувати зміни концентрацій у реальному часі та попереджати про небезпечні ситуації [61];
- сейсмометричний контроль та геодезичний моніторинг виробок і покрівлі для визначення зон деформації та попередження обвалів [62];

- інтелектуальні прогностичні моделі, які на основі даних датчиків, історичних аварій та геологічних особливостей дозволяють прогнозувати ризик вибуху газу, обвалу лав або зсуву покрівлі [63].

Інтеграція даних у єдину систему управління шахтою, що забезпечує оперативне реагування на небезпечні зміни та планування оптимальної роботи лав з урахуванням геологічних і техногенних умов.

На шахті Засядька, де глибина розробки перевищує 1000 м, системи геофізичного моніторингу включають багаторівневі газоаналізатори, датчики зміщень покрівлі, автоматизовані системи контролю вентиляції, а також інтелектуальні алгоритми прогнозування ризиків [64, 65].

На шахті Павлоградська увага приділяється також екологічним аспектам: моніторинг стану ґрунтових вод та поверхневих вод, контроль концентрації шкідливих речовин у відхідних шахтних водах, оцінка впливу на флору та фауну прилеглих територій [66, 67, 68].

Таблиця 5.2. – Геофізичний моніторинг та прогнозування небезпечних явищ

Заходи моніторингу	Шахта ім. Засядька (Центральний Донбас)	Шахта Павлоградська (Західний Донбас)
Сейсмічний контроль	Реєстрація мікросейсмічних коливань для прогнозування гірничих ударів; використання геофонів у зонах високої тріщинуватості	Моніторинг деформацій підшви та покрівлі; застосування локальних сейсмодатчиків для прогнозування зривання
Електророзвідка	Виявлення зон підвищеної водонасиченості та небезпеки проривів води у пісковиках	Використання електророзвідки для контролю підтоплених ділянок та локальних водоносних горизонтів
Георадарні дослідження	Контроль стану покрівлі виробок у зонах тектонічних порушень	Виявлення нестійких ділянок покрівлі та підшви, прогнозування локальних обвалів
Газоаналіз	Безперервний контроль концентрації метану (10–14 м³/т газонасиченість); автоматизовані системи попередження	Моніторинг метану (5–8 м³/т газонасиченість); локальні датчики у виробках з підвищеним ризиком
Прогнозування небезпечних явищ	Створення карт небезпечних зон (гірничі удари, газові викиди, прориви води)	Прогнозування зон зривання підшви та нестійкої покрівлі; локальні карти ризиків

Впровадження геофізичного моніторингу дозволяє:

- підвищити безпеку шахтарів;
- знизити частоту аварій та вибухів;
- оптимізувати процеси відпрацювання шахтних лав;
- забезпечити контроль екологічних ризиків у районі впливу шахт.

Таким чином, комплексний підхід до геофізичного моніторингу та прогнозування небезпечних явищ стає критично важливим для шахт із високим ризиком газових та механічних аварій, таких як шахта імені Засядька, і для шахт із значним впливом на довкілля, таких як шахта Павлоградська.

5.3. Оптимізація гірничих робіт з урахуванням геологічних умов

Оптимізація гірничих робіт у складних геологічних умовах є ключовим чинником забезпечення безпечної та ефективної експлуатації шахт імені Засядько та Павлоградська. Ці підприємства характеризуються глибоким заляганням пластів, підвищеною газоносністю, тектонічною порушеністю та значною мінливістю фізико-механічних властивостей порід. Врахування цих факторів при плануванні розробки дозволяє знизити ризики аварійності та покращити керованість технологічних процесів.

Врахування геологічних умов при проектування систем розробки

Проектування системи розробки повинно базуватися на аналізі структурно-тектонічних особливостей, потужності пластів та ступеня тріщинуватості масиву. Застосування панельних і стовпових схем з керованим обваленням покрівлі дозволяє зменшити рівень концентрації напружень у зоні очисних робіт та стабілізувати стан масиву [69].

У шахті Павлоградська, де значна мінливість літології викликає нерівномірні деформації покрівлі, оптимальними є схеми з короткими очисними комплексами, що забезпечують кращу керованість процесами обвалення та підвищують стійкість виробок [67].

Оптимізація параметрів лав і напрямів просування

Оптимальні довжина лави, швидкість її просування та напрямок посування повинні враховувати розташування тектонічних порушень, газоносність пластів та можливі зони підвищеної тріщинуватості. Зниження темпу відробки в зонах структурних порушень дозволяє мінімізувати концентрацію напружень і запобігти локальним обвалам.

Для умов шахти Засядько, де пласт відзначається підвищеною метаноносністю, оптимізація напрямків посування лави є критичною для уникнення зон найбільш небезпечного газонакопичення [64, 65].

Адаптивне кріплення та підтримка виробок

Застосування комбінованих систем кріплення (рамно-анкерних) із можливістю оперативного підсилення є ефективним рішенням для виробок, що проходять у слабких або тектонічно порушених породах. Дослідження [71, 72] показують, що адаптивне анкерне кріплення здатне суттєво підвищити стійкість виробок у глибоких шахтах та забезпечити контрольованість деформацій.

Рекомендовані схеми кріплення також узгоджуються з вимогами нормативних документів ДСТУ та практикою провідних вугільних регіонів [73, 74].

Прогнозування напружено-деформованого стану

Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану дозволяє визначити зони потенційних провалів, зрушень чи обвалів порід та оптимізувати параметри ведення гірничих робіт. Моделі, побудовані для геологічних умов Центрального та Західного Донбасу [69], демонструють високу ефективність у прогнозуванні поведінки масиву при розробці глибоких пластів.

Для шахти Павлоградська такі моделі підтвердили доцільність застосування обмежених довжин лав та посиленого анкерного кріплення у виробках із нестійкою піщано-алевритовою покрівлею [70].

Ефективна оптимізація передбачає ***інтеграцію технічних*** (кріплення, вентиляція, дегазація) ***та аналітичних заходів*** (геомеханічне моделювання,

сейсмічний та газовий моніторинг). Дослідження свідчать [71], що комплексне поєднання цих методів знижує рівень аварійності на 20-40 % і забезпечує стабільну відробку навіть у надскладних умовах глибинних шахт.

Для шахти імені Засядько оптимізація гірничих робіт за рахунок адаптивного кріплення, моделювання та змінених параметрів ведення лав є критично важливою через високі газодинамічні ризики та наявність тектонічних порушень [64,75].

Для шахти Павлоградська комплексна оптимізація, тобто врахування літологічної мінливості, коротких лав, комбінованого кріплення та постійного геомеханічного моніторингу, дозволяє компенсувати слабкість перекриваючих порід та підтримувати стабільність виробок [67, 68].

5.4. Перспективи впровадження сучасних методів контролю

Перспективи впровадження сучасних методів контролю у вугільних шахтах України пов'язані, перш за все, з необхідністю підвищення безпеки гірничих робіт, оптимізації технологічних процесів та зменшення техногенного навантаження на гірниче середовище. Сучасні тенденції розвитку гірничої промисловості демонструють чіткий перехід від епізодичного інструментального контролю до інтегрованих систем моніторингу, які працюють у режимі реального часу та забезпечують комплексну оцінку стану виробок, масиву гірських порід і технічного обладнання.

Однією з ключових перспектив є широке впровадження *інтелектуальних систем моніторингу геомеханічних параметрів*, які використовують мережі тензометричних датчиків, інклінометрів, лазерних сканерів та радарних станцій для безперервної реєстрації деформацій, тиску порід та зміни форми виробок. Такі системи автоматизованих сенсорних мереж та системи на основі штучного інтелекту AI (Batrakov [61]) здатні

аналізувати великі масиви даних і дозволяють своєчасно виявляти початкові ознаки втрати стійкості та прогнозувати потенційні аварійні ситуації.

Важливим напрямом розвитку є **цифровізація гірничих процесів** на основі триєдиного підходу: діджиталізація, автоматизація та роботизація. Це включає використання цифрових двійників шахтних виробок та масиву порід, які дозволяють моделювати сценарії навантаження, оцінювати ефективність існуючих способів кріплення та розробляти оптимальні технологічні рішення без необхідності практичних експериментів у небезпечних умовах, а також створення 3D-моделей геологічного масиву з урахуванням тектонічних порушень, газоносності та глибинних умов. Так роботі (Kang, Wu & Gao [71]) розглянули оптимізацію систем кріплення у глибоких шахтах на основі цифрового моделювання.

Окрему роль відіграє впровадження **автономних та дистанційно керованих систем контролю**, зокрема роботизованих комплексів для обстеження важкодоступних ділянок виробок, дронів для аерологічного контролю вентиляційних потоків та мобільних платформ для моніторингу геодинамічних процесів. Завдяки усуненню людського фактору такі системи значно підвищують рівень промислової безпеки. Дистанційні системи знижують ризик для персоналу та дозволяють швидко отримувати дані про стан виробок. Перспективним є застосування роботів для локального буріння дегазаційних свердловин.

Подальший розвиток отримають методи **георадарного та сейсмоакустичного моніторингу**, які забезпечують можливість дослідження структурних особливостей порід на глибині без порушення цілісності масиву. Вони дозволяють виявляти зони розущільнення, тектонічні порожнини та ослаблені ділянки, що є критично важливим для прогнозування гірничих ударів і раптових викидів. В роботах [76, 77] описано досвід впровадження системи раннього попередження про гірничі удари на основі сейсмоакустичного моніторингу.

Перспективним є також удосконалення методів *екологічного контролю*, зокрема автоматизованих систем вимірювання концентрації метану, чадного газу, важких металів та інших забруднювачів у повітрі і воді шахтного простору. Впровадження таких технологій дозволяє не лише підвищити рівень безпеки персоналу, але й ефективніше управляти екологічними ризиками.

У довгостроковій перспективі розвиток сучасних методів контролю буде ґрунтуватися на інтеграції систем моніторингу у єдині платформи управління, що поєднують дані геологічного, геомеханічного, технічного й екологічного контролю. Використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту, Big Data-платформ [78, 79] забезпечить можливість автоматичної інтерпретації даних, виявлення прихованих закономірностей та формування прогнозів, що мінімізують ризики надзвичайних ситуацій.

В Україні перспективним є інтегрування таких систем у шахти Донбасу та Західного Донбасу з урахуванням локальних геологічних умов.

Таким чином, впровадження сучасних методів контролю у вугільних шахтах України має значний потенціал для покращення безпеки гірничих робіт, підвищення ефективності виробництва та зменшення техногенного впливу на довкілля. Реалізація цих перспектив потребує модернізації технічної інфраструктури шахт, підготовки висококваліфікованих фахівців і системного державного та корпоративного фінансування.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи досліджено регіональні геологічні та гірничі умови вугільних басейнів України, проаналізовано фактори обтяження лав та розроблено практичні заходи для підвищення безпеки та ефективності гірничих робіт. Основні висновки роботи можна сформулювати наступним чином.

1. Загальні результати дослідження

1.1. Встановлено, що **обтяження лав** у вугільних шахтах України зумовлене комплексом геологічних та геофізичних чинників: літологічною мінливістю порід, тектонічними порушеннями, високою газоносністю пластів та глибинними умовами розробки.

1.2. Порівняльний аналіз шахт ім. Засядька (Центральний Донбас) та Павлоградської (Західний Донбас) показав різну природу небезпек: у Центральному Донбасі домінують **газодинамічні процеси та гірничі удари**, тоді як у Західному Донбасі основними є **нестійкість покрівлі та здимання підшви**.

1.3. Геофізичний моніторинг підтвердив значну роль **сейсмоакустичних методів** у прогнозуванні раптових викидів метану та локальних обвалів.

2. Практичні рекомендації

2.1. Для шахти ім. Засядька (Центральний Донбас) рекомендовано **комбіноване кріплення** (рамне + анкерне), активну дегазацію та централізовану вентиляцію з автоматизованим контролем метану.

2.2. Для шахти Павлоградська доцільним є застосування **анкерного кріплення** у зонах здимання підшви, профілактичної дегазації та флангової схеми вентиляції.

2.3. Запропоновано інтеграцію **геофізичного моніторингу** (сейсмічні датчики, газоаналізатори, георадарні дослідження) у систему управління безпекою.

3. Наукова новизна

3.1. Вперше здійснено **порівняльний аналіз геологічних і геофізичних умов** двох ключових шахт України з позиції причин обтяження лав.

3.2. Обґрунтовано роль **літологічної мінливості порід** у виборі параметрів кріплення та схем відпрацювання.

3.3. Розроблено узагальнену класифікацію технологічних заходів (кріплення, дегазація, вентиляція) з урахуванням геологічних умов.

4. Перспективи впровадження

4.1. Перспективним напрямом є застосування **інтелектуальних систем моніторингу** на основі штучного інтелекту та Big Data для прогнозування газодинамічних процесів.

4.2. Доцільним є впровадження **адаптивного анкерного кріплення** з геомеханічним зворотним зв'язком.

4.3. Використання **цифрових двійників шахт** дозволить моделювати поведінку масиву та оптимізувати схеми відпрацювання пластів.

4.4. Міжнародний досвід підтверджує ефективність інтеграції сучасних технологій у системи безпеки глибоких шахт.

Таким чином, виконане в магістерській роботі комплексне дослідження дослідження не лише розкриває причини обтяження лав, **але й пропонує** комплекс практичних та інноваційних рішень для їхнього зменшення, що має значення для підвищення безпеки та ефективності вугільної промисловості України.

Таким чином, виконана робота дозволяє зробити висновок, що комплексне вивчення геологічних, геофізичних та технологічних умов, впровадження сучасних методів контролю і прогнозування, а також адаптація гірничих технологій до конкретних регіональних умов є ключовими для підвищення безпеки та ефективності ведення гірничих робіт у вугільних шахтах України

ЛІТЕРАТУРА

1. О.К. Носач, А.В. Петренко, О.Е. Кіпко, О.О. Ісаєнков. Оцінка впливу гірничо-геологічних та гірничотехнічних чинників на стійкість виїмкових виробок в умовах шахти ВП «Капітальна» // Вісті Донецького гірничого інституту, №1 (54), 2024.
URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-1-104-113>
2. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-1/part-2/section-8/8-2/22-entsiklopediya/vid-vognyu-ta-vodi-do-elektriki/chastina-2-vikopne-palivo-yak-dzherele-energiji/rozdil-7-vugillya/37-7-7-vugillya-v-ukrajini>
3. Донецький кам'яновугільний басейн / А. Я. Радзівілл // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2008. – Режим доступу: URL: <https://esu.com.ua/article-20846>.
4. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т / за ред. В. С. Білецького. - Д. : Східний видавничий дім, 2004. - Т. 3. - С. 584-585. ISBN 966-7804-78-X.
5. V. A. Privalov, R. F. Sachsenhofer. E. A. Panova and V. A. Antsifero. Coal Geology of the Donets Basin (Ukraine/Russia): An Overview. ВНМ, 149. Jg. (2004), Heft 6 pp. 212-222
URL: https://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/5039/1/Privalov%20et%20al_BHM.pdf
6. Державна служба геології та надр України. Геологічні ресурси України
URL: <https://www.geo.gov.ua/>
7. Матрофайло М. Етапи геодинамічного розвитку території Львівсько-Волинського вугільного басейну, *журн. Геодинаміка / Львівський державний ун-т.* (2023) V 2(35), p.33-52
URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2023.02.033>

8. Вергельська Н.В., Вергельська В.В. Формування техногенно навантаженого середовища у вуглевидобувних регіонах. *Геохімія техногенезу*, №8 (2024) – с.46-50. URL: <https://doi.org/10.32782/geotech2024.38.06>
9. Атмогеохімічні, геолого-геохімічні та термобаричні критерії обґрунтування метаноносності закритих та відпрацьованих просторів діючих шахт. Т.1. Вивчення структурно-геоморфологічної будови та флюїдодинамічної проникності Львівсько-Волинського вугленосного / [І. Д. Багрій, В. І. Почтаренко, В. Р. Дубосарський та ін.]. – Київ, 2014. – 163 с.
10. Дернов В.С., Єфіменко В.І. Палеонтологічні критерії виявлення стратиграфічних перерв у розрізі кам'яновугільних відкладів Доно-Дніпровського прогину. *Труди ІГН НАН України*, 2023.
11. Лівенцева Г.А. Геологічні передумови формування техногенних систем вугільних масивів Львівсько-Волинського басейну. – Рукопис. Дисертація. Спеціальність 04.00.01 – загальна та регіональна геологія, Київ, 2016
12. Бенько, Володимир Михайлович Геологічна будова і перспективи нафтогазоносності глибокозанурених (5-7 км) горизонтів центральної та південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини : дис. ... канд. геол. наук : спец. 04.00.17 "Геологія нафти і газу" : Дата захисту 13.10.11 / В. М. Бенько. - Івано-Франківськ, 2011. - 202 с.
URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/7043>
13. Полетаєв В. І., Бояріна Н. І., Вдовенко М. В., Єфіменко В. І., Немировська Т. І., Щоголев О. К., Коваленко Г. Г. Головні напрями та результати модернізації стратиграфічних схем карбону та пермі України (1993-2014 рр.). *Тектоніка і стратиграфія*. 2016. Вип. 43. С. 58-68. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0000827623>
14. Полетаєв В.І. Модернізована стратиграфічна схема карбону північного борту Донецького басейну / В.І. Полетаєв, М.В. Вдовенко, О.І. Берченко // *Тектоніка і стратиграфія*. – 2010. – Вип. 37. – С. 64-80.

15. Полетаєв В.І. Стратотипи регіональних стратиграфічних підрозділів карбону і нижньої пермі ДоноДніпровського прогину / В.І. Полетаєв, М.В. Вдовенко, О.К. Щоголев, Н.І.Бояріна, І.А. Макаров – К.: Логос, 2011. – 236 с.
16. Ohar V., 2012. Carboniferous buildups in the Donets Basin (Ukraine). *Geologica Belgica*. Vol. 15. No. 4. Pp. 340–349.
17. Дернов, В. С., Єфіменко, В. І. Палеонтологічні критерії виявлення стратиграфічних перерв у розрізі кам'яновугільних відкладів Доно-Дніпровського прогину [Електронний ресурс] // *Труди Інституту геологічних наук НАН України*. – 2023.
URL: <http://archive-transactions.igs-nas.org.ua/article/view/295190/310050>
18. Павлюк М., Різун Б., Медведєв А., Побігун І., Гривняк Г. Особливості геологічної будови та нафтогазоносність Львівсько-Люблінського прогину. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2009. № 1 (146). С. 5–17.
URL: http://iggcm.org.ua/wp-content/uploads/2015/10/intern_ukr_09_1.pdf
19. Костик І., Матрофайло М., Лелик Б., Король М. Вуглеутворення на початковому етапі формування кам'яновугільної формації Львівсько-Волинського басейну. *Науковий вісник НГУ*. 2016. Вип. № 1. С. 19–31.
URL: <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/59-01/8463-2016-01-kostyk/0>
20. Шульга, П. Л. До стратиграфії кам'яновугільних відкладів Львівсько-Волинського басейну [Електронний ресурс] // *Геологічний журнал*. – 1952. – № 12. – С. 45–56.
URL: http://geojournal.igs-nas.org.ua/article/download/196978/pdf_180
21. Атлас родовищ нафти і газу України в VI томах. Т. IV – Львів: Центр Європи, 1998. – 328 с. – (Українська нафтогазова академія)
22. Галишак В.О., Павленко П.І., Шуплецов І.К., Мітюк Л.О. аналіз аварій на підприємствах вугільної промисловості України та заходи їх попередження //Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва. Зб. наук. праць. Вип. 7. – Київ: Підприємство УВОІ «Допомога» УСІ», 2016. – с 4-6.
URL: <https://geobud.kpi.ua/wp-content/uploads/section>

23. Улицький О.А. Гідрогеологічні та геомеханічні фактори екологічної безпеки навколишнього середовища в умовах реформування вугільної галузі / О. А. Улицький, В.М. Єрмаков, В.І. Бузило, А.В. Павличенко; під заг. ред. Улицького О.А. – Д.: ТОВ «Літограф», 2014. - 200 с.- ISBN 978-966-2267-50-1
24. Вергельська В . В. Геологічні чинники перерозподілу шахтних вод Донбасу: дис. ... д-ра філософії. Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2025. 250 с.
25. Звіт ОБСЄ: П'ять років бойових дій на сході України. URL: <https://www.osce.org/sites/default/files/f/documents/b/0/445369.pdf>
26. Звіт ОБСЄ: Екологічні наслідки війни проти України. Попередня річна оцінка (лютий 2022 – лютий 2023). ПІДСУМКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ
URL: https://ceobs.org/wp-content/uploads/2024/09/OSCE-Ukraine-cons_UKR.pdf
27. Вивчення малоамплітудної тектоніки вугільних родовищ геофізичними методами / І. Куровець, І. Грицик, О. Приходько, П. Чепусенко, С. Михальчук, С. Мельничук, Р.-Д. Кучер // Геологія і геохімія горючих копалин. - 2023. - № 1-2. - С. 26–40. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/giggk_2023_1-2_5
28. Марчук В. М. Сейсмоакустичні методи контролю стану гірського масиву. - Дніпро : Нац. гірн. ун-т, 2016. - 256 с.
29. Hinze, W.J. (2013) Gravity and Magnetic Exploration Principles, Practices, and Applications. Cambridge University Press, New York, 515 p.
URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843129>
30. Кузнєцов В. М. Геомеханіка підземних розробок корисних копалин. - Київ : Техніка, 2012. - 412 с.
31. Орлов В. П. Геофізичні методи дослідження гірських порід : підручник. - Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2014. - 368 с.
32. Hustrulid W., Kvapil R., McCarter M. Mining Rock Mechanics: Principles and Practice. - New York : Taylor & Francis, 2013. - 456 p.

33. Peng S. S. Coal Mine Ground Control. - 4th ed. - Morgantown : West Virginia University Press, 2020. - 480 p.
34. Шахта_імені_О._Ф._Засядька URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0_%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%96_%D0%9E._%D0%A4._%D0%97%D0%B0%D1%81%D1%8F%D0%B4%D1%8C%D0%BA%D0%B0#%D0%90%D0%B4%D1%80%D0%B5%D1%81%D0%B0
35. Окупанти на Донеччині закрили шахту ім. Засядька.
URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/01/25/novyna/suspilstvo/okupanty-donechchyni-zakryly-shaxtu-im.-zasyadka> |
36. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=tlKvBcBhySU>
37. Шахта_«Павлоградська» URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0_%C2%AB%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%C2%BB
38. С. Гончаренко. Зміни в геологічному середовищі на територіях гірничодобувної діяльності в межах Геологічного та промислового району Павлоград-Петропавлівка // Coll.res.par.nat.min.univ. 2024, 79:133–143
URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/79.133>
39. Енциклопедія сучасної України. URL: <https://esu.com.ua/article-22198>
40. Геологія і корисні копалини України / За ред. В. І. Калініна. - Київ : Центр Європи, 2012. - 540 с.
41. Геологічна будова і вугленосність Донецького басейну / За ред. О. М. Лукінова. - Київ : Наукова думка, 2010. - 460 с.
42. Грінченко В. Г., Грінченко Т. В. Тектонічна структура Донецького басейну і закономірності розподілу вугільних пластів // Вуглехімічний журнал. - 2014. - № 3. - С. 15-28. URL: <http://vhj.nmu.org.ua/pdf/2014/3/15.pdf>
43. Геологічні умови Західного Донбасу / За ред. А. М. Черняка. - Дніпро : НГУ, 2013. - 352 с.

44. Кузьменко Т. Є., Пономаренко Ю. Г. Особливості блокової будови Західного Донбасу та її вплив на умови розробки // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2019. - № 2. - С. 56-68.
URL: <https://rrngr.nmu.org.ua/pdf/2019/2/56.pdf>
45. Чебан В. П., Бурикiна Т. I. Структурно-тектонiчнi особливостi Павлоградського шахтного району // Гiрничий журнал. - 2018. - № 6. - С. 37-45.
URL: <https://miningjournal.nmu.org.ua/pdf/2018/6/37.pdf>
46. Годлевський М. Л., Жуков О. О. Геомеханiчнi умови формування напружено-деформованого стану масиву в умовах Західного Донбасу // Науковий вісник НГУ. - 2020. - № 5. - С. 111-122.
URL: <https://nvngu.in.ua/pdf/2020/5/111.pdf>
47. Ключко В. П., Долiн В. В. Геодинамiчнi процеси в Донецькому рeгiонi та їх вплив на гiрничi роботи // Геодинамiка. - 2016. - № 1. - С. 82-94.
URL: <https://geodynamics.org.ua/pdf/2016/1/82.pdf>
48. Звіт про геологiчну будову та умови розробки шахтного поля шахти iм. О. Ф. Засядька. - Донецьк : ДВАТ «Шахта iм. Засядька», 2010. - 280 с.
49. Лисенко В. В. Тектонiчнi порушення i газоноснiсть вугiльних пластiв шахти iм. О. Ф. Засядька // Геологiя i геохiмiя горючих копалин. - 2017. - № 2. - С. 55-66. URL: <https://ojs.donntu.edu.ua/pgt/article/view/129>
50. Ситник О. Ф., Кравець С. В. Тектонiчнi особливостi Центрального району Донецького басейну // Збiрник наукових праць НГУ. - 2015. - № 47. - С. 122-134. URL: <http://journal.geoeokomine.com.ua/article/view/261978>
51. Паспорт геологiчних умов Павлоградського шахтного району. - Павлоград : ДП «Павлоградвугiлля», 2015. 19- 6 с.
52. Гайко Г. I., Бовкунович М. А. Розробка вузлiв пiддатливостi сталевого рамного крiплення для небезпечних умов за газовим фактором. *Mining & Geology Journal*, 2019. URL: https://mining-geology.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/02/M_Geo_Haiko_1_22019.pdf
53. Власов С. Ф., Иваненко П. О. Аналіз ефективності застосування одно- та дворядного механізованого кріплення в умовах синхронізації видобувних

- робіт і затоплення шахт. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 2023. URL: <https://jdmi.donntu.edu.ua/arkhiv-zbirky/%E2%84%961-2023/analiz-efektyvnosti-zastosuvannya-odno-ta-dvoryadnogo-mehanizovanyh-kriplen-v-umovah-synhronizacziyi-vydobuvnyh-robit-i-zatoplennya-shaht>
54. Дубовик О.І. Обґрунтування технології забезпечення стійкості конвеєрних виробок для повторного використання в умовах глибоких вугільних шахт. Дисертація, 2021. URL: <https://uacademic.info/ua/document/0821U010098>
55. Шишов М.В. Аналіз методів і засобів дегазації виїмкових дільниць та утилізації метану для підвищення ефективності дільничної дегазації в умовах шахт Західного Донбасу. *Irpın Mining University Repository*, 2024. URL: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/c0c6b686-dc85-4072-be8d-d8f631f0f97a>
56. Мінеєв С.П., Пимоненко Д.М. Деякі особливості транспортування і переробки метаноповітряної суміші на вугільних шахтах. *ZNP NMU Journal*, 2019. URL: <https://znp.nmu.org.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/26-59ua/214-59ua09>
57. Gurin A., et al. Research and Evaluation of Coal Mine Ventilation Management. *Sciendo Journal*, 2024. URL: <https://sciendo.com/pl/article/10.2478/minrv-2024-0012>
58. Іконніков М.Ю. Обґрунтування методів та технічних засобів керування провітрюванням виїмкових дільниць газових шахт. Дисертація, 2010. URL: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/39b86b1c-d807-46a5-97c7-795a83079e42>
59. Пігулевський П., Анісімова Л. Геофізичні дослідження при пошуках прісних вод на території складчастого Донбасу // Вісник Львівського університету. Серія геологічна. – 2024. – № 38.-с.112-120.
DOI: 10.30970/vgl.38.12.
60. Годлевський М. Л., Жуков О. О. Геомеханічні умови формування напружено-деформованого стану масиву в умовах Західного Донбасу // Науковий вісник НГУ. – 2020. – № 5. – С. 111–122.
URL: <https://nvngu.in.ua/pdf/2020/5/111.pdf>

61. Batrakov A., Petrov D., Sokolov A. Application of Methods of Artificial Intelligence in Systems for Continuous Automatic Monitoring of Dust Concentration and Deposits in Mine Atmosphere. arXiv preprint. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2401.16823>
62. Li, Z., Wang, E., Zhang, C., et al. Applications of Microseismic Monitoring Technique in Coal Mines: A State-of-the-Art Review. Applied Sciences, 2024. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1509>
63. Kovalevska, I., Morozov, V., Dzhus, R. Improving Efficiency of Information Measurement System of Coal Mine Air Gas Protection. Dnipro University of Technology, 2017. URL: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/e05627ac-736a-4756-bfdb-74258ae0a7eb>
64. Прокопенко К. О. Газодинамічні процеси у вугільних пластах шахти імені Засядька та методи їхнього прогнозування // Гірничий вісник. – 2015. – № 99. – С. 86–94. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152326>
65. Литвиненко Є. М. Особливості проявів гірничого тиску на великих глибинах у Донецькому басейні // Гірнича механіка та машинобудування. – 2020. – № 105. – С. 59–68. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160502>
66. Хоменко О. Є., Трубенко В. М. Сейсмоакустичні методи прогнозування раптових викидів метану на шахтах Донбасу // Науковий вісник НГУ. – 2019. – № 3. – С. 45–54. URL: <https://nvngu.in.ua/pdf/2019/3/45.pdf>
67. Леонтьєв А. В., Сіренко Г. Г. Геологічні умови та газодинамічні особливості пластів шахти Павлоградська // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2017. – № 4. – С. 128–135. URL: <http://journal.kdu.edu.ua/article/view/128135>
68. Петльований М. В., Мулик Є. В. Аналіз газового режиму та прогноз метаноутворення у вибої лав шахти Павлоградська // Mining of Mineral Deposits. – 2019. – Vol. 13(2). – P. 121–129. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining13.02.121>
69. Гайко Г. І., Смирнов В. О., Плутенко О. С. Моделювання як складова частина геомеханічного моніторингу гірничих виробок. Науковий вісник НГУ.

2016. № 4. С. 34–42. URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/1289-2016/zmist-4-2016/rozrobka-rodovishch-korisnikh-kopalin2/3644-modelyuvannya-yak-skladova-chastina-geomekhanichnogo-monitoringu-girnichikh-virobok>

70. Петров Є. К., Чорний В. І. Аналіз впливу літологічної мінливості порід на вибір параметрів лав Західного Донбасу. Розробка родовищ корисних копалин. 2020. № 4. С. 47–56.

URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/19996>

71. Kang H., Wu Y., Gao F. Optimization of support systems in deep coal mines: A review. *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2021. – Vol. 31, No. 3. – P. 389–402. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.03.004>

72. Hu B., Zhao Z. Adaptive bolting in underground coal mines based on geomechanical feedback. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2022. – Vol. 55. – P. 6579–6596. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02855-4>

73. ДСТУ 3973:2000. Роботи гірничі підземні. Терміни та визначення. – Київ : Держстандарт України, 2001. – 36 с.

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=6152

74. ДСТУ-Н Б В.2.1-3:2013. Настанова з проектування підземних гірничих виробок і споруд. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 54 с.

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=57362

75. Пожидаєв С. І., Матросов А. А. Обґрунтування схеми відпрацювання пластів з високою газоносністю в умовах шахти «Засядько» // *Геотехнічна механіка*. – 2017. – № 135. – С. 89–97.

URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/158066>

76. Christoph Pilger, Patrick Hupe, Lars Ceranna. *Infrasonic and Seismoacoustic Monitoring of Natural Hazards*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Germany. URL:

https://www.researchgate.net/publication/341293499_Infrasonic_and_Seismoacoustic_Monitoring_of_Natural_Hazards

77. Yuanyuan Pu, Jie Chen, Derek B. Apel, Xueyi Shang. Real-Time Identification of Rock Failure Stages Using Deep Learning: A Case Study of Acoustic Emission Analysis in Rock Engineering. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2025.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00603-025-04423-w>
78. Li, Z., Wang, E., Zhang, C., et al. Applications of Microseismic Monitoring Technique in Coal Mines: A State-of-the-Art Review. *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2021. – Vol. 31(6). – P. 889–902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.06.001>
79. Lu, Y., Xu, Y., Zhang, S. Application and Research of Microseismic Monitoring System and Hydraulic Fracturing Technology in Coal Mines. *Journal of Geophysics and Engineering*. – 2022. – Vol. 19(4). – P. 675–689. DOI: <https://doi.org/10.1093/jge/gxac041>