

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Природничих наук та технологій

(факультет)

Кафедра гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Кнюх Веніаміна Леонідовича

(ПІБ)

академічної групи 103М-22-1

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»

(офіційна назва)

на тему Оцінка гідродинамічних та термодинамічних параметрів експлуатації геотермальних систем закритого типу в умовах затоплених шахт

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Інкін О.В.			
розділів:				
Загальний	Інкін О.В.			
Спеціальний	Інкін О.В.			
Рецензент	Ішков В.В.			
Нормоконтролер	Дерев'ягіна Н.І.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Загриценко А.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Кнюх Веніаміна Леонідовича академічної групи 103м-22-1

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

за освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»

на тему Оцінка гідродинамічних та термодинамічних параметрів експлуатації геотермальних систем закритого типу в умовах затоплених шахт

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.09.2023 № 1036-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Геологічні, гідрогеологічні та техногенні умови Донецького вугільного басейну.	10.10.23-29.10.23
Спеціальний	Гірничотехнічна характеристика шахт району. Геотермічні та теплофізичні властивості порід вугленосної товщі.	30.10.23-22.11.23
	Обґрунтування технологічних схем експлуатації закритих геотермальних систем закритого типу. Оцінка гідродинамічних і теплових параметрів роботи систем на затоплених шахтах.	23.11.23-10.12.23

Завдання видано

(підпис керівника)

Інкін О.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

13.10.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

18.12.2023

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Кнюх В.Л.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: текстові додатки 87 с., рисунків 17, таблиць 7, джерел 35.

Мета роботи – на основі вивчення геотехнологічних та гідрогеологічних умов закритих шахт обґрунтувати конструкції, порядок встановлення та експлуатації закритих геотермальних систем, що використовують теплової ресурс породного масиву для опалення будівель за допомогою теплових насосів.

Об'єкт досліджень – геотехнологічні, геотермальні та гідродинамічні процеси, які визначають можливості використання теплового ресурсу непрацюючої шахти закритою геотермальною системою.

Предмет досліджень – параметри розміщення, встановлення та ефективної експлуатації геотермальних зондів в обводненні гірничі виробки закритих шахт.

Наукова новизна – полягає у встановленні закономірностей відбору теплового ресурсу з відпрацьованого гірського масиву та шахтних вод за допомогою коаксіального та U-подібного геотермального зонда.

Для вирішення поставленої мети був застосований комплексний підхід, що включає збір, систематизацію й аналіз фактичних даних про гідродинамічні, геотермальні та геотехнічні властивості відпрацьованих породних масивів; математичне моделювання із застосуванням спеціального програмного забезпечення (Mathcad); інженерний аналіз запропонованих геотехнологічних рішень і модулів.

Практична цінність – обґрунтовані геотехнологічні схеми закритих геотермальних систем в межах відпрацьованого та частково затопленого породного масиву з використанням наявної інфраструктури і матеріально-технічної бази непрацюючої шахти.

Соціальний ефект – використання закритих геотермальних систем на непрацюючих шахтах дозволить здійснити опалення близько розташованих будівель.

ЗАКРИТА ШАХТА, ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ, ШАХТНІ ВОДИ, ТЕПЛОНОСІЙ,
ГЕОТЕРМАЛЬНИЙ ЗОНД, ТЕПЛОПОСТОЧАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА ДОНБАСУ.....	6
2. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
3. ГІРНИЧОТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШАХТ РАЙОНУ.....	39
4. ГЕОТЕРМІЧНІ ТА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРІД ВУГЛЕНОШОЇ ТОВЩІ.....	52
5. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАКРИТИХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	61
6. ОЦІНКА ГІДРОДИНАМІЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЗАКРИТИХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ШАХТАХ.....	70
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	81
ДОДАТКИ.....	84

ВСТУП

Актуальність досліджень. Відповідно до цілей сталого розвитку ООН (Боротьба зі зміною клімату, Інновація і інфраструктура, Чиста енергія, Чиста вода), у даний час у світі на тлі зростання частки альтернативних джерел енергії в енергобалансі відбувається стагнація споживання і видобутку вугілля при одночасному скороченні видобутку в європейських країнах, що супроводжується закриттям вугільних підприємств. Бельгія закрила свої вугільні шахти ще в 1992 р., Франція – у 2004 р., Великобританія – у 2015 м. Остання вугільна шахта в Німеччині Prosper-Haniel закрилася в грудні 2018 р. З 1996 по 2013 рр. в Україні було ліквідовано 37 вугільних підприємств, а за перспективними планами уряду до 2050 р. в країні мають бути закриті 29 шахт.

Відповідно до світових тенденцій, Україна має намір відмовитися від теплових електростанцій за рахунок «зеленої» енергетики. Перехід до нової структури енергетики ускладнюється понад 200-річним періодом інтенсивного видобутку вугілля, який призвів до суттєвої техногенної перебудови геологічних структур і критичного екологічного стану. Зокрема, низькопотенційна теплова енергія сотень мільйонів кубометрів шахтних вод у Донбасі, які щорічно скидаються у поверхневі водотоки, не використовується, а самі скиди призводять до засолення річок, водоносних горизонтів та джерел водопостачання.

Зважаючи на величезний потенціал, раціональне використання теплових ресурсів закритих шахт, засноване на розумінні закономірностей їх формування, техногенного перетворення й видобутку при раціональному використанні існуючої інфраструктури та матеріально-технічної бази та одночасному забезпеченні стійкості гідросфери представляє важливу науково-практичну проблему, вирішення якої буде сприяти зміцненню енергетичної безпеки країни. Перед подібним викликом постали в останні десятиліття й інші країни світу з колись розвинутою видобувною галуззю.

Мета роботи – на основі вивчення геотехнологічних та гідрогеологічних умов закритих шахт обґрунтувати конструкції, порядок встановлення та екс-

платуації закритих геотермальних систем, що використовують теплової ресурс породного масиву для опалення будівель за допомогою теплових насосів.

Задачі, розв'язані в магістерській роботі, полягають у наступному: проаналізувати геологічні, гідрогеологічні та техногенні умови Донецького вугільного басейну; вивчити гірничотехнічну характеристику шахт району, а також геотермічні та теплофізичні властивості порід вугленосної товщі; обґрунтувати технологічні схеми експлуатації закритих геотермальних систем; оцінити гідродинамічні і теплові параметри роботи закритих геотермальних систем на непрацюючих шахтах.

Об'єкт досліджень – геотехнологічні, геотермальні та гідродинамічні процеси, які визначають можливості використання теплового ресурсу непрацюючої шахти закритою геотермальною системою.

Предмет досліджень – параметри розміщення, встановлення та ефективної експлуатації геотермальних зондів в обводнені гірничі виробки закритих шахт.

Наукова новизна – полягає у встановленні закономірностей відбору теплового ресурсу з відпрацьованого гірського масиву та шахтних вод за допомогою коаксіального та U-подібного геотермального зонда.

Практична цінність – обґрунтовані геотехнологічні схеми закритих геотермальних систем в межах відпрацьованого та частково затопленого породного масиву з використанням наявної інфраструктури і матеріально-технічної бази непрацюючої шахти.

Соціальний ефект – використання закритих геотермальних систем на непрацюючих шахтах дозволить здійснити опалення близько розташованих будівель.

1. ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА ДОНБАСУ

В геологічній будові території беруть участь: комплекс глибоко метаморфізованих осадових, осадово-вулканогенних, ультрамета-морфічних і інтрузивних порід докембрію, кори їх вивітрювання, а також осадові відклади девонської кам'яновугільної системи мезозою, палеогенової, неогенової і четвертинної системи кайнозою, які складають декілька структурних поверхів.

Клімат континентальний, зима (грудень – лютий) м'яка, малосніжна, з похмурою погодою і часто з туманами. Переважно температура повітря становить вдень $4^{\circ} - 6^{\circ}$, вночі 8°C морозу. Невеликі морози часто змінюються відлигою. В холодні зими морози сягають $23^{\circ} - 24^{\circ}\text{C}$ (абсолютний мінімум 35°C). Тривале снігове покриття встановлюється в середині грудня. Ґрунти промерзають на глибину 0,2–0,4 м. Тривалий сніговий покрив руйнується в другій половині березня.

Весна (березень – травень) в першій половині прохолодна, в другій тепла, вночі до кінця квітня бувають приморозки. Опади випадають у вигляді мрячки. Літо (червень – серпень) тепле, в окремі роки жарке, посушливе. Переважна температура повітря становить вдень $22^{\circ}-26^{\circ}$ (абсолютний максимум 38°C), вночі $14-16^{\circ}\text{C}$. Опади в цей час випадають у вигляді короткочасних злив, часто з громовицями і вітром. Осінь (вересень – листопад) в першій половині тепла, суха, в другій – прохолодна, з затяжними мрячними дощами. В другій половині жовтня наступають перші приморозки. Вітер протягом року в більшості випадків західний і північно-західний, його швидкість 3-5 м/с. По вологості територія аркуша характеризується як помірна. Річна температура повітря по даним метеостанції Чаплине коливається від $+5,8^{\circ}\text{C}$ до $+10,4^{\circ}\text{C}$. Середньобаторічна сягає $+8,4^{\circ}\text{C}$. Атмосферні опади за рік становлять 414-864 мм, середньобаторічні не перевищують 536,7 мм.

Архейська зонотема – AR

Кристалічні утворення докембрію вивчені більш-менш досконало лише на обмежених територіях. На решті території вони розкриті декількома сверд-

ловинами на глибинах 50-500 м. Подані докембрійські утворення строкаті за складом і інтенсивно дислоковані метаморфізованими (гнейси амфіболові, амфібол-піроксенові, амфібол-біотитові, біотитові і ін.) і ультраметаморфізованими (мігматити, гранітоїди) породами.

Кристалічні породи, що розвинуті на півночі і сході від Богуславського скиду, віднесені до нижнього архею (західно-приазовська серія), на південний захід до верхнього архею (центральноприазовська серія).

Породи західноприазовської серії відносяться до найстаріших і складають нижню частину стратиграфічного розрізу. Складність вивчення цих утворень полягає у недостатності розкриття, а також в багатоетапному метаморфізмі амфіболітової і гранулітової фацій, які значно змінили вигляд первинних порід. В західноприазовській серії виділяється кайнулацька світа і нерозчленовані товщі, котрі в своєму складі об'єднують біотитові, амфібол-біотитові, піроксен-амфібол-біотитові, амфібол-піроксенові та інші кристалічні сланці і гнейси, малопотужні тіла амфіболітів.

Потужність утворень західноприазовської серії на даний період не встановлена. За попередніми даними вона складає 5-6 км.

Палеозойська ератема

Палеозойські утворення представлені помірно складчастими осадовими товщами девону і широко розвиненими поліфаціальними породами карбону, котрі залягають неузгоджено на дислокованому фундаменті докембрію. Вони похило під кутами 3-5° заглиблюються в північно-східному напрямку. Перекриті мезозойськими (тріасовими, юрськими) і утвореннями кайнозойської ератеми, що включає три системи: палеогенову, неогенову і четвертинну.

Девонська система (D)

За даними геологічної зйомки на описуваній території девонська система представлена новотроїцькою світою верхнього відділу (фаменський ярус).

Новотроїцька світа (D_{3nt})

Представляє собою основу палеозойського розрізу всієї території за виключенням розрізу всієї території за виключенням Вовчанського виступу і пів-

денного сходу. В основу новотроїцької світи майже всюди розвинені базальні кварцові пісковики. Покрівля світи проводиться по підшві доломітів і доломітизованих вапняків микроволновахської серії карбону.

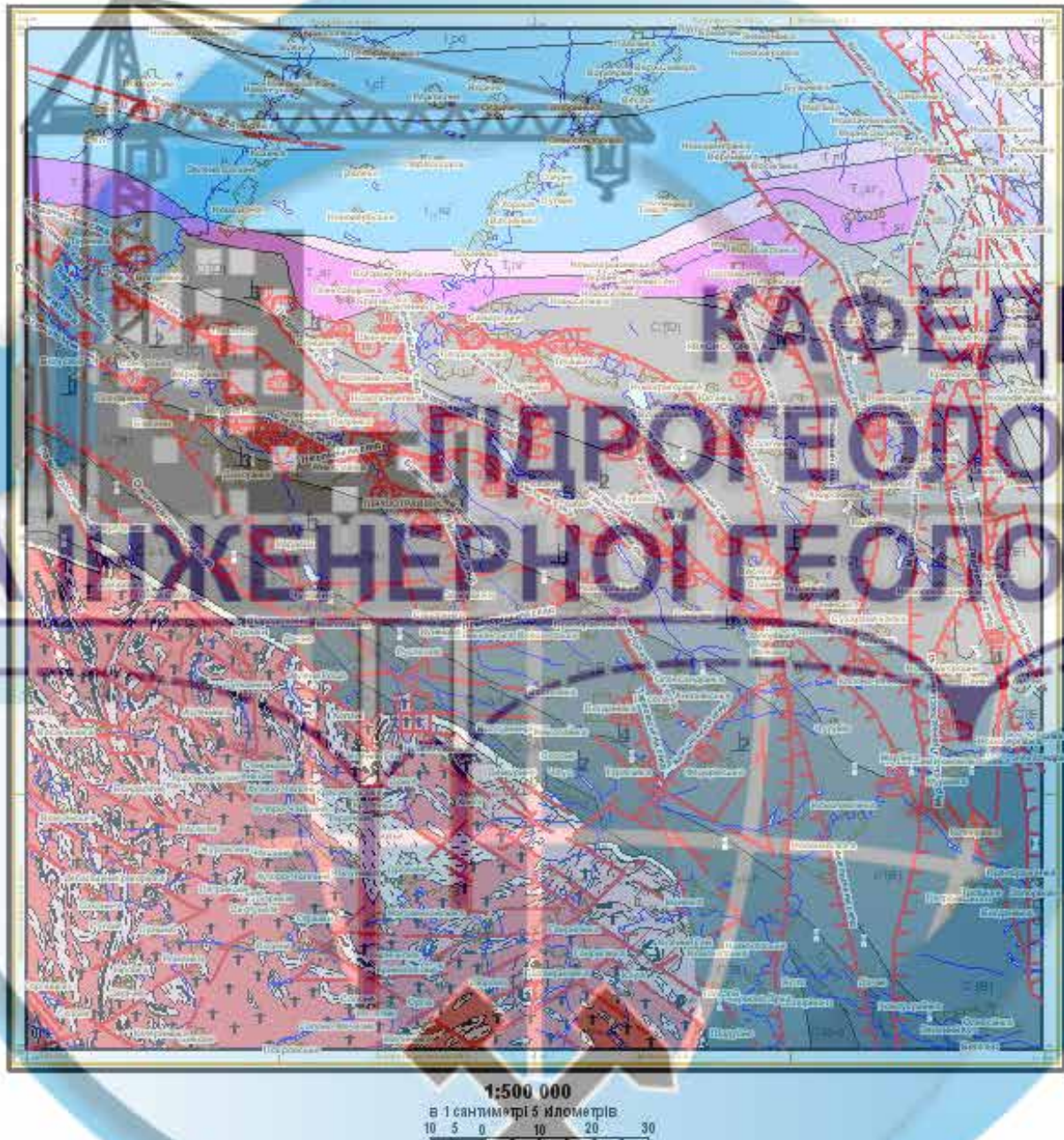


Рисунок 1.1 – Схематична геологічна карта докайнозою

Світа складається із зеленкувато-сірих, слабо доломітизованих зернистих і злих, часто грудкуватих глинистих вапняків. Характерною особливістю розрізу є загальний зеленуватий відтінок порід, а також наявність прошарків аргі-

літів і зелених глин у вапняках. Потужність світи зменшується в північно-східному напрямку від 20 м на сході до 3-5 м на північному заході.

Кам'яновугільна система (С)

Утворення кам'яновугільної системи поширені на значній площі аркушу. Залягають вони трансгресивно на породах девону. Максимальні потужності мають на півночі і сході аркушу. В межах описуваної території кам'яновугільна система представлена нижнім, середнім і верхнім відділами. Ця товща стратиграфічно розділяється на 13 світ (знизу вгору): $C_1^1(A)$, $C_1^2(B)$, $C_1^3(C)$, $C_1^4(D)$ – нижнього відділу, $C_2^0(F)$, $C_2^1(F)$, $C_2^2(G)$, $C_2^3(H)$, $C_2^4(I)$, $C_2^5(K)$, $C_2^6(L)$, $C_2^7(M)$ – середнього відділу, $C_{1-3}^1(N)$ верхнього відділу.

Кожна світа характеризується певною кількістю витриманих на великій площі вапняків і вугілля. В цілому за літологічним складом можливо розділити кам'яновугільні відклади на вапнякову і піщано-глинисту товщі.

Вапнякова товща представлена відкладами микроволновихської серії $C_1^1(A)$, – охоплює турнейський і частково візейський яруси.

Утворення світи – $C_1^1(A)$ представлені в основному вапняками від сірого до темно-сірого кольору (від дрібнозернистих до крупнозернистих). Часто вапняки тримають прошарки бітумінозних і доломітизованих вапняків з домішками чорних кременів. Зустрічаються прошарки пісковиків і глинистих сланців потужністю до 1 м. Вапнякова товща світи розбита багаточисельними тектонічними тріщинами внаслідок чого світа закарстована. В основі карбонатної товщі залягає теригенний прошарок потужністю 7-15 м, представлений різнозернистими пісковиками, глинистими і піщаними сланцями (аргілітами, алевролітами). Потужність світи коливається в межах від 56 м до 138 м і зростає з заходу на схід.

Піщано-глиниста товща карбону включає відклади від світи $C_1^2(B)$ до $C_{1-3}^1(N)$. Потужність окремих світ складає 200-640 м, окремі шари в світах мають потужність 20-30 м. Вапняки 0,5-2 м, іноді сягають 8-11 м. Вугільні прошарки мають потужність від 0,01 м до 1,0-1,5 м. Більшість із перерахованих світ мають вугільні шари робочої потужності.

Мезозойська ератема

Мезозойські утворення в межах Тернівського аркушу представлені неповним комплексом і займають його північну частину.

В структурному відношенні вони розвинені в межах південного борту Дніпровсько-Донецької западини. Загальний схил іде зі сходу на захід і має амплітуду близько 100 м. Простягання мезозойських порід широтне, падіння на північ з кутами 20' -30' до 1°. Потужність утворень збільшується з півдня на північ. Залягають мезозойські відклади неузгоджено на кам'яновугільних і неузгоджено ледь скрізь перекриваються косянецькими утвореннями. В межах аркушу мезозойська ератема представлена тріасовою і юрською системами.

Тріасова система (Т)

Утворення тріасової системи поширені в північній чверті аркушу Тернівка. Південна межа – вихід їх під відклади палеогену, східна обмежена Криворізько-Павлівським скидом, північна і західна – продовжується на сусідні аркуші. Знаходяться вони і в самому північно-східному куті аркушу, де мають незначне розповсюдження.

Залягають тріасові відклади з стратиграфічним неузгодженням на породах карбону і перекриваються породами козулинської світи. В межах аркушу виділяються сріблянська світа (Т_{1sr}), яка складається із двох підсвіт – нижньо- і верхньосріблянської (Т_{1sr1}, Т_{1sr2}), а також протопівської (Т_{3pr}) і новорайської (Т_{3nr}) світ.

Сріблянська світа - Т_{1sr}

Утворення сріблянської світи поширені в межах мезозойських відкладів. Залягають вони з кутовим неузгодженням на кам'яновугільних породах і перекриваються утвореннями ново райської і протопівської світ. Заглиблення сріблянської світи іде з півдня на північ з кутом до 1°. глибина залягання на півдні 40-50 м, на півночі 200- 270 м. Потужність коливається в межах від 20-30 м до 105-120 м, збільшується в північному напрямку.

Нижньосріблянська підсвіта (Т_{1sr1})

Представлена товщею континентальних строкатих піщано-глинистих утворень, карбонатними пісковиками зеленкувато-сірими, різнозернистими, часто косо шаруватими з домішками глинистих, катунів і грубих уламків, складених із кварцу, польового шпату, кремнію. Пісковики розшаровані строкатими зазвичай карбонатними глинами, які вміщують дрібні і крупні вапнякові стягнення типу „журавчик” і прошарки білих грудкуватих пісковиків. Внизу товщі кількість стягнень і прошарків вапняків збільшується. В західній частині карбонатність утворює самостійні шари потужністю від 2-3 м до 5-6 м. В окремих випадках сягає 9 м. На сході і південному сході нижній частині товщі притаманна велика потужність гравелітів, конгломерату і галечників. Потужність нижньосріблянської підсвіти змінюється в межах від 10-15 м до 60-70 м.

Верхньосріблянська підсвіта (T_1sr_2)

Представлена строкатими глинами (червоно-бурими, вишнево-червоними з зеленкувато-сірими і фіолетовими плямами) з прошарками зеленкувато-сірих слюдистих дрібно-середньозернистих каолінізованих пісковиків. Вони ущільнені, не шаруваті, часто грудкуваті з білими плямами і розводами на загальному більш темному фоні. Пісковики зеленкувато-сірі, дрібнозернисті часто слюдисті з очевидними шарами вапняків і грудками зеленої глини. Потужність порід верхньосріблянської товщі в межах її розповсюдження коливається від 10-15 м до 45-50 м.

Протопівська світа – T_3pr

Утворення протопівської світи поширені в північно-західному куті аркушу. Представлена переважно товщею різнозернистих пісковиків і глинами. Пісковики мають зазвичай ясно-сірий колір з різноманітними зеленувато-блакитним і рожевим відтінком. Складені пісковики кварцом і польовим шпатом, інколи у їх складі зустрічаються уламки кременистих порід і кулачки глин. Глини у верхній частині товщі темно-сірі, в нижній – строкаті.

Потужність протопівської світи не вище 33 м.

Новорайська світа – (T_3nr)

Утворення новорайської світи в межах аркушу залягають неузгоджено на строкатих глинах сріблянської і перекриваються неузгоджено морськими відкладами тоарського ярусу юри. На півдні їхня границя в структурі заповнена мезозойськими відкладами, на півночі виходить за рамки аркушу. На заході вони поступово зменшуються у потужності і відсутні повністю, на сході обмежені Криворізько-Павлівським скидом. Потужність зростає із заходу на схід і складає 3-25 м. В цьому напрямку змінюється літологічний склад. Так, на півночі і північному заході переважають озерні тонкошаруваті глини з перешаруванням тонкими прошарками пісків (0,005-0,01 м), пісками різнозернистими і пісковиками на південному сході і переходять у погано сортовані різнозернисті, каолінисті піски і пісковики з великою кількістю грубого матеріалу. Піски і пісковики мають багато гумусу, уламків деревини і інших рослинних рештків.

Юрська система – (I)

Утворення юрської системи в межах описуваної території розповсюджені в північній частині, які на сході обмежені Криворізько-Павлівським скидом, на заході продовжуються за межами аркушу.

Глибина залягання юрських утворень коливається від 30-40 до 110-120 м. Представлені вони аргілітами і алевролітами з підлеглими прошарками пісковиків і пісків. В юрській товщі на площі аркушу виділяються кожулинська, черкаська і підлужна світи.

Кожулинська світа – I₁₋₂kz

Кожулинська світа складена відкладами тоарського і ааленського ярусів. Утворення тоарського ярусу з ерозійною перервою залягають на континентальній товщі новорайської світи, а зверху переходять у нижньоааленський ярус. Представлені глинами шаруватими, ущільненими зеленкувато-синюватого і сірого кольору, подекуди зустрічаються тонкі прошарки пісковиків і пісків, а також вапняків.

Відклади ааленського ярусу спільно з тоарським утворюють єдиний седиментаційний шар. Складається він морськими сірими і зеленувато-сірими, ущільненими глинами (аргілітами) і алевролітовими породами (алевролітами),

тонкошаруватими, з лускою слюди і тонкими прошарками пісків з уламками черепашнику. В цій товщі часто зустрічаються лінзи мамозитових пісковиків і пісків потужністю до 3-6 м і вміщують прошарки схванокристалічних вапняків 0,1-0,5 м. Потужність козулинської світи змінюється з півдня на північ від 9 до 105 м.

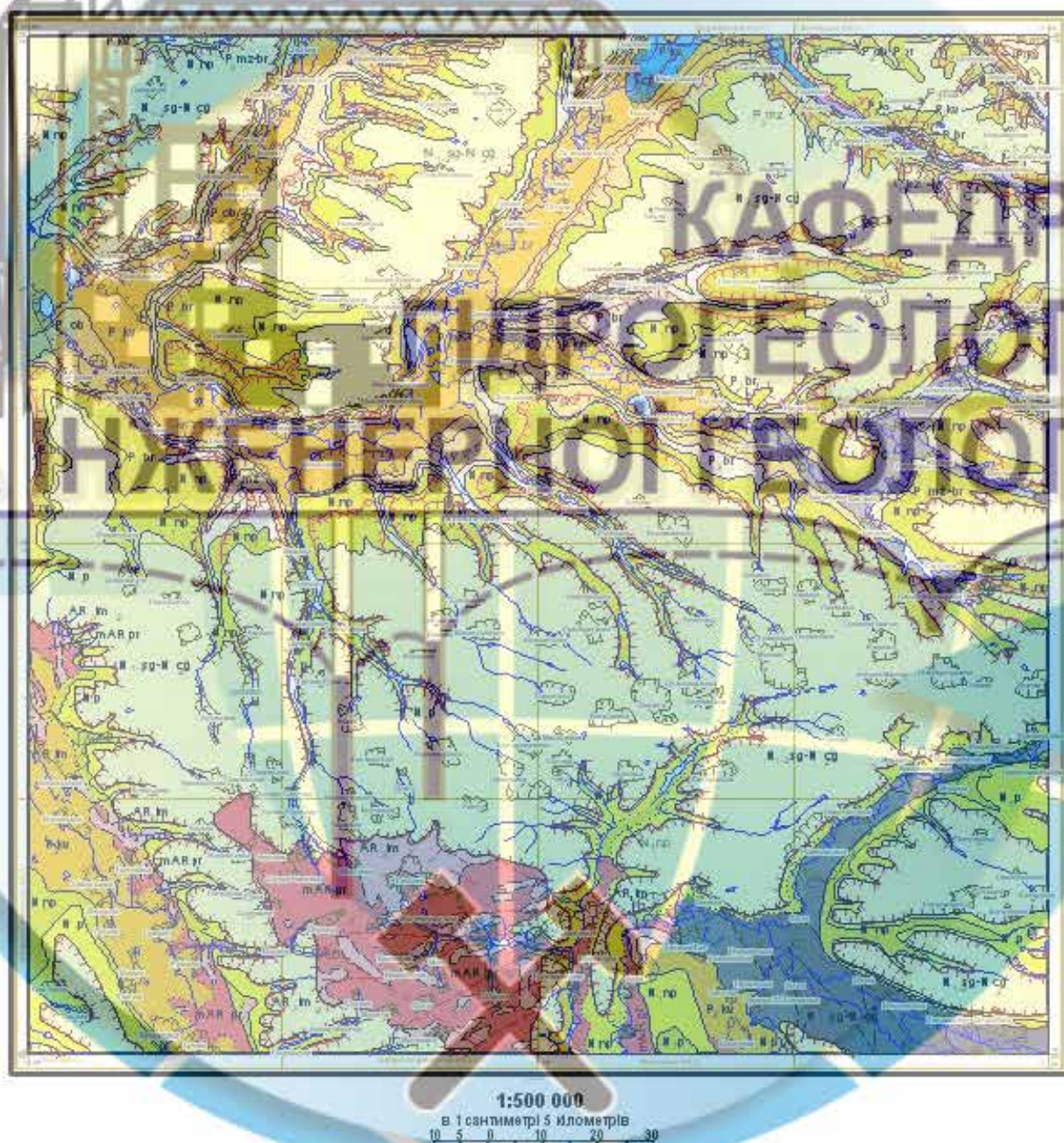


Рисунок 1.2 – Схематична геологічна карта допліоценових відкладів

Черкаська світа – I₂čr

Світа складена відкладами батського ярусу, які зі слабо помітною перервою залягають на відкладах ааленського ярусу. Розріз починається майже всюди мамозитовим піском з численною фауною і складений сірими і темно-сірими шаруватими глинами, алевритистими породами з прошарками мамозитових пісковиків дрібнозернистих, інколи сипучих і з прошарками зливних вапняків невеликої потужності (від 0,15 м до 1-2 м). Потужність світи в межах аркушу збільшується з півдня на північ від 46 м до 117 м.

Підлужна світа – I₂pd

Складається знизу вверх байосськими і батськими відкладами. Представлена сірими і темно-сірими глинами, синьо-сірими тонковідмученими з провертками сидеритів, пісковиків. Поширена вздовж північної рамки аркушу. Тому тут вони представлені неповно. Потужність відкладів підлужної світи 30 м - 120 м.

Кайнозойська ератема

Утворення кайнозойської ератеми поширені повсюди і залягають горизонтально на дислокованих мезозойських в північній частині аркушу, палеозойських в центральній частині, а також на докембрійських породах в південно-західній частині аркушу. Загальна потужність сягає 110 м-115 м.

Представлені вони піщаними і глинистими утвореннями палеогенової, неогенової і четвертинної систем, накопичення яких проходило в глибоководних морських і континентальних умовах, в різноманітних структурно-тектонічних режимах, що відбилось на їх фаціальних особливостях.

Палеогенова система – Р

Відклади палеогенової системи розповсюджені на всій території за винятком Вовчанського виступу і окремих невеличких ділянок річок Бик, Самара, Солона і представлені еоценовим і олігоценним відділами.

Еоценові відклади розповсюджені на більшій північній і східній частині аркушу і розчленовуються на середній (костянецька і київська світи) і верхній (обухівська світа) підвідділи.

Відклади олігоцену розповсюджені у тих же межах, що і еоцен, за винятком річкових долин і деяких балок. Олігоцен представлений відкладами нижнього-середнього підвідділу – межигірською світою і верхнім підвідділом – берекської світою.

Неогенова система – N

Утворення неогенової системи мають доволі широке поширення на площі аркушу і представлені континентальними породами, які відносяться до міоцену і пліоцену. В їхньому складі: новопетрівська світа (нижній-середній міоцен), товща вапнякових пісків (сарматський регіопідярус), строкатих глин (верхній міоцен), товща червоно-бурих глин (верхній міоцен-пліоцен).

Червоно-бурі глини поширені на описуваній площі всюди, за винятком долин річок і поверхні денудованих схилів балок. Вони являють собою стародавню кору вивітрювання, фіксуючу пліоценову поверхню вирівнювання, потужність якої сягає 15-17 м, іноді 25 м. Формування цих утворень проходило в першій фазі неотектонічних підвищень, коли внаслідок регресії сарматського моря утворення суходолу підлягали перетворенню в субаеральних умовах. Внаслідок цього утворилась потужна товща червоно-бурих глин, з чіткою ритмічністю і контрастністю горизонтів, показуючи на послідовні зміни кліматичних умов і перебудову палеоландшафтною системи.

Взагалі товща формувалась в теплий стан, коли перевищувало субаридне і аридне темно-коричневе ґрунтоутворення. В більшості випадків утворення складаються з ґрунтів елювіальних, елювіально-делювіальних (e, ed), еолово-делювіальних (vd) і делювіальних (d) утворень. Відзначаються породи алювіального (a) і алювіально-делювіального (ad) генезису. Літологічно – це глини, глини з лесами, суглинки (переважно важкі), піски.

Найбільш повний розріз пліоценових субаеральних утворень зустрічається в опущених блоках стародавнього плакорного простору, в теперішньому геоморфологічному плані часто відносяться до підвищених ділянок плакорів високого рівня. Мінімальні потужності притаманні еродованим схилам похованих і сучасних балок.

Верхній міоцен

Породи представлені мілководно-прибережноморськими піщаними відкладами, не витриманими в розрізі і по простяганню. По даним раніше виконаних робіт товща вапнякових пісків (середньосарматська світа) розповсюджена в південній, південно-східній частині аркушу. На вододілах і їх схилах з невеликим розмивом перекривається товщею строкатих глин, залягає трансгресивно на пісках і глинах верхньої і нижньої пачки новопетрівської світи, межигірської світи, місцями київської світи, карбону і кристалічному фундаменту.

Утворення складаються зі світло-сірих, жовтувато-сірих пісків дрібно - і середньозернистих, глинистих, вапнякових в дисперсній формі. В підшві світи зустрічаються лінзи і прошарки вапнякових пісковиків потужністю 7-8 см, піски кварцові. Візуально вапнякові піски мало відрізняються від новопетрівських. Нижня межа чітка лише в межах присутності пісковика, іноді відрізняється по наявності вапнякового силучого прошарку потужністю 2-3 см типу лугового мергелю. Іноколи товща представлена лише вапняковими пісковиками. Потужність утворень 3- 16 м.

Верхній міоцен

Товща строкатих глин – N_{1-2sg}

Товща розповсюджена в межах вододільних рівнин, поза зоною глибокого ерозійного розмиву річкових долин і балок. Вони залягають неузгоджено на породах вапнякових пісків новопетровської світи. Перекриваються товщею пліоцен-четвертинних відкладів. В товщі іноді зустрічаються запісковані глини, характерна для неї велика кількість гіпсу.

Утворення гіпсоносних глин очевидно проходило в умовах аридного клімату в межах пізньоміоценових лагун, іноколи зі зменшенням водоймищ, котрі в різній ступені періодично підтоплювались морем. Це був заключний етап крупного циклу кайнозойського седиментогенезу, після якого в районі встановився стабільний континентальний режим.

Товща строкатих (гіпсоносних) глин одноциклічна, монотонна, з незначним огрубінням розрізу в основі. Товщу представляють глини зеленкувато-сірі,

сіро-зелені, в покрівлі і підошві з охристо-бурими, жовтими, червоними, рідше фіолетовими плямами. Характеризуються вони доволі високою щільністю, глееватістю і пластичністю. Часто запіщанені тонко - і дрібнозернистим кварцовим піском. Ці глини є хорошим водотривом.

Гіпс у глинах знаходиться у вигляді крупних кристалів (10-20 см в діаметрі) і прошарків потужністю 0,1-0,2 м. В глинах також трапляються крупні кремнисто-карбонатні стягнення, бобовини і прожилки залізо-марганцевих гідроокисів. По складу глини монтморилонітові з домішками набухаючого хлориту, каолініту, гідрослюди, інколи монтморилоніт-каолінітові. Потужність змінюється від 0 до 16 м. Максимальні значення сягають більш як 22 м.

Товща червоно-бурих глин – N₂čg

Червоно-бурі глини поширені на описуваній площі всюди, за винятком долин річок і поверхні денудованих схилів балок. Вони являють собою стародавню кору вивітрювання, фіксуючу пліоценову поверхню вирівнювання, потужність якої сягає 15-17 м, іноді 25 м. Формування цих утворень проходило в першій фазі неотектонічних підвищень, коли внаслідок регресії сарматського моря утворення суходолу підлягали перетворенню в субаеральних умовах. Внаслідок цього утворилась потужна товща червоно-бурих глин, з чіткою ритмічністю і контрастністю горизонтів, показуючи на послідовні зміни кліматичних умов і перебудову палеоландшафтною системи.

Взагалі товща формувалась в теплий стан, коли перевищувало субаридне і аридне темно-коричневе ґрунтоутворення. В більшості випадків утворення складаються з ґрунтів елювіальних, елювіально-делювіальних (e, ed), еолово-делювіальних (vd) і делювіальних (d) утворень. Відзначаються породи алювіального (a) і алювіально-делювіального (ad) генезису. Літологічно – це глини, глини з лесами, суглинки (переважно важкі), піски.

Найбільш повний розріз пліоценових субаеральних утворень зустрічається в опущених блоках стародавнього плакорного простору, в теперішньому геоморфологічному плані часто відносяться до підвищених ділянок плакорів високого рівня. Мінімальні потужності притаманні еродованим схилам похова-

них і сучасних балок. Потужність 2-14 м, інколи 25 м, в більшості випадків 4-8 м, що залежить від рельєфу місцевості.

В субаквальних фаціях виділені відклади середнього-верхнього пліоцену – одинадцятої тераси (богданівського-сіверського горизонтів). Нерозчленовані середньо-верхньо-пліоценові відклади (N_{2bd-sv}) розвинені на строкатих і верхньопетрівських глинах і пісках. Представлені кварцовими, глинистими, сірими пісками.

Верхній еоплейстоцен представлений дев'ятою еоплейстоценовою терасою (a^9E_{plng}) – крижанівський і іллічівський горизонти.

Крижанівський горизонт (E_{plkr}) представлений червоно-бурими глинами і бурими ґрунтами. Увесь розріз породи вкритий плівками залізисто-марганцевих гідроокисів. Інколи породи загіпсовані. Потужність горизонту сягає 2 м.

Іллічівський горизонт (E_{plil}) самостійно зустрічається лише у знижених місцях рельєфу. Представлений у вигляді малопотужних суглинків, пісків потужністю до 4 м.

Антропогенова система – Q

Антропогенові відклади, за винятком невеликої частини Вовчанського виступу суцільним потужним плащем покривають описувану територію сипучими, багатофаціальними утвореннями. Товща четвертинних порід відображає палеогеоморфологічні умови накопичення осадів, пов'язані з загальним похолоданням і осциляціями клімату. Згідно легенди геологічної карти масштабу 1:200000 України, Донбаська серія листів (1995р.) площа Тернівського аркушу надходить до північної і південної підзони позальодовикової зони.

Антропогенна система представлена середнім і верхнім відділами плейстоцену, до складу якого надходить неоплейстоценовий розділ, який у свою чергу підрозділяється на нижню середню і верхню ланки. Субаеральні осадки розчленовані до кліматоліту, субаквальні до ступеню.

Нижня ланка неоплейстоцену – P_1

Відклади нижньої ланки представлені породами лесової формації. Це перешаровування лесів і викопних ґрунтів широкінського, приазовського, марто-

ношського, сульського, лубенського і тілігульського кліматолітів, які поширені на вододільних ділянках плато. Лесовидні суглинки середні та важкі, червоно-бурого, коричневого, бурого, сірого кольорів, потужністю до 25 м. Субаквальні утворення представлені алювіальними відкладами будакської і донецької терас, які розвинені на лівому березі р. Самари.

Середня ланка неоплейстоцену – Р_{II}

У складі ланки виділені кліматоліти завадовський, кайдакський (викопні ґрунти), дніпровський і тясминський (лесовидні суглинки). Алювіальні відклади середньої ланки представлені хаджибейською терасою, яка поширена на лівому березі р. Самари.

Верхня ланка неоплейстоцену – Р_{III}

Відклади верхньої ланки розповсюджені на всій площі аркушу і представлені трубизьким, вільшанським та деснянським ступенями. Утворення верхньої ланки представлені осадками лесової формації – перешаровування палевих суглинків з сірими і бурими викопними ґрунтами та субаквальними відкладами III, II, I надзаплавних терас, які широко розвинені в долинах рр. Самари, Вовчої, Бик, Сухий Бичок, Солоної.

Голоцен – Н

Голоценові відклади представлені алювіальними утвореннями долин рр. Бик, Водяної, Вовчої, Самари, Солоної, Сухий Бичок та ін. Алювіально-делювіальні відклади вповнюють долини балок. Еолові відклади розповсюджені в долині рр. Самари, Вовчої, Солоної на невеличких ділянках.

Техногенні відклади – Н

До цієї групи відносяться породи різного генезису, віку і літологічного складу, які складають терикони шахт, сміттєзвалищ, насипних доріг, гребель, мул водосховищ і ін.

2. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фізико-географічні, геоморфологічні, кліматичні і геоструктурні умови відбилися на характері розповсюдження підземних вод території Донбасу, обумовили різноманітність ресурсів, умов живлення, розвантаження, хімічного складу мінералізації, захищеності від забруднення тощо.

Гідрогеологічні підрозділи виділяються за умов розчленування геологічного розрізу на товщі, що мають однакові типи циркуляції підземних вод, значення проникності, характеру водоносності у просторі і часі. В залежності від умов циркуляції на площі аркушу виділяються порові, порово-тріщинні, тріщинно-карстові і тріщинні підземні води.

В піщано-глинистих утвореннях теригенної формації кайнозою, які залягають горизонтально, виділяються водоносні горизонти або комплекси порового і порово-тріщинного типу, притаманних (зверху до низу) до четвертинних алювіальних утворень долин річок і днищ балок, еолово-делювіальних суглинків плакорів і схилів, берексько-сарматських пісків, пісків межигірської світи, пісків і пісковиків, мергелів і опок кийвської світи і пісків косянецької світи.

В моноклинально залягаючих слабкометаморфізованих піщано-глинистих утвореннях теригенної формації мезозою виділяється низка водоносних горизонтів і комплексів порового типу, замкнених у пісках і пухких пісковиках черкаської світи середньої юри і в пісках, пухких пісковиках і гравелітах новорайської і сребрянської світ, тріасу, а також в різного ступеню метаморфізованих і дислокованих породах карбону водоносні горизонти порово-тріщинного типу. В цих утвореннях вапнякової формації нижнього карбону водоносні горизонти тріщинно-карстового типу, в тріщинній зоні кристалічних порід докембрію – тріщинного типу.

За значенням водопроникності і водоносності у просторі та у часі водоносні горизонти доволі різноманітні, оцінюються вони по цих показниках відпо-

відно до “Тимчасових вимог до проведення гідрогеологічного довивчення” [13].

Водоносний горизонт – водомістка товща одноманітних або близьких по фаціально-літологічному складу і гідрогеологічних властивостях порід. Водоносні горизонти можуть різнитись між собою по фаціально-літологічному складу, стратиграфічному положенню водонасичених порід, ступеню водозбагачення, мінералізації, хімічного складу води, величині напору на покрівлю горизонту, глибині залягання горизонту і рівня води.

Водоносний комплекс – водонасичена товща якого-небудь стратегічного підрозділу, де внаслідок перешарування водомістких порід різного літологічного складу, складних тектонічних умов або внаслідок недостатньої гідрогеологічної вивченості неможливо виділити окремі водоносні горизонти.

Для оцінки якості підземних вод з точки зору придатності для питного водозабезпечення використовувались Державні санітарні норми і правила “Вода питна” [15]. За хімічними типами підземні води класифікувались відповідно

до вимог рекомендацій по складанню і підготовці до видання Державної гідрогеологічної карти масштабу 1:200 000 [8]. Тобто для визначення типу води до уваги брались ті компоненти, вміст яких більше 20 %мг-екв/дм³. Називався тип води по аніонах і катіонах окремо для кожного від меншого до більшого значення компонентів. На розрізах для визначення типу води до уваги приймалися лише аніони, позначалась також мінералізація.

Водоносний горизонт в верхньочетвертинних – сучасних алювіальних і алювіально-делювіальних відкладах перших, других, нерозчленованих перших і других, третіх надзаплавних терас і днищ балок – аР_{III} – розповсюджений у вигляді смуги шириною від декількох десятків або сотень метрів до 5-6 км по долинах річок (Самара, Вовча, Бик, Сухий Бичок, Тернівка, Солона, Мокрі Яли, Водяна, Гнилуша, Чаплина, Кам’янка, Берестова) і в долинах глибоко врізаних в корінні породи балок. Він пов’язаний з алювіальними відкладами річкових заплав, перших, других, інколи нерозчленованих перших-других терас, а також третіх надзаплавних терас і алювіально-делювіальними відкладами днищ балок.


Водовмісткими алювіальними утвореннями є піски від дрібнозернистих до крупнозернистих, в основі горизонту зустрічаються крупнозерністі піски, галька. Порівняно краща літолого-фаціальна диференціація водомісткого алювію виявлена лише в долині річок Самари і Вовчої, верхню частину яких складають піщані суглинки, супіски, мулисті суглинки, а нижню – піски від дрібнозернистих до крупнозернистих і навіть гравелистих. Водомісткі алювіально-делювіальні утворення представлені супісками, суглинками і дрібнозернистими пісками, які часто перешаровуються між собою.

Описуваний водоносний горизонт залягає на породах київської, межигірської світ, місцями кам'яновугільної і докембрійської систем, з підземними водами яких має тісний зв'язок. Потужність горизонту непостійна. Максимальних величин вона сягає в межах заплав і перших надзаплавних терас. У долинах річок Самари і Вовчої вона коливається від 7-8 м до 25 м, у долинах другорядних річок (Бик, Тернівка, Мокрі Яли, Солона) не перевищує 10 м. Водомісткі алювіально-делювіальні утворення перекриваються суглинками, пісками, тому в природних умовах горизонт незахищений від проникнення забруднюючих речовин.

Фільтраційні властивості алювію дуже мінливі, як по площі, так і в розрізі. Більш високими фільтраційними показниками алювій володіє в нижній частині, де як уже відмічалось, водомісткі утворення більш крупнозерністі. Піски заплав і перших надзаплавних терас краще промиті і відсортовані, внаслідок чого більше водозбагачені, ніж піски другої і, особливо, третьої надзаплавних терас. Коефіцієнти фільтрації алювію заплав і перших терас 0,4-41,5 м/добу, других і третіх терас – 0,2-10,95 м/добу. Відповідно дебіти дорівнюють 0,1-2,5 л/с і 0,02-1,7 л/с при зниженні рівня води 0,1-15 м і 1-27 м.

Глибина залягання покрівлі горизонту на заплавах не перевищує 2-3 м, рідко сягає 5 м, в напрямку до плакорів вона збільшується і на терасах сягає 2,5-28 м. Інколи в межах пойм, на ділянках зсувів, обвалів, конусів виносу і навіяних пісків глибина рівня, тобто залягання водоносного горизонту, різко зростає, і сягає 9-12 м. Горизонт типово безнапірний, лише на окремих ділянках місцевий

напір сягає 1-4 м. Абсолютні відмітки їх дзеркала пов'язані з рельєфом місцевості і рівнями поверхневих вод.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Стратиграфічні підрозділи				Гідрогеологічні підрозділи				
Загальна стратиграфічна шкала		Місцева стратиграфічна шкала світа, товща, пачка	Віковий індекс	Літологічний склад	Літолого-гідрогеологічна характеристика	Індекс	Потужність, м	
Ера/Ера	Система/Система							Відділ, (пачка)
КАЙНОЗОЙСЬКА	ЧЕТВЕРТИНА ПЛЕЙСТОЦЕН	Голоценовий	H		Водоносний горизонт в верхньочетвертинних сучасних алювіальних і алювіально-делювіальних відкладах I, II, I-II і III надзаплавних терас, річкових заплав і днищ балок. Піски, суглинки, лесовидні суглинки.	$a_{1,2}^{1,2} P_{m+}$ $aH+$ aH	8 - 25	
		Деснянський	P_{10}		Водоносний горизонт в нерозчленованих нижньо-верхньонеоплейстоценових солов'яно-делювіальних відкладах вододільних рівнин та їх схилів.	$eol-d$ P_{10}	0,1 - 25	
		Хаджибейський	P_{11}		Леси, лесовидні суглинки в нижній частині, бурі, червонобурі, середні і важкі, с прошарками легких суглинків, пісків і супісків.			
		Круженинський	P_{12}					
	НЕОГЕН	ПІОЦЕН	Товща червоно-бурих глин	$N_2, c'g$		Товща водотривких верхньоміоценових і нижньоверхньоміоценових строкатих і червонобурих глин.		від 2 - 8 до 20 - 25
			Товща строкатих глин	$N_{1,2}sg$				
		МІОЦЕН	Новопетрівська	$N_{1,2}pr$		Водоносний горизонт в нерозчленованих верхньоміоценових відкладах береської і новопетрівської світ і середньосарматського регіоні 'ярус. Піски різнозернисті з прошарками пісковиків, зашаржених глин, вторинних каолінів, бурого вугілля, з домішками рудних мінералів.	$P_{1,2}br$ $N_{1,2}pr$ $N_{1,2}pr$	від 7 - 8 до 30 - 39
			Береська	$P_{1,2}br$		Водоносний горизонт в нижньо-середньоміоценових відкладах междугірської світи. Піски, алевроліти, в основі піски грубозернисті, рідше пісковики.	$P_{1,2}br$ $N_{1,2}pr$ $P_{1,2}br$	від 15 - 25 до 35 - 38
	ПАЛЕОГЕНОВА	ЕОЦЕН	Київсько-обухівська	$P_{1,2}kv-ob$		Водоносний горизонт в середньо-верхньоеоценових відкладах київської та обухівської світ. Піски дрібно-різнозернисті, пісковики різнозернисті.	$P_{1,2}kv-ob$ $P_{1,2}kv$	від 17 - 20 до 30 - 35
			Київська	$P_{1,2}kv$		Водотривка товща середньоеоценових відкладів київської світи. Глини, мергелі.	$P_{1,2}kv$	від 15 - 19
		Олігоцен	Костянцівська	$P_{1,2}ks$		Водоносний горизонт в середньо-еоценових відкладах косянцівської світи. Піски глауконітові, гумуєтровані, в основі гравелісти, з галькою.	$P_{1,2}ks$	від 10 - 25
			Підлужна	$J_{1,2}pd$		Водотривка товща середньороських відкладів. Глини шаруваті з прошертками сидеритів, пісковиків.	$J_{1,2}pd$	від 30 - 130
МЕЗОЗОЙСЬКА	ЮРСЬКА	Черкаська	$J_2, c'r$		Водоносний комплекс в середньороських відкладах черкаської світи. Піски, пісковики з прошертками глин.	$J_2, c'r$	від 40 - 75	
		Кожулінська	$J_{1,2}kz'$		Водотривка товща нижньо-середньороських відкладів кожулінської світи. Глини з прошарками пісковиків, сидеритів.	$J_{1,2}kz'$	від 55 - 85	
	ТРИАСОВА	Новорайська	$T_{1,2}nr$		Водоносний комплекс в верхньотриасових відкладах новорайської світи. Перешарування пісків, пісковиків, алевролітів.	$T_{1,2}nr$	від 3 - 25	
		Протопівська	$T_{1,2}pr$		Водоносний комплекс в верхньотриасових відкладах протопівської світи. Піски, пісковики, глини.	$T_{1,2}pr$	від 33	
		Серебрянська	$T_{1,2}sr$		Водоносний комплекс в нижньо-середньотриасових відкладах верхньосеребрянської підсвіти. Піски, алевроліти, вапняки.	$T_{1,2}sr_1$ $T_{1,2}sr_2$	від 10 - 50 від 10 - 15 до 60 - 70	
		Меживська - Ісаєвська	$C^1_{1,2}$ $C^1_{2,1}$		Водоносний комплекс в нерозчленованих нижньо-верхньокам'яновугільних відкладах кальміуської-ісаєвської світи. Перешарування пісковиків, алевролітів, аргілітів, малопотужних прошертоків вапняків і вугілля.	$C^1_{1,2}$ $C^1_{2,1}$	від 3000 - 4000	
ПАЛЕОЗОЙСЬКА	КАМ'ЯНОВУГІЛЬНА	Мокроволноваська серія	C^1_1		Водоносний комплекс в нерозчленованих нижньокам'яновугільних відкладах макроволноваської серії. Тришаруваті закарстовані вапняки, пісковики.	C^1_1	від 5 - 138	
		Західно-і центральнопоразовська серія	AR_1 AR_2		Водоносний комплекс в тріщинній зоні кристалічних докембрійських утворень і продуктів їх вивітрювання. Гнейси гранат-біотітові, амфіболіві, кристалосланці біотітові, магнетит біотітові, амфіболіві.	AR_1 AR_2	від 10-15 до 80-90	
ДОКЕМБРІЙСЬКА	АРХЕЙ	НИЖНІЙ-ВЕРХНІЙ						
Mz - Kz			Mz - Kz		Водотривка товща: каоліни, глини, слабопроникли жорсткано-глинисті утворення.	Mz - Kz	від 5 - 10	

Рисунок 2.1 – Стратиграфічна колонка Донецького басейна

Мінімальні абсолютні відмітки рівня (62-65 м) відмічаються за даними водопунктів у західній частині аркушу на заплаві р.Самари, максимальні в північно-східній частині по р.Водяній (127-130 м) і на півдні по р. Берестовій (145-149 м). В порівнянні з заплавою р.Самари абсолютні відмітки ґрунтових вод також значно вищі в долинах річок Солоної, Вовчої, Мокрі Яли (91-107 м). За фізичними властивостями води алювію прозорі, без кольору і запаху, на заплавах інколи мають болотний запах, холодні з температурою 9-12 °С.

Хімічний склад дуже строкатий, але переважають води гідрокарбонатно-сульфатні натрієво-кальцієвого типу. Лише подекуди зустрічаються сульфатні кальцієво-натрієві, хлоридно-сульфатні кальцієво-магнієво-натрієві. Мінералізація коливається від 0,1 до 6,7 г/дм³. Вища мінералізація спостерігається в прихилкових частинах долин річок і днищ балок і, очевидно, пов'язана з поганою промитістю покривних суглинків, мінімальна – там, де атмосферні опади безпосередньо проникають в алювіальні піски. Води описуваного горизонту жорсткі і дуже жорсткі – загальної жорсткості до 20 ммоль/дм³, слабо лужні (рН=7,1-7,5). В багатьох водопунктах присутні нітрати (2,9-1045 мг/дм³), інколи відмічаються нітрити (0,01-4,0 мг/дм³) (граф.додат.В). Кисневе окислювання 2,88-58,00 мг/дм³, що свідчить про органічне забруднення, спостерігається забруднення пестицидами.

В природних умовах спостерігається в березні-квітні весняне підвищення рівня з амплітудою 1,7-1,8 м, потім рівень знижується і набуває найнижчого положення в вересні-жовтні. Амплітуда літнього мінімального рівня в залежності від водності року дещо більша або нижча весняного максимуму, восени і взимку спостерігаються незначні підвищення або зниження рівнів в залежності від температури повітря.

На ділянках підпору ґрунтових вод де відбувається додаткове їх живлення за рахунок зрошення чи скиду шахтних вод, режим порушений. Спостерігається підвищення рівнів і утворення підтоплення. Найбільш уражені ділянки в долині річок Самари, Вовчої, Тернівки і ін. і на плакорах в зоні підпору ставків.

В зв'язку з відсутністю в межах площі аркушу підземних вод, які задовольняють вимогам Державних санітарних норм і правил “Вода питна” [15], описуваний горизонт в долинах річок Самари і Вовчої в західній частині аркушу, а також у пригірлових частинах долин річок Тернівки, Бика, Мокрі Яли, можливо використовувати для водопостачання окремих господарств і селищ. При цьому потрібно суворо дотримуватись зон санітарної охорони, тому що в природних умовах горизонт незахищений.

Водоносний горизонт в нерозчленованих нижньо-верхньонеоплейстоценових елювіальних, еолово-делювіальних відкладів вододільних рівнин і їх схилів – e, vdP_{I-III} , в межах аркушу М-37-XXXI користується широким розповсюдженням, покриваючи усі високі ділянки території. В основі горизонту майже скрізь залягають червоно-бурі і строкаті пліоцен-плейстоценові глини, за винятком підвищеної частини Вовчанського виступу, де строкаті глини відсутні, а червоно-бурі пліоценові глини записочені і є водоносними. Тут описуваний горизонт залягає на кристалічних породах і має з ним спільний рівень, або відокремлюється глинами кори вивітрювання палеозой-мезозою. Водовмісними утвореннями є еолово-делювіальні макропористі лесові суглинки, які знизу переходять в червоно-бурі щільні суглинки і глини. Глибина залягання в залежності від абсолютних відміток поверхні дорівнює 0,45-15,6 м, в середині 6-10 м, максимальних значень сягає на схилах поблизу вклинювання підстеляючих глин. Потужність коливається від десятих частин до 20-25 м.

Водотривка товща верхньоміоценових і нижньо-, верхньопліоценових строкатих і червоно-бурих глин $N_{1-2sg}-N_{2cg}$ складена строкатими переважно сіро-зеленими глинами верхнього міоцену і червоно-бурими нижньо-верхньопліоценовими глинами. Загальна потужність цієї товщі від 4-8 м до 20-25 м. Ці глини поширені по всій території плакорів. Вони слугують водотривким ложем для елювіального, еолово-делювіального водоносного горизонту і захистом від проникнення забруднюючих речовин в між шарові водоносні горизонти.

Водоносний горизонт в нерозчленованих верхньоолігоценових – міоценових відкладах берекської, новопетрівської світ і середньосарматського регіонід'ярусу – P_{3br-N_1np-p} на площі аркушу має широке розповсюдження але, відсутній в долинах річок, в пригирлових частинах балок і на підвищених ділянках Вовчанського виступу, місцями частково здренований на підвищених ділянках плакорів. В основі водоносного горизонту залягають піски межигірської світи палеогену, а в південно-східній частині аркушу – піщано-глинисті відклади карбону, в південно-західній – кристалічні породи, з підземними водами яких він тісно пов'язаний.

Колектором горизонту є відклади берекської, новопетровської світ і товща вапнякових пісків середньосарматського регіонід'ярусу, котрі представлені дрібно-пилуватими, інколи, на контакті з кристалічними породами, середньо- і крупнозернистими пісками. Водомісткі піски часто глинисті з прошарками глин, каолінів, пісковиків, а у південно-західній частині вапняків і мергелів. Описуваний горизонт залягає вище базису ерозії і тому має несприятливі умови для накопичення запасів. Тому в північній частині аркушу горизонт частково або повністю здренований. Наявність майже по всій території розповсюдження описуваного горизонту водотривких червоно-бурих і строкатих глин також ускладнює поповнення його запасів. Потужність водомістких утворень горизонту в північній частині аркушу, де пачка вапнякових пісків відсутня, не перевищує 7-8 м, а в центральній і південній частині сягає 30-39 м. В середньому потужність описуваного водоносного горизонту складає 10-20 м. Водозбагаченість мінлива, в основному низька. Коефіцієнт фільтрації, підрахований по даним відкачок, коливається в межах 0,005-9,84 м/добу. Дебіти свердловин складають 0,01-3,1 л/с, питомі дебіти – 0,002-0,42 л/с, в більшості випадків дебіти свердловин не перевищують 0,8-1,0 л/с при питомих дебітах до 0,1 л/с.

Водоносний горизонт в нижньо-, середньоолігоценових відкладах межигірської світи – P_{3mz} Водоносний горизонт межигірської світи розповсюджений на великій площі в центральній і північній частині аркушу, в південно-східному і південно-західному куті аркушу на невеличких ділянках. Майже відсутній гори-

зонт межигірської світи на території Вовчанського виступу і в долинах річок Самара, Бик, Сухий Бичок, Тернівка, Вовча, Солона, Мокрі Яли, Водяна, а також у багатьох балках.

Підстеляється слабопроникними або водотривкими відкладами київської світи, карбону, кристалічними породами докембрію, покривається пісками верхнього олігоцен-міоцену. Горизонт приурочений до глауконітових пісків різнозернистого складу і щільності з прошарками і лінзами пісковиків. Піски в основному дрібно- і тонкозернисті, слабоглинисті. На лівобережжі і, частково, на правобережжі р. Самари від західної частини аркушу до злиття річок Самара і Бик, а також поблизу кристалічних порід вони різнозернисті до середньо- і крупнозернистих.

Води межигірського водоносного горизонту за фізичними якостями без кольору, без запаху, з температурою 10-14 °С. Хімічний склад мінливий. В північній частині аркушу переважно сульфатно-гідрокарбонатні кальцієво-натрієві води, а в південній – хлоридно-сульфатні кальцієво-натрієві. Серед вод цих типів зустрічаються сульфатні магнієво-кальцієво-натрієві, гідрокарбонатні, хлоридно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієві. Мінералізація коливається від 0,3 до 6,4 г/дм³, частіше становить 0,8-2 г/дм³. Жорсткість становить 5-46,82 ммоль/дм³, переважає 17 ммоль/дм³. Води з максимальною мінералізацією і жорсткістю спостерігається там, де горизонт залягає безпосередньо на піщано-глинистих породах карбону, тобто в північній частині свого розповсюдження.

Режим водоносного горизонту межигірської світи на більшій частині території природний, де на графіках спостерігається весняне підвищення рівня з амплітудою 0,4-0,5 м і літньо-осіннє зниження з амплітудою 0,5-0,7 м. Але в межах Першотравенського водозабору розвинута депресійна воронка 7x10 м (станом на 2000 р.) з глибиною зниження рівня 8,4 м. У зв'язку зі скороченням водовідбору і закриттям шахти "Першотравнева" можливе підвищення рівнів до свого природного значення. Поблизу балки Косьмінна спостерігається підвищення рівня (0,19-0,47 м) порівняно з природним, внаслідок фільтрації шахтних вод.

Водоносний горизонт в середньо-, верхньоєоценових відкладах київської та обухівської світи – P_{3kv-ob}. Підстеляється горизонт відкладами косянецької світи, з водами якої має гідравличний зв'язок, перекривається зазвичай породами межигірської світи. Водоносні відклади представлені глауконіт-кварцевими, алевритистими, дрібно- і середньозернистими пісками, знизу гравелітами, глинами (обухівська світа) пісками і пісковиками, інколи опоками (київська світа). Інколи відклади водоносного горизонту представлені повністю пісковиками. Потужність водоносного горизонту в середньому складає 17-20 м, часто сягає 30-35 м.

Коефіцієнти фільтрації горизонту, що розраховані за результатами відкачок, змінюються від 0,0019 до 15,43 м/добу. Водозбагаченість комплексу дуже різноманітна і залежить від літологічного складу водомістких порід, від ступеню їх тріщинуватості. Дебіти розвідувально-експлуатаційних свердловин, обкладаних на пісковики, складають 1,9-31 л/с. На ділянках, де пісковики глинисті, дебіт свердловин не перевищує 1-1,2 л/с. Водозбагаченість пісків складає 1,1 л/с, алеврити мають низьку водозбагаченість – соті частини л/с. Вищими дебітами відзначаються свердловини облаштовані на опоки і опокovidні пісковики (0,2-0,8 л/с).

Глибина залягання горизонту 0-30 м в долинах, 70-90 м на вододільних просторах. Рівень води майже повсюди вище покрівлі на 40-45 м, в основному, на 18-20 м. На схилах річок Водяна, Тернівка, Гнилуша, Бик, Самара зустрічаються води описуваного комплексу з вільною поверхнею. В долині р. Тернівка в районі села Нова Дача свердловини, які розкрили відклади середнього-верхнього еоцену фонтанували, дебіт самовиливу 0,1-0,4 л/с з висотою 3-5 м.

Водотривка товща середньо еоценових відкладів київської світи – P_{2kv} – розвинена в північно-західному куті аркушу, на правобережжі Тернівки, Самари. Вона представлена в'язкими і щільними глинами з окремими прошарками глинистих пісковиків потужністю 0,3-0,4 м. Загальна потужність товщі 15-19 м. Ця товща відокремлює підземні води утворень межигірської і косянецької світи.

На площах, де присутні київські глини, костянецький водоносний горизонт захищений від проникнення забруднюючих речовин.

Водоносний горизонт у середньоєоценових відкладах костянецької світи – P₂ks – розповсюджений у північній частині аркушу. Залягає горизонт на водотривких і водоносних породах юри, тріасу, карбону і докембрію. Зверху він зазвичай перекритий на більшій частині території піщаними породами київської світи, потім неогеновими відкладами та ін. Складений він глауконітовими, дрібно- і тонкозернистими, іноді глинистими і вуглистими пісками, на окремих ділянках з прошарками гравію і гальки (базальний шар). Потужність водомісткого шару 10-25 м. Поблизу меж розповсюдження костянецької світи вона зменшується до 2-7 м, на лівобережжі Самари сягає 30-36 м.

Водозбагаченість дрібно- і тонкозернистих пісків порівняно невисока. Коefіцієнти фільтрації горизонту змінюються від 0,07 до 4,7 м/добу. Дебіти свердловин знаходяться у межах 0,01-4,9 л/с, у більшості випадків становлять 0,5-1,5 л/с. Дебіт свердловини № 129, яка розкрила різнозернисті піски бучацької серії в межах Вовчанського виступу склала 6 л/с при зниженні рівня на 20,9 м. Найвищими дебітами характеризуються безфільтрові свердловини, глибина залягання горизонту коливається від 10-50 м в долинах, до 100-150 м на вододільних рівнинах.

Водотривка товща середньоюрських відкладів підлужної світи – J₂pd – розповсюджена біля північної рамки описуваного аркушу. Вона представлена сірими, темно-сірими аргілітами, алевролітами з невеличкими прошарками (потужністю 0,4-2 м) дрібнозернистих глинистих пісків і пісковиків. Потужність товщі не перевищує 30- 130 м. Ця товща відокремлює води середнього еоцену і костянецької світи від вод в середньоюрських породах черкаської світи.

Водоносний комплекс в середньоюрських відкладах черкаської світи – J₂сr – розповсюджений смугою шириною 7-8 км вздовж північної рамки аркушу. Він залягає на водотривкій і глинистій товщі козулинської світи середньої юри, перекривається костянецькими і костянецько-четвертинними алювіальними відкладами. Водомісткі утворення черкаської світи представлені тонко- і

дрібнозернистими, рідше різнозернистими, інколи глинистими пісками і пісковиками потужністю 8-10 м, які залягають серед аргілітів і алевролітів. Загальна потужність обводнених утворень кожулинської світи 40-75м.

Водозбагаченість комплексу непостійна. Коефіцієнти фільтрації водомістких утворень комплексу, які розраховані за даними дослідних відкачок склали 0,3-14 м/добу. Дебіти свердловин змінюються в межах 0,07-5,5 л/с, питомі дебіти – 0,008-0,78 л/с. Глибина залягання комплексу складає 30-50 м в долинах Самари, Тернівки і Гнилуши, 100-130 м на вододільних рівнинах. Води скрізь напірні з величиною напору 70-125м. П'єзометричний рівень на схилах долин встановлюється на глибинах 15-20 м. На заплавах свердловини фонтанують 1-2 м над поверхнею землі. Абсолютні відмітки коливаються від 80 до 102 м. Рівні в свердловинах часто не пов'язуються між собою, що вказує на роз'єднання окремих водоносних шарів.

Водотривка товща нижньо- і середньоюрських відкладів кожулинської світи – $J_1.kz$ – розповсюджена в північній частині аркушу, складена аргілітами і алевролітами і рідкісними малопотужними прошарками пісків, пісковиків і вапняків. Потужність до 55 м на півдні і до 35 м на півночі. Ця товща слугує водотривком між водоносним комплексом середньоюрських відкладів і водоносним горизонтом у відкладах верхнього тріасу новорайської світи.

Водоносний горизонт у верхньотріасових відкладах новорайської світи – $T_3.nr$ – розвинений в північній частині аркушу. Залягає він на строкато барвистих глинах протопівської світи верхнього тріасу, перекривається костянецькими відкладами. Водомісткі утворення в західній частині їх розповсюдження представлені глинами, які перешаровуються дрібнозернистими пісками і пісковиками. На південний схід і схід глини заміщаються погано відсортованими різнозернистими каоліністими пісками і пісковиками з багаточисельними галечниковими прошарками в основі розрізу. Потужність горизонту зростає з заходу на схід від 3 до 25 м.

Глибина залягання горизонту змінюється від 60-70 м на виході під палеогенові відклади, до 160-200 м в зоні максимального заглиблення. Горизонт на-

пирний, з величиною напору від 28 м на півдні до 160 м на півночі. П'єзометричні рівні на заплавах складають 18-25 м вище поверхні землі, а у межах вододільних рівнин знаходяться на глибинах 50-54 м. Абсолютні відмітки складають 79-105 м зі зменшенням на захід і до долини р. Самари. За санітарними вимогами води чисті, ознак забруднення не мають. На виході води ново-райської світи хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатні і гідрокарбонатно-сульфатні кальцієво-натрієві з мінералізацією 0,7-1,0 г/дм³. По мірі заглиблення горизонту вони переходять в сульфатно-хлоридні кальцієво-натрієві з мінералізацією 1,8-2,5 г/дм³. Води жорсткі і дуже жорсткі, частіше мають загальну жорсткість 7-15 ммоль/дм³.

Водоносний комплекс у верхньотріасових відкладах протопівської світи – T_{3pr} – розповсюджений на невеликій площі (приблизно 3,5 км²) в північно-східному куті аркушу. Комплекс залягає на строкатокольорових глинах сребрянської світи на глибині 65-85 м. Товща комплексу складається з глин з провертками пісків, пісковиків. В нижній частині розрізу пісковики переважають над глинами. Загальна потужність комплексу не перевищує 33 м. Дебіти свердловин, пробурених на площі аркушу М-37-XXXI поблизу східної границі описуваної території, не перевищують 0,01-0,02 л/с при зниженні рівня на 4-5 м. Рівень води в свердловинах встановлюється на 10-15 м вище покрівлі горизонту на відмітках 110-115 м. Відомостей про хімічний склад вод протопівської світи немає.

Водоносний комплекс в нижньо-середньотріасових відкладах верхньосеребрянської підсвіти – T_{1-2sr2} – розповсюджений у північній частині аркушу. Залягає комплекс на відкладах нижньосеребрянської підсвіти, перекривається кайнозойськими відкладами. Водомісткі породи представлені слабглинистими і вапняковими пісковиками у вигляді лінз і провертків потужністю 1-3 м серед аргілітів і алевролітів. Загальна потужність обводненої товщі змінюється з півдня на північ від 10 до 50 м по мірі заглиблення. Водозбагаченість комплексу низька. Дебіти свердловин не перевищують 0,2-0,4 л/с, питомі – сотих частин л/с. Водоносний комплекс практичного значення немає, за винятком схід-

ної частини, де він може експлуатуватись разом з водами нижньосеребрянської світи. Взагалі піщано-глиниста товща є слабопрониклою. Вона відокремлює водоносні горизонти відкладів новорайської світи і піщано-гравійно-галькові відклади серебрянської світи.

Водоносний комплекс в нерозчленованих нижньо-верхніх кам'яновугільних відкладах кальміуської-ісаєвської світ – $C_1^2-C_{2-3}^1$ – перешарування пісковиків, алевролітів, аргілітів та малопотужних прошарків вапняків і вугілля має найбільш широке розповсюдження на описуваній території, відсутній лише на площі Вовчанського виступу. Він приурочений до теригенних відкладів, які утворились у період від візейського ярусу нижнього карбону до касимівського ярусу його верхнього відділу включно і стратиграфічно підрозділяються на 13 світ (комплексів) від C_1^2 до C_{2-3}^1 . Ці відклади представляють собою потужну, доволі одноманітну 3-4 км, товщу з ритмічним перешаруванням аргілітів, алевролітів, пісковиків, вапняків і малопотужних прошарків вуглистих сланців і вугілля. Залягаючи на вапняковій товщі нижнього карбону вони утворюють моноклиналь, ускладнену чисельними порушеннями з падінням порід на північний схід під кутом від $2-4^0$ до $10-15^0$.

Водоносний комплекс $C_1^2-C_{2-3}^1$ перекривається на півночі піщано-гравійними відкладами серебрянської світи, в середній і південній частинах аркушу – відкладами палеогену, неогеновим і четвертинним алювієм з підземними водами, з якими він в зоні вивітрювання кори карбону має добрий гідравлічний зв'язок (в зоні гірничих робіт спостерігається зниження рівнів кайнозойських водоносних горизонтів).

Водозбагаченість комплексу не однакова, як по площі, так і по розрізу і взагалі невелика. Дебіти численних свердловин коливаються від 0,04 до 12 л/с при зниженні рівнів на 30-40 м, а питомі дебіти від 0,002 до 2,7 л/с. У балках, на лівобережжі річки Бик відмічаються джерела з дебітом 0,1-1,6 л/с. Дебіти вище 1,5-2 л/с встановлені у свердловинах пробурених у слабкоглинистих і досить потужних пісковиках і вапняках світ $C_1^4-C_2^4$ в долинах річок Водяної, Гнилуші, Бик, де вони вивітрені і тріщинуваті. В решті випадків дебіти свердловин не пе-

ревищують 1-1,5 л/с і частіше складають 0,1-0,8 л/с при зниженнях на 10-20 м і більше. Обводнення порід карбону в тектонічних порушеннях залежить від їхнього характеру. На ділянках плікативних порушень особливо крупних флексурних перегинів спостерігається підвищена тріщинуватість і, як наслідок, підвищена водозбагаченість на значних відстанях. Розривні порушення обумовлюють підвищену тріщинуватість лише поблизу розломів.

Глибина залягання водоносного комплексу різна. В східній частині водоносний комплекс виходить під алювіальні відклади, на півночі аркушу заглиблюється на 200-250 м під мезозойські відклади.

Води кам'яновугільного комплексу майже повсюди напірні з підвищенням рівня над покрівлю від декількох десятків до 161 м, в зоні вивітрювання не перевищують 56 м. Абсолютні відмітки рівня вод зони вивітрювання поблизу західної границі аркушу, на заплаві р.Самари 64 м, в північно-східному куті аркушу на вододільній рівнині річок Бик і Гнилуша 130-139 м. Рухаються води в напрямку долини р.Самари і її притоків.

Водоносний комплекс в нерозчленованих нижньокам'яновугільних відкладах мокроволновахської серії – C_1^1 – тріщинні закарстовані вапняки, пісковики, поширений у 3-5 кілометровій зоні вздовж північно-східних схилів Вовчанського виступу. Вапнякова товща залягає на схованокристалічних доломітизованих вапняках новотроїцької світи девону і похило заглиблюється під кутом $2-4^{\circ}$ на північний схід під більш молоді утворення карбону на глибину 3-4 км. На виходах вона вкрита сипучими утвореннями кайнозою потужністю в долинах річок 10-20 м, в межах вододільних рівнин – до 100 м і більше.

Водомісткі відклади мокроволновахської серії карбону представлені тріщинуватими вапняками з прошарками пісковиків і аргілітів потужністю до 1 м, кількість яких збільшується в західному напрямку. В основі вапнякової товщі залягають щільні пісковики потужністю 7-15 м. Розкрита потужність вапнякової товщі коливається в межах 5-138 м.

Водозбагаченість вапнякової товщі обумовлена тріщинуватістю і закарстованістю, які більш розвинені вздовж тектонічних порушень. У порівнянні з

рештою карбонівих відкладів вона характеризується підвищеною водозбагаченістю. Коефіцієнти фільтрації за даними відкачок змінюються у межах 0,03-25,3 м/добу. Дебіти свердловин, пробурених поблизу тектонічних порушень 36-64 л/с при зниженні рівня води на 7-10 м. Дебіти свердловин поза межами тектонічних порушень не перевищують 1-1,2 л/с при зниженні рівня на 10-15 м. Водозбагаченість зменшується також зі сходу на захід і з глибиною. Глибина водомістких порід 0,6-118 м. Води вапнякової товщі напірні, п'езометричні рівні складають 0,5-10 м в долинах і 35-45 м в межах плакорів. Абсолютні відмітки зменшуються в напрямках до долини Самари і Вовчої від 111 м до 63 м. Води мокроволнових серії в санітарному відношенні чисті і здорові. Ознак органічного забруднення немає, нітрати і нітроти в їхньому складі відсутні.

Описуваний комплекс захищений на вододільних рівнинах і слабозахищений або незахищений на їх схилах і в долинах річок. Живлення горизонт вапнякової товщі отримує виключно за рахунок палеоген-неогенових водоносних горизонтів і кристалічних порід Вовчанського виступу. Розвантаження відбувається, очевидно, в горизонти вивітреної зони карбону. Режим в межах описуваного аркушу, в основному, природний. На Східно-Павлоградській і Межевській ділянках родовищ підземних вод вапнякової товщі вищеописаний комплекс використовується для господарсько-питного забезпечення.

Водоносний комплекс в тріщинній зоні кристалічних докембрійських утворень і продуктів їх вивітрювання – РЄ – розповсюджений в південно-західній частині аркушу в межах Вовчанського виступу і на його північно-східних схилах. Їхнім колектором слугують найбільш вивітрена і тріщинувата частина архею, представлена в основному мігматитами, гнейсами, гранітами. За даними керну свердловин глибина тріщинуватості коливається в межах від 10-15 м до 80-90 м, в середньому не перевищує 50-60 м. Тріщинуватість більша там, де архейські породи близько підходять до денної поверхні. На північно-східних схилах Вовчанського виступу, де кристалічні породи занурюються під товщу палеоген-неогенових відкладів, потужність тріщинної зони не перевищує 30-33 м.

Загальні інженерно-геологічні умови кам'яновугільних родовищ зумовлюють не тільки розташування шахтних стволів, але і в значній мірі способи розробки та заходи з техніки безпеки при проведенні гірничих виробок. Вугільні родовища Донецького басейну характеризуються рядом специфічних особливостей гірничо-геологічних умов розробки. Широке майданні поширення пластів або покладів вугілля при їх малій потужності та похилому заляганні, порівняно великій глибині зони вивітрювання (середня 60 м) і міцності порід роблять доцільним розробку вугілля закритим способом, навіть на площі оголеного карбону, як похилими, так і вертикальними стволами. Інженерно-геологічні умови проходки стволів по кам'яновугільним відкладам дуже різноманітні. Важливе значення при цьому мають стратиграфічний і петрографічний фактори, ступінь метаморфізму порід і вугілля, вторинні пост-діагенетическі зміни порід.

Вивітрювання порід. Від потужності зони і ступеня вивітрювання гірських порід залежить вирішення низки практичних завдань із забезпечення стійкості гірничих виробок. Глибина зони вивітрювання змінюється в значних межах залежно від складу порід, здатності їх до вилуговування, епігенетичні перетворень, ступеня метаморфізму. В результаті спостережень встановлено, що збільшення потужності зони вивітрювання простежується у напрямку до долин річок на площі відкритого Донбасу і загальне її зменшення під покровом мезокайнозойських відкладень. В середньому глибина зони вивітрювання порід Донбасу становить 30 – 60 м, максимальна до 100 м. Швидкість утворення зони вивітрювання в гірничих виробках розташованих в слабких пісковиках, алевролітах, аргілітах, деяких вапняках вимірюється десятками сантиметрів на рік. Найбільш інтенсивно вивітрювання відбувається на ділянках тектонічних порушень та в зонах тріщинуватості. Головною зовнішньою ознакою вивітрювання порід в гірничих виробках є інтенсивність їх осипання з покрівлі і стін.

Вторинні зміни гірських порід. Поряд з тектонічної тріщинуватістю при веденні гірничих робіт під впливом внутрішніх сил стиснення і розтягування утворюється нетектонічна. Такі тріщини (всихання, нашарування, вивітрюван-

ня) дуже різноманітні і зустрічаються повсюдно. У підземних виробках найбільш часто вони встановлюються на глибинах 250 – 300 м від поверхні в покрівлі, ґрунті, стінках і забої. Протяжність штучних тріщин невелика (1 – 3 см), ширина – до 1 – 2 мм. Потужність зони тріщинуватості може досягти великих значень.

Як правило, чим вище міцність порід і більше потужність шарів, тим менше їх тріщинуватість. Наприклад, в Червоноармійському районі в покрівлі очисних виробок ця зона складає 17 – 25 м, в ґрунті 5 – 10 м, в Донецько-Макіївському районі відповідно 11 – 26 м і 8 – 10 м, в Чістяково-Сніжнянському – 10 – 55 м і 20 м. В очисних виробках штучні тріщини зазвичай обумовлюють обвалення порід у покрівлі. Вони сприяють також прояву помилкової покрівлі, утворенню вивалів, зрушенню блоків порід, інтенсивному прояву гірського тиску, деформаціям кріплення. Причому, при наявності природної тріщинуватості руйнування порід різко зростає.

Метаморфізм порід вугленосної товщі. Проходка шахтних стволів значною мірою визначаються ступенем метаморфізму порід вугленосної товщі. Вугілля і вміщуючі породи в геологічному розрізі утворюють єдиний комплекс осадових утворень. Процес їх зміни протікає одночасно, але проявляється неоднаково в зв'язку з різним матеріальним їх складом. Прийнято вважати, що перша стадія вуглефікації – перетворення торфу в буре вугілля – це стадія діагенеза, а друга – подальше їх зміна від бурих до антрацитів – метаморфізму. Встановлено, що підвищення ступеня метаморфізму вугілля проявляється в зменшенні вмісту в його складі летючих компонентів і вологи, збільшенні вмісту вуглецю та щільності органічної маси, в підвищенні його міцності. Відповідно до цього виділяються певні технологічні марки вугілля, що відображають ступінь їх метаморфізму. У вугленосній товщі Донбасу виділяють наступні зони за ступенем метаморфізму порід (відповідно за марочним складом вугілля), що відображають основні риси інженерно-геологічних умов проходки:

а) зона сильно метаморфізованих порід, що вміщують пласти полуантрацитів (ПА) і антрацитів (А). Породи цієї зони поширені на більшій частині від-

критого Донбасу і на площі їх східного занурення під молодші відкладення. Тут все породи мають високу міцність навіть в зоні вивітрювання. Середня величина тимчасового опору стисненню пісковиків становить 1029 кг/см^2 , поза зоною вивітрювання – 1300 кг/см^2 , алевролітів – 1000 кг/см^2 , аргілітів – 580 кг/см^2 . Причому більш висока міцність пісковиків приурочена до середньої частини шару. У покрівлі та ґрунті міцність їх знижується, що обумовлено поступовим переходом до менш міцних алевролітів і аргілітів. Потужність зони вивітрювання коливається від 10 до 65 м, рідко до 80 м. Умови проходки шахтних стволів в сильно метаморфізованих породах сприятливі.

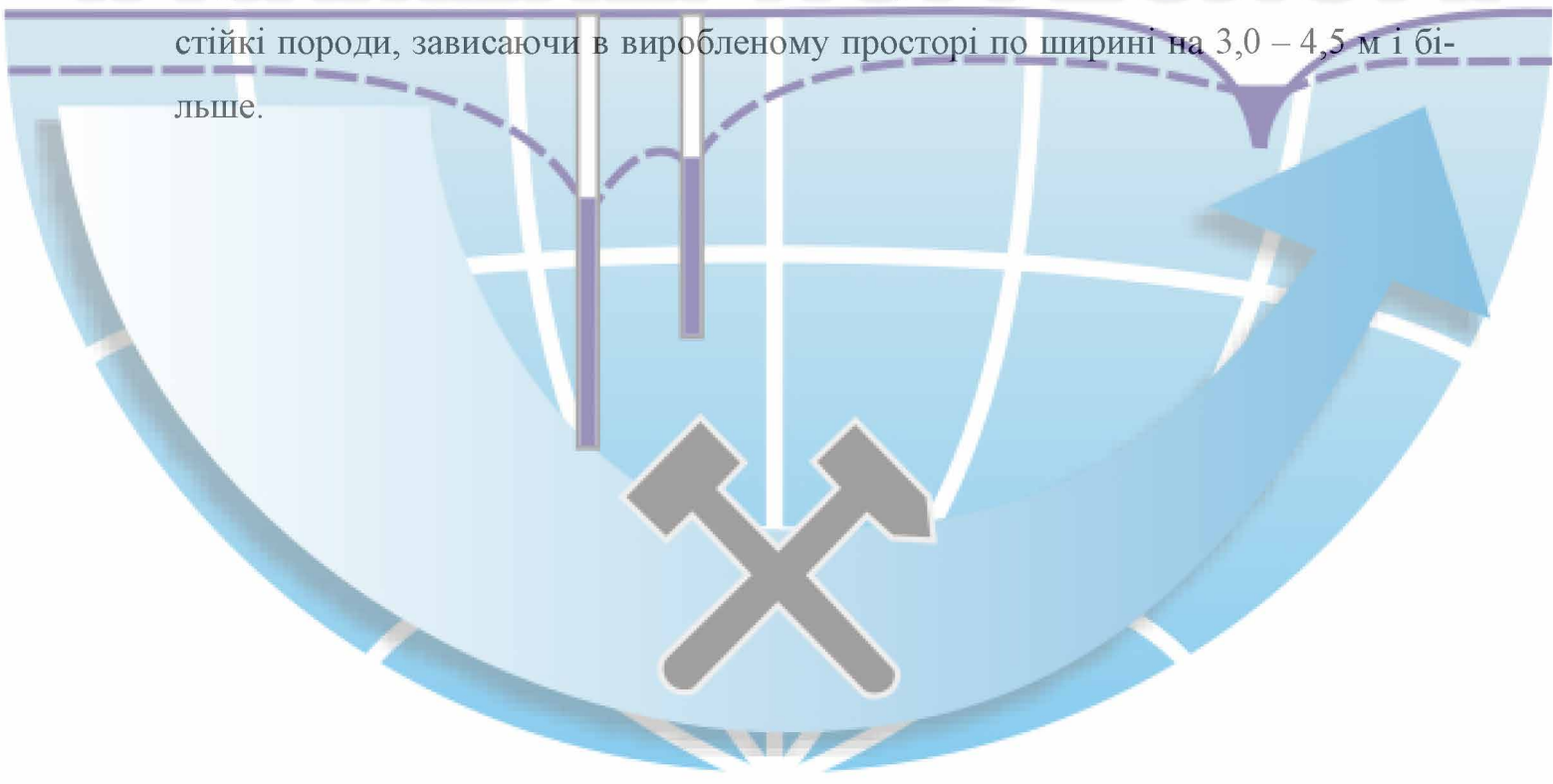
б) зона середнього ступеня метаморфізму, що вміщає вугілля марок Т (худі), ОС (пісне-спікаючієся), К (коксіві) і Ж (жирні) приурочені до північного поясу дрібної складчастості Донбасу і тектонічно складним районам західній частині басейну. Породи цієї зони мають більш низькі показники міцності і відносяться до середньостійких. При розтині їх стволами дають деформації стінок (вивалі окремих блоків, обмежені тріщини), а при перетині тектонічних порушень з великими зонами дроблення і вивітрювання спостерігаються осипи. Глибина розвитку тріщинуватості вкрай мінлива, в відкритих районах – 75 м, в закритих районах – 350 – 600 м. Глибина зони вивітрювання вугілля дорівнює 30 – 40 м. Тут вугілля і породи мають знижену механічну міцність і стійкість, набухають і руйнуються. Аргіліти і алевроліти стають в'язкими і пластичними, а пісковики часто перетворюються в пісок. Межа міцності пісковиків на стиск коливається від 480 до 1560 кг/см^2 . Пученіє в аргілітах спостерігається, починаючи з глибини 300 м, в інших породах – з глибини 800 м і більше. В цілому умови проходки стволів шахт можна вважати задовільними.

в) зона слабого метаморфізму порід, що вміщають вугілля марок ДК, Д і Г (газовий) поширена в межах західних, північно-західних і північних районів Донбасу. Відрізняється великим вмістом вапняків і розвитком слабо метаморфізованих аргілітів (в районах розвитку вугілля марок Д і Г) і ущільнених глин (в районах розвитку вугілля марки ДБ). Породи тут мають низьку щільність, міцність і стійкість. Глинисті породи легко розмокають у воді і мають високу

пластичність. У зоні вивітрювання тимчасовий опір на стиск вкрай низькій і становить 13 – 15 кг/см². Деякі водоносні пісковики можуть переходити при розтині в пливуні піски, а глини і аргіліти в глинисту масу. У процесі проходки стволів шахт гірські породи стінок деформуються, утворюються вивали порід, приурочені в основному до глибин 200 м. Крім порушення міцності порід, спостерігається їх обводнення, особливо в зонах розвитку розривних порушень.

Інженерно-геологічні умови проведення підготовчих очисних виробок на вугільних родовищах Донбасу в основному обумовлені умовами проходки шахтних стволів. Для прогнозування інженерно-геологічних умов можуть застосовуватися різні методи, серед яких найбільше застосування знаходить метод аналогій, який полягає в перенесенні даних, отриманих при експлуатації шахт, на проєктовані шахтні поля або їх ділянки. Для оцінки стійкості покрівлі по методу аналогії часто застосовується така типізація: I тип – нестійкі породи (часто є помилковою покрівлею); II тип – слабостійкі породи, які при виїмці вугілля обрушаються в окремих місцях; III тип – породи середньої стійкості, IV тип – стійкі породи, зависаючи в виробленому просторі по ширині на 3,0 – 4,5 м і більше.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



3. ГІРНИЧОТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШАХТ РАЙОНУ

За геологічними, гідрогеологічними й інженерно-геологічними умовами розробки вугілля територія Західного Донбасу може бути поділена на 4 зони.

До *першої зони* відноситься смуга шириною 5-7 км від станції Межова через м. Павлоград у сторону до м. Новомосковська. Вугільні пласти практично повсюдно виходять під бучацькі піски потужністю 20-25 м, які мають властивості пливунів. Вивітрювання продуктивних кам'яновугільних відкладів спостерігається до глибини 80-100 м. Тектонічні порушення, найчастіше невеликої амплітуди, збільшують ступінь взаємозв'язку водоносного горизонту бучацьких відкладів із водоносним горизонтом кам'яновугільних відкладів. Вугільні шари найбільш обводнені, породи менш стійкі, тріщини зон тектонічних порушень слабо закольматовані й заповнені водою. В умовах цієї зони знаходяться шахти східної групи.

До *другої зони* відноситься смуга шириною 2-3 км, яка примикає безпосередньо до першої зони по лінії сіло Богданівка-Тернівська. Ширина цієї зони збільшується на схід від сел Богданівка і Петропавлівка. Ця зона за умовами розкриття вугільних пластів найбільш сприятлива. Вугільні пласти практично не виходять під бучацькі відклади й відокремлені від них водонепроникними безвугільними кам'яновугільними відкладами. Кількість тектонічних порушень значно зменшується, а наявні мають велику амплітуду. Породи, що вміщують вугілля, а також вугільні пласти практично не вміщують води. В умовах цієї зони знаходяться шахти центральної групи.

Третя зона розповсюджена на північ й північний-схід від другої зони. Південна границя зони визначається південною границею розповсюдження тріасових й юрських відкладів, північна – можлива глибина розробки вугільних пластів. Потужність відкладів досягає від 120 м до 300 м. Окрім водоносного горизонту бучацьких відкладів розповсюджені ще водоносні горизонти тріасових й юрських відкладів. Умови відпрацьовування вугільних шарів кращі, ніж у перших двох зонах. Породи невивітрілені, більш стійкі й практично не утри-

мують воду. Тектонічні порушення закольматовані. У верхній частині кам'яновугільних відкладів зустрічаються пласти тріщинуватих вапняків, що утримують воду.

Четвертій зоні притаманні усі складні елементи попередніх зон. Границі зони: на сході – лінії, що поєднує міста Павлоград і Лозова; на заході – Карабінівський схід; на півдні – вихід на поверхню кам'яновугільних відкладів (вугільний пласт C_1); на півночі – по лінії сіл Вербки, В'язовок і Кочережки.

Центральна група шахт. До центральної групи шахт відносяться шахти Благодатна, Павлоградська, ім. Героїв Космосу, Тернівська, Західно-Донбаська, Самарська. Водоприплив до гірничих виробок формується, головним чином, за рахунок дренавання водоносного комплексу кам'яновугільних відкладів. Формування водоприпливів відбувається під час розкриття водоносних горизонтів водопровідними тріщинами, що утворюються після обвалення покрівлі. Тріщини починають розповсюджуватися безпосередньо попереду лінії очисного забою в межах зони опорного тиснення. Висота розповсюдження водопровідних тріщин попереду очисного забою досягає 10 м, якщо виймається пласт потужністю 0,7-1,8 м. Максимальна висота розповсюдження водопровідних тріщин досягається на значному віддаленні від забою.

Шх. Благодатна. Початок водовідливу – 1966 р., експлуатації – 1971 р. У межах шахтного поля робочу потужність мають 8 вугільних пластів, кам'яновугільні відклади розкриті на глибину біля 550 м. Пласт C_7^H відпрацьовувався з 1972 р., C_5 – з 1986 р., C_1 – з 1987 р., C_4 – з 1997 р. У сучасний період відпрацьовуються пласти – C_1 й C_5 . За період експлуатації водоприплив змінювався від 1 670 м³/добу (1971 р.) до 7 910 м³/добу (1994 р.), у 2006 р. – 5 520 м³/добу. Сучасний стан на шахтах Західного Донбасу і перспектива розвитку гірничих робіт характеризується даними, наведеними в табл. 3.1 [12].

Підземні води з мінералізацією 3-9 г/дм³, які поступають до гірничих виробок, свідчать про наявність гідравлічного взаємозв'язку між водоносними горизонтами кам'яновугільних і покривних відкладів. Збільшення глибини відпрацьовування сприяє надходженню до гірничих виробок з відпрацюванням ву-

гільних шарів C_5 і C_1 високо мінералізованих вод кам'яновугільних відкладів (15-31 г/дм³) [21].

Таблиця 3.1 – Сучасний стан і перспектива збільшення глибини розробки

Шахта	Число пластів, що відпрацьовуються	Глибина ведення робіт, м	Очікувана глибина ведення робіт, м	Середній шахтний водовідлив, тис. м ³ /добу
«Тернівська»	4	216	370	9
«Павлоградська»	4	230	400	6
ім. Героїв космосу	3	424	760	0,9
«Благодатна»	3	331	340	5
«Степова»	3	400	560	23
«Ювілейна»	2	368	500	17
«Самарська»	2	195	310	10
«Дніпровська»	3	290	500	7
«Західно-Донбаська»	3	567	600	1,5
ім. Сташкова	3	343	500	36

Шх. Павлоградська. Початок водовідливу – 1963, експлуатації – 1968 р. Вугільні пласти залягають на глибині 160-400 м. Промислове значення мають пласти C_8^H , C_7^H , C_6 , C_5 , C_4^H , C_1 . За час експлуатації загальний водоприплив до шахти змінювався від 1 030 м³/год (1969 р.) до 8 010 м³/год (1992 р.), 6 096 м³/добу (2006 р.).

Шх. ім. Героїв Космосу. Початок водовідливу – 1967 р., експлуатації – 1979 р. Промислове значення мають 8 вугільних пластів. Одночасно відпрацьовуються три пласти C_{11} , C_{10}^e , C_9 . Потужність пласта C_{11} – 0,84 м, C_9 – від 0,45 до 1,1 м [13]. Уведення в експлуатацію нових пластів поки що не передбачається. Загальношахтний водоприплив за весь період експлуатації шахти змінювався від 960 м³/добу (1994 р.) до 1 510 м³/добу (1979 р.), у 2006 р. – 840 м³/добу, мінералізація шахтних вод – 30-40 г/дм³.

Гідрогеологічні умови складні – на ділянці шахти знаходиться більш 7 водоносних горизонтів й комплексів. Вугільні шари, що розкриті гірничими виробками, не водозбагаченні [14].

Шх. Тернівська. Початок водовідливу – 1957 р., експлуатації – 1962 р. Робочої потужності досягають 8 вугільних пластів. Відстань між пластами складає 30-60 м. Головний фактор, що визначає обводнення гірничих виробок й формування хімічного складу підземних вод є структурно-геологічний. Пласти C_4 , C_5 , C_6 не мають взаємозв'язку з горизонтами покривних відкладів. Пласти, що розроблюються, відокремлені від водоносного горизонту бучацьких відкладів великими тектонічними порушеннями. Обводненим є тільки пласт C_8^H , що виходить безпосередньо під бучацькі відклади [17]. У зв'язку з кольматацією тріщин водоприток із часом зменшується. Загальношахтний водоприток за весь період експлуатації змінювався від 828 м³/добу (1964 р.) до 7 572 м³/добу (2000 р.), у 2006 р. – 9 960 м³/добу.

Шх. Західно-Донбаська (кол. шх. ім. ЛКУ). Початок водовідливу – 1967 р., експлуатації – 1980 р. Робочої потужності досягають 8 пластів: C_{11} , C_{10}^6 , C_9 , C_8^6 , C_8^H , C_7^H , C_5 і C_1 [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Потужність вугільних пластів 0,55-1,05 м. Для пластів C_{10}^6 , C_6 , C_1 характерним є розщеплення, після чого вони втрачають своє промислове значення. Пласти C_8^6 й C_8^H зближені, відстань між ними складає 7 м. Загальношахтний водоприток за весь період експлуатації змінювався від 600 м³/добу (1979 р.) до 1 680 м³/добу (1988 р.), у 2006 р. – 1 248 м³/добу.

Шх. Самарська. Початок водовідливу – 1965 р., експлуатації – 1973 р. Робочої потужності досягають 5 вугільних пластів: C_6 , C_5 , C_4^2 , C_4 , C_1 . Пласт C_6 має потужність 0,6-1,18 м (середня 0,77 м). Потужність вугільного пласта C_5 – 0,7-1,58 м і залягає він на 30 м нижче за вугільний пласт C_6 . Потужність пласта C_4 – 0,64-1,1 м і залягає він на 40 м нижче за пласт C_5 . Пласт C_1 залягає на 40 м нижче за пласта C_4 і має потужність 0,8-1,5 м. Спочатку відпрацьовувалися пласти C_4 і C_1 в уклонній частині поля. До 1985 р. гірничі роботи в уклонній частині було закінчено. Після 1990 р. почалося відпрацьовування пластів C_5 і C_4^2 .

Відпрацьовування вугільного пласта C_4 характеризувалося незначним водопритоком (до 20 м³/год). Водоприток по пласту C_1 досягав 50 м³/год і формувався, головним чином, за рахунок підземних вод потужного шару піскових

ків (до 40 м), що залягають у покрівлі. Закінчення робіт в уклонній частині поля стабілізувало водопріплив і його величина по пласту C_4 зменшилася до 1 м³/год, а по пласту C_1 – до 17 м³/год. Загальношахтний водопріплив за весь період експлуатації змінювався від 830 м³/добу (1973 р.) до 10 780 м³/добу (2000 р.), у 2006 р. – 10 334 м³/добу.

У північно-західній, східній і південно-західній частинах шахтного поля спостерігаються великі тектонічні порушення – Богданівський, Богуславський, Південно-Тернівський скиди. Вугільні пласти на окремих ділянках шахтного поля мають гідравлічний зв'язок із покривними відкладами.

Східна група шахт. До східної групи шахт відносяться шах. Першотравнева, Ювілейна, Степова, Дніпровська, ім. Сташкова, де пласти, що відпрацьовуються, виходять під покривні відклади. Гірничими виробками дренається не тільки водоносний комплекс кам'яновугільних відкладів, а й буцацьких, київських, харківських, берекських, четвертинних відкладів теж.

Шах. Першотравнена. Початок водовідливу – 1960 р., початок експлуатації – 1963 р. Усі вугільні шари й тектонічні порушення обводнені. З початком розроблення з'являються тріщини мікротектоніки. Тріщинуватість, що пов'язана з процесами діагенезу породи, викликає зрушення блоків породи. При веденні гірничих робіт із повним обваленням покрівлі порушується рівновага порід. Відпрацьовуються вугільні пласти C_1 і C_2 . Глибина відпрацьовування пласта C_1 складає 26 м [17]. При потужності пласта 0,7 м зона тріщинуватості досягає водозбагачених порід [18]. Водопріплив за пластами відрізняється у західній й східній частині шахтного поля. Це пояснюється наявністю в східному крилі Південного скиду, який стримує приплив підземних вод буцацьких відкладів у гірничі виробки. Загальношахтний водопріплив за весь період експлуатації змінювався від 5 616 м³/добу (1965 р.) до 14 424 м³/добу (1971 р.), у 2005 р. – 8 484 м³/добу. У червні 2005 р. водовідлив зупинено, йде відновлення рівня підземних вод.

Шах. Ювілейна. Початок водовідливу – 1965 р., експлуатації – 1970 р. Робочої потужності досягають 4 вугільних пласта. В сучасний період відпрацьо-

вуються два пласти: C_6 і C_6^1 потужністю, відповідно, 0,74 м та 0,95 м. Відстань між ними складає 10-11 м. Загальношахтний водоприплив за весь період експлуатації змінювався від 9 720 м³/добу (1971 р.) до 33 340 м³/добу (2000 р.), у 2006 р. – 20 016 м³/добу.

Шх. Степова. Початок водовідливу – 1960 р., експлуатації – 1965 р. [9]. У сучасний період відпрацьовуються 2 вугільних пласта: C_6 і C_6^1 потужністю 0,65 м та 0,94 м. Відстань між пластами складає 10-14 м. Безпосередньо покрівлею пласта C_6 є алевроліти потужністю від 2 м до 10 м, пласта C_6^1 – аргіліти потужністю від 0,5 м до 6 м. Пласт C_6^1 у виробках західного крила сухий, східного – обводнений. Загальношахтний водоприплив за весь період експлуатації змінювався від 6 696 м³/добу (1971 р.) до 29 760 м³/добу (1978 р.), у 2006 р. – 22 128 м³/добу.

Шх. Дніпровська. Початок водовідливу – 1967 р., експлуатації – 1975 р. Промислове значення мають 12 вугільних пластів: C_{10}^6 , C_8^6 , C_8^H , C_7^6 , C_6 , C_5^6 , C_5^H , C_4^2 , C_4^1 , C_3 , C_2 , C_1 . Потужність продуктивної товщі складає 250 м. Потужність пластів змінюється від 0,6 м до 1,3 м. Пласти умовно поділені на 2 групи: верхні пласти – C_{10}^6 , C_8^6 , C_8^H , нижні – C_6 , C_5^6 , C_5^H , C_4^2 , C_4^1 , C_3 , C_2 , C_1 . У першу чергу відпрацьовувалися пласти верхньої групи, як найбільш потужні. Верхня група пластів відпрацьовувалася на гор. 270 м, нижня – на гор. 470 м. Керування покрівлею – повне обвалення. Схема підготовки шахтного поля – погоризонтна, порядок відпрацьовування запасів – прямий з одночасним відпрацьовуванням 3 вугільних пластів. Система розробки – довгими стовпами по падінню й простяганню (1 110-1200 м). Довжина лав – 170-200 м. Загальношахтний водоприплив за весь період експлуатації змінювався від 2 976 м³/добу (1983 р.) до 6110 м³/добу (2000 р.), у 2006 р. – 7 200 м³/добу.

Шх. ім. Сташкова. Початок водовідливу – 1967 р., експлуатації – 1982 р. Пласти, що відпрацьовуються, C_{10}^6 , C_7 , C_6^1 , C_6 , C_5 , C_2^4 поділені на поля: бремсбергове – вище за гор. 225 м (C_{10}^6 , C_7 , C_6^1 , C_6 , C_5 , C_2^4), уклонне 1 – нижче за гор. 225 м (C_5); уклонне 2 – нижче за гор. 300 м (C_5). Загальношахтний водоприплив

за весь період експлуатації змінювався від 5 616 м³/добу (1983 р.) до 42 144 м³/добу (1995 р.), у 2006 р. – 36 552 м³/добу.

Основні закономірності формування водопритливів у гірничі виробки: товща мезокайнозойських порід, що обводнена, на окремих ділянках гідравлічно пов'язана з водоносним комплексом кам'яновугільних відкладів. У цьому випадку загальношахтний водопритлив досягає приблизно 1 200 м³/год. Там, де цей зв'язок відсутній або утруднений, загальношахтний водопритлив не перевищує 100 м³/год; обводнення гірничих виробок відбувається за рахунок водозбагачених пісковиків й вугільних шарів, що підроблюються. Потужність зони дронування, що формується під час обвалення покрівлі, досягає 25-30 м. Загальношахтний водопритлив не перевищує 1-5 м³/год, іноді збільшуючись до 20-90 м³/год; умови обводнення й величина водопритливу залежить від черговості відпрацювання бремсбергових або уклонних полів: під час перенесення гірничих робіт з уклонної частини до бремсбергової загальношахтний водопритлив збільшується.

Негативні наслідки техногенного навантаження. На режим підземних вод істотно впливає розробка вугільного родовища, що супроводжується інтенсивним шахтним водовідливом, загальною зміною природної гідрогеологічної обстановки району (засолення підземних вод у результаті скиду високомінералізованих шахтних вод у ставки-накопичувачі й річки; збільшення живлення першого від поверхні водоносного горизонту й зростання перетоку у водоносні шари, що залягають нижче; просідання земної поверхні над виробленим простором; утворення значних підтоплених і затоплених ділянок; складування шахтних порід у відвали; рекультивация поверхні землі, що просіла з використанням шахтних порід і відходів вуглезбагачення). Одним із головних негативних наслідків впливу шахтного водовідливу на гідродинамічний режим району є виснаження запасів підземних вод водоносних комплексів, що використовуються для водопостачання й пов'язане з цим зменшення продуктивності роботи водозаборів та погіршення якості підземних вод.


У долинах річок за рахунок водовідбору й техногенних втрат на ділянках міст й інших населених пунктів, а також за рахунок фільтрації з хвостосховищ відбулася інверсія потоку у розрізі – потік у зоні впливу водозаборів, що експлуатують напірний водоносний горизонт, став спрямованим зверху униз. За даними Павлоградської ГРЕ величина просідання складає 80-85 % від сумарної потужності пластів, що відпрацьовуються. Внаслідок цього утворюються водойми глибиною до 3 м. В цих водоймах концентрується сіль, як слідство вилуговування солей з порід зони аерації й перевищення випаровування (700 мм/рік) над середньорічною кількістю атмосферних опадів. Мінералізація води у водоймах досягає 5 г/дм³.

У зв'язку з просіданням поверхні землі значну роботу по рекультивативі земель було проведено в заплаві р. Самара. На площах просідання (понад 1-2 м) за допомогою відвалів пустої породи було виконано нівелювання денної поверхні. Внаслідок цих дій відбулося інтенсивне розчинення та винос солей і хімічних сполук, що містилися в породах відвалів. За рахунок цього в декілька разів збільшилася мінералізація води в р. Самара та штучних озерах, які утворились у заплаві цієї річки. Мінералізація досягла 4,5-6,0 г/дм³. Усе це пригнітило біологічне життя в руслі та воді р. Самара.

З метою забезпечення охорони річок від засолення та забруднення скид шахтних вод було організовано у спеціальні ставки-накопичувачі. Передбачалося, що в цих ставках відбуватиметься інтенсивне випаровування шахтної води та її часткова інфільтрація в глибокі безперспективні водоносні горизонти. В повінь, коли скид шахтних вод у річкову мережу буде наносити річковим водам мінімальні збитки, вода зі ставків частково буде скидатися в річки. Непередбачені наслідки цього природоохоронного заходу призвели до підвищення рівнів водоносних горизонтів четвертинних, неогенових та палеогенових відкладів на 2,0-8,0 м, забруднення підземних вод та підвищення мінералізації на 1,0-8,0 г/дм³.

На рис. 3.1 наведені дані про 27 закритих шахт в центральному районі Донбасу. Аналіз наведених даних показує, що глибина введення гірничих робіт

закритих шахт змінюється від 320 до 1200 м, глибина до рівня шахтних вод від 50 до 1000 м, потужність зони обводнення – від 50 до 900 м.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



Рисунок 3.1 – Положення рівня шахтних вод у шахтах Донбасу

До збільшення рівнів підземних вод призводить також і засвоєння території. Техногенні втрати, а також скорочення випаровування на ділянках, що заасфальтовані, й на ділянках, що підсипані, при високій компактності забудови території міст, призводять до швидкого підйому рівня підземних вод.

Скорочення водовідбору підземних вод у зв'язку з вводом в експлуатацію водоводу "Дніпр-Західний Донбас", призвело до зростання рівня ґрунтових вод на 0,2-0,5 м поблизу водотоків і 0,7-3,5 м на ділянках водозаборів. Водосховища на річках Самара, М. Терса, Тернівка також є джерелами додаткового живлення підземних вод.

Характеристика основних літологічних різновидів порід. Основними літологічними різновидами порід, що складають продуктивну товщу карбонових відкладів району, як зазначено вище, є аргіліти, алевроліти та пісковики.

Аргіліти складаються з глинистої речовини та уламкового матеріалу (10 – 20 %), який розсіяний серед глинистої речовини або утворює тонкі, збагачені прошарки. Текстура породи найчастіше тонкошарувата, що зумовлене чергуванням прошарків алевритових аргілітів потужністю 1–3 мм з лінзоподібними прошарками алевритів мінливої потужності. Структура породи пелітова або алеврито-пелітова.

Алевроліти представлені здебільшого чергуванням тонких шарів аргіліту та дрібнозернистого пісковіку. Порода складається з глинистої речовини й кластичного матеріалу, уміст якого становить від 15 – 20 до 30 %. Структура породи від алеврито-пелітової до псамітової. Глиниста речовина переважно належить до групи гідрослюд.

Пісковики складаються з уламкового матеріалу, що зцементований глинистою, зрідка кременисто-глинистою речовиною, слабо карбонатизованою. Структура породи – псамітова. Уламковий матеріал охоплює 55–75 % усього об'єму породи та складається із зерен кварцу наполовину обкатаної форми розміром від 0,03 до 0,3 мм, польового шпату та у вигляді домішок, лусочок серициту і хлориту. Лабораторія нерудної сировини Дніпропетровської КГРЕ проводила дослідження фізико-механічних властивостей уміщвальних порід для

прогнозування гірничотехнічних умов експлуатації вугільних пластів у Павлоградсько-Петропавлівському районі [7]. Результати досліджень, які наведено в табл. 3.2, свідчать про те, що величини показників фізико-механічних властивостей однакових за літологічним складом порід у районі змінюються в широких межах.

Таблиця 3.2 – Головні показники фізико-механічних властивостей порід у Павлоградсько-Петропавлівському районі

Показник фізико-механічних властивостей породи	Назва породи								
	аргіліт			алевроліт			пісковик		
	значення показника								
	від	до	середнє	від	до	середнє	від	до	середнє
Природна вологість, %	0,29	8,1	3,43	0,32	7,27	3,32	0,16	9,73	2,9
Об'ємна вага, г/см ³	1,33	2,97	2,32	1,88	2,74	2,52	1,75	2,96	2,18
Питома вага, г/см ³	1,55	2,89	2,74	2,26	2,86	2,69	2,29	3,15	2,65
Опір стиску перпендикулярно нашаруванню при природній вологості, кг/см ²	86	385	197	82	825	234	38	980	301
Поруватість, %	1,99	24,3	13,5	2,13	24,6	13,6	1,7	32	17,9
Модуль пружності, *10 ⁻³ кг/см ²	19,8	152	66	31,5	139	70,4	39,8	254	109

Про фізико-механічні властивості порід карбону, що зумовлені седиментаційними процесами й діагенетичними перетвореннями, можна судити за результатами їхнього дослідження в зоні розвитку найменш метаморфізованого кам'яного вугілля Старобельської площі (табл. 3.3).

Мінімальні значення щільності характерні для пісковиків. Алевроитові, глинисті й карбонатні породи вирізняються вищою щільністю. Поруватість порід знижується від пісковиків до вапняків. Максимальними значеннями за міцністю характеризуються вапняки, найнижчими – глинисті й піщано-глинисті породи. Відмінність фізико-механічних властивостей уламкових, глинистих і карбонатних порід, що виникла під час седиментації та діагенезу, зберігається і надалі незалежно від ступеня їхніх постдіагенетичних змін та глибини заляган-

ня. Показники міцності пісковиків зростають у напрямку зменшення розміру зерен, що їх складають.

Показники пружності й повзучості залежать від структурних особливостей порід та їхнього мінерального складу. Мінімальні значення деформації повзучості характерні для піщаних та алевритових порід з умістом глинистих часток у кількості не більше ніж 10 %. Деформації повзучості глинистих порід становлять 114–139 % від миттєвих деформацій. Умови накопичення осадових порід впливають на їхню однорідність та анізотропію. Важливим чинником, що визначає фізико-механічні властивості порід, є їхні текстурні особливості. Порооди з хаотичною текстурою міцніші, ніж породи із шаруватою текстурою. Літогенетичні типи порід розрізняються за поруватістю. Максимальні її значення на всіх стадіях метаморфізму характерні для алювіальних відкладів, а мінімальні – для континентальних.

Таблиця 3.3 – Фізико-механічні властивості порід карбону

Порода	Щільність, г/см ³	Поруватість, %	Ліміт міцності в разі стиснення, кг/см ²	Ліміт міцності при стисненні у водонасиченому стані, кг/см ²	Ліміт міцності в разі розтягнення паралельно нашаруванню, кг/см ²	Ліміт міцності в разі розтягнення перпендикулярно нашаруванню, кг/см ²
Пісковик	2,14	18,4	166,5	127,0	29,4	14,0
Сланець піщаний	2,18	16,1	139,7	83,1	21,5	8,7
Сланець піщано-глинистий	2,19	15,6	112,0	–	19,2	7,8
Сланець глинистий	2,19	16,7	128,0	–	23,8	8,7
Вапняк	2,19	7,2	476,3	302,9	73,9	36,5

4. ГЕОТЕРМІЧНІ ТА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРІД ВУГЛЕНОСНОЇ ТОВЩІ

Аналіз геотермічних умов України показує нерівномірний розподіл теплового потоку по її території. Так, на заході країни, в межах складчастої провінції Карпат, тепловий потік, рівний в середньому 100 мВт/м^2 обумовлює температуру підземних вод на глибині 1 км – $65 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Далі на схід (район Волино-Подільської плити) значення теплового потоку поступово знижуються до $50 - 70 \text{ мВт/м}^2$, що відповідно викликає зменшення температури підземних вод до $35 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ на глибині 1 км. У центральній частині України (Український кристалічний щит) величина потоку в більшості випадків не перевищує 40 мВт/м^2 , що зумовлює невисоку температуру вод (до $35 \text{ }^\circ\text{C}$ на глибині 1 км). Більш суттєві значення геотермічного потоку відзначені на півдні і північному сході (Шричорноморський та Дніпровсько-Донецький басейн), де його величина досягає $50 - 60 \text{ мВт/м}^2$, а температура підземних вод – 45 і $65 \text{ }^\circ\text{C}$ на глибині 1 і 2 км відповідно

Донбас є найбільш вивченим з точки зору геотермальних умов регіоном України [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Тут було встановлено близько 6000 одиничних значень глибинного теплового потоку Землі в окремих свердловинах, згрупованих приблизно в 2700 пунктах на території, обмеженої крайовими розломами, кордоном з Росією і досить умовною лінією, що відокремлює західну частину Донбасу від сусідньої Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Проте в регіоні залишаються невивченими або маловивченими фрагменти поза шахтних полів, де кількість свердловин і, відповідно, визначень теплового потоку (ТП), мінімальні. Особливо це стосується крайових частин Донбасу, де можуть розташовуватися теплові аномалії, важливі для розуміння природи молодих і сучасних глибинних процесів.

За основу були взяті вимірювання температури в інтервалі глибин 1000-4200 м, і лише в трьох свердловинах – на глибинах від 360 до 720 м. Точність вимірювань температур та аналіз отриманих значень дозволяють прийняти те-

температуру в 10°C як поверхневу при розрахунках середнього значення геотермічного градієнта; цю температуру також називають температурою термічно «нейтрального шару», нижче якої сезонні та річні коливання температури практично відсутні.

Згідно гістограмі розподілу площ поширення ТП різної інтенсивності (рис. 4.1) було виявлено, що рівень трохи нижче 50 мВт/м^2 з урахуванням природних варіацій, пов'язаних з похибкою визначень, поширений на $2/3$ території Донбасу. Відповідний масив даних легко виділяється від другого масиву, що представляє собою характеристику аномальних значень глибинного теплового потоку.

Теплопровідність порід в ЦРД оцінюється у $1,7\text{-}1,85 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$ і порівняно з оцінками для аналогічних глибин у ДДЗ суттєво від них не відрізняється, дана закономірність властива і для змін цього параметра за площею (рис. 4.2).

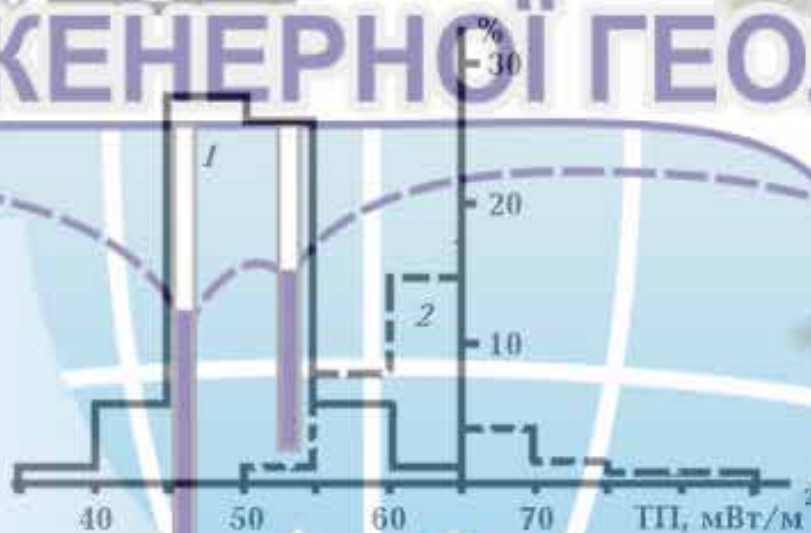


Рисунок 4.1 – Гістограма розподілу площ поширення фонових (1) і аномальних (2) значень глибинного теплового потоку на Донбасі

В цілому отримані значення теплопровідності порід не перевищують $2 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$, в районах поширення порівняно пухких відкладів вони знижуються до $1,7 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$, в місцях досягнення глибини літфікованих порід нижнього карбону переважно в центральній частині Головної антиклиналі вони сягають $2,4\text{-}2,6 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$ в разі переважання в розрізі пісковиків. Показники температур на

глибині в 500 м знаходяться в межах 15-30 °С, а з глибиною вони суттєво зростають, на глибині 1000 м температура становить 25-55 °С. Найбільші високі значення температури гірських порід на досліджуваних глибинах приурочені до Головної антиклінали.

Територіально значення геотермального потоку до 50 мВт/м² приурочені до басейнів Кальміус-Торецького і Бахмутського районів та території на північ від Нагольного кряжу. Зони з високою щільністю геотермального потоку 60-70 мВт/м² розповсюджені, здебільшого, на північному та південному крайових розломах, а максимальні значення у 70-80 мВт/м² знаходяться в основній антикліналі та південно-західній частині району видобутку вугілля. Положення закритих шахт у регіоні Донбасу, для яких існують потенційні можливості використання тепла Землі, суміщені з картою геотермального потоку.

Показані на карті шахти ЦРД знаходяться в районах з різними значеннями геотермального потоку. Шахти на північному сході (Родіна, Первомайська, Бежанівська) розташовані в районах з найнижчим геотермальним потоком 45-50 мВт/м²; шахти в південно-східній частині поблизу м. Покровськ (Селідовська, Новгородівська 2 та Коротченко) знаходяться в районі з вищим геотермальним потоком 50-55 мВт/м², шахти з найбільшим геотермальним потоком – у центральному районі Донбасу на північ від Горлівки (Гагаріна, Леніна, Гаєвого та ін.) зі значеннями понад 65 мВт/м², в деяких районах – до 80 мВт/м².

В таблиці 4.1 наведені усереднені значення теплофізичних властивостей основних гірських порід стратиграфічної колонки Донбасу (рис. 2.1). Встановлення цих значень важливо в декількох аспектах. Теплофізичні властивості чуйно реагують на зміну складу, будови і стану порід і тісно пов'язані з низкою фізико-механічних характеристик, вивчення яких дозволить більш детально зрозуміти перебіг процесів в різних температурних режимах пов'язаних з відбором та закачкою шахтних вод з різних горизонтів. Основні параметри, що визначають характер теплообміну на шахтному полі це теплопровідність (λ), температуропровідність (a) і теплоємність (C).

КАФЕДРА ПІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



Рисунок 4.2 – Карта глибинного теплового потоку Донбасу

Таблиця 4.1 – Теплофізичні властивості основних гірських порід Донецького басейну

Гірські породи	λ , Вт/(м·°С)	a , 10^{-6} м ² /с	C , кДж/(кг·°С)
Пісковики	0,24 – 4,4	1,12 – 1,19	0,75 – 0,84
Алевроліти	0,4 – 3,8	0,54 – 1,54	0,8 – 1,7
Аргіліти	0,2 – 3,0	0,59 – 1,53	0,7 – 1
Вугілля	0,1 – 2,2	0,1 – 0,7	0,9 – 1,5
Вапняки	0,7 – 2,5	0,39 – 1,70	0,4 – 1,7
Глини	0,1 – 0,2	0,25 – 1,15	0,8 – 3,6
Пісок	0,7 – 6,5	0,2 – 0,3	0,7 – 0,9
Гнейс	0,94 – 4,9	0,63 – 0,83	0,8 – 1,2

Теплофізичні властивості характеризують зміни, що відбуваються в гірських породах, викликані зміною температур. Теплофізичні властивості порід в значній мірі визначають енергомасообмінні процеси, такі як промерзання і відтавання порід, кріогенне пучення, осадка при відтаванні, термокарст, термоерозія і ін.

Знання теплофізичних властивостей має велике значення для пізнання таких природних процесів, як вивітрювання і ґрунтоутворення, а також для оцінки стійкості інженерних споруд, особливо в області розвитку багаторічномерзлих порід. Показники теплофізичних властивостей мерзлих і талих порід, які використовують в якості підстав будівель і споруд, необхідні для виконання теплотехнічних розрахунків.

Теплоємність є однією з основних теплофізичних характеристик гірських порід. Зазвичай розрізняють питому і об'ємну теплоємності. Питома теплоємність порід чисельно дорівнює кількості тепла, необхідного для зміни температури одиниці його маси на 1 градус, і виражається в кДж/(кг·°С). Об'ємна теплоємність кДж/(м³·°С), чисельно дорівнює кількості тепла, необхідного для зміни температури одиниці об'єму ґрунту на 1 градус.

Для мерзлого ґрунту розрізняють його власну і ефективну теплоємність. Власна теплоємність мерзлого ґрунту чисельно дорівнює кількості тепла, необхідного для зміни на 1 градус температури одиниці об'єму (або маси ґрунту),

при повідомленні тепла ґрунту допускається, що в ньому співвідношення води і льоду не змінюється. Ефективна теплоємність мерзлого ґрунту чисельно дорівнює кількості тепла, необхідного для змін температури одиниці об'єму або маси ґрунту на 1 градус і фазового складу порової вологи в ньому. При експериментальних визначеннях теплофізичних характеристик ґрунтів можна розділити витрати тепла, що йдуть на танення льоду і нагрівання ґрунту, тому на підставі експериментальних визначень калориметричних методом отримують величину ефективної теплоємності мерзлого ґрунту. У теплотехнічних розрахунках промерзання і протаивання ґрунтів як розрахункового параметра приймають величину власної теплоємності мерзлого ґрунту. Витрати тепла на фазові переходи води враховують окремо, вважаючи умовно, що такі переходи відбуваються на кордоні промерзання.

Теплоємність мерзлих дисперсних порід визначається кількісним вмістом в них мінеральної складової, льоду і незамерзаючих води; зміст льоду і незамерзаючих води залежить від початкової вологості і температури, тому теплоємність мерзлих дисперсних порід – величина змінна. Зі зниженням температури порід при даній вологості їх теплоємність зменшується, оскільки в них стає більше льоду і менше незамерзаючих води (теплоємність льоду – 0,49, води – 1,0). Теплоємність мерзлих дисперсних порід значно змінюється в залежності від температури, головним чином поблизу 0 °С, т. є. коли відбуваються значні зміни в співвідношенні фази води і льоду; оскільки теплоємність мерзлих порід залежить від кількості в них мінеральної частини, води і льоду, то чисельне значення її може бути отримано розрахунковим шляхом на підставі даних про кількість в них води і фазовому складі останньої. Теплоємність мінерального скелета мало змінюється зі зміною температури порід: при зниженні температури на 1 °С теплоємність суглинку зменшується всього лише на 0,1%, а піску – на 0,07% від початкової величини.

Теплопровідність порід - теплофізична характеристика порід, що визначає їх здатність проводити тепло. Основна характеристика – коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м · °С) – характеризує породу щодо її здатності переносити те-

плову енергію і чисельно дорівнює потоку тепла, що проходить через одиницю площі породи в одиницю часу при температурному градієнті, рівному одиниці. При теплотехнічних розрахунках підстав будівель і споруд, що зводяться на вічній ґрунтах, величину коефіцієнта теплопровідності ґрунту визначають за табличними даними розрахункових значень теплофізичних характеристик талих і мерзлих ґрунтів.

Експериментальні визначення теплопровідності ґрунтів передбачають при будівництві в складних мерзлотно-ґрунтових умовах, а також на сильно-льодистих, перезволожених і засолених ґрунтах. Переважно коефіцієнт теплопровідності мерзлих ґрунтів слід визначати методом стаціонарного теплового режиму на зразках ґрунту розміром не менше ніж 20×20 см в плані. Метод заснований на вимірюванні сталого в часі потоку тепла, що проходить через досліджуваний зразок ґрунту. Потік тепла, що виникає при постійній різниці температур на поверхні зразка, вимірюють малоінерційним тепломіром. Метод застосовуємо для визначення коефіцієнта теплопровідності мерзлих піщано-глинистих і гравелістких ґрунтів з розміром окремих мінеральних включень до 10 мм, а також льодистих ґрунтів середнеслоїстої і сітчастої текстури при температурі найбільш нагрітої поверхні зразка не вище мінус 1°C .

Теплопровідність ґрунтів як в талому, так і в мерзлому стані залежить від таких факторів, як мінеральний склад, щільність, вологість, температура, структура і текстура. Мінеральний склад порід грає велику роль в теплофізичних властивостях порід, проте оцінити його значення відразу при випробуванні порід не завжди представляється можливим. Порівняльний аналіз досвідчених даних показує, що теплопровідність інтрузивних порід збільшується від 2 до $5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ в ряду дуніти-габбросієніти-діорити-граніти, т. є. від основних до кислих. Така закономірність пояснюється різницею кількісного вмісту SiO_2 : чим його більше, тим вище теплопровідність.

Теплопровідність ефузивних порід також залежить від хіміко-мінерального складу і ступеня раскристалізації і змінюється за даними дослідів в діапазоні $2,0 \dots 3,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Аналіз теплопровідності порід метаморфічної

групи показує, що їх λ змінюється в широких межах - від 0,8 до 7,4 Вт/(м · °С): вона зростає при переході від сланців до гнейсам і кварцитів, що пояснюється поступовим зникненням сланцеватості в ряду. Теплопровідність осадово-зцементованих ґрунтів значно різниться для трьох підгруп: уламкових зцементованих; пілуватих і глинистих зцементованих; хімічних і біохімічних. Перша підгрупа представлена крупно-і мелкообломочних породами - конгломератами, гравеліти і пісковиками з λ від 1,5 до 4,5 Вт/(м · °С). Теплопровідність немерзлих пілуватих і глинистих зцементованих порід, представлених алевритами і аргілітами, в середньому нижче, ніж у крупно-і мелкообломочних порід, і змінюється в діапазоні 0,8 ... 2,2 Вт/(м · °С), що пояснюється їх більш тонкозернистою структурою, для якої характерна наявність більшої кількості контактних теплових опорів.

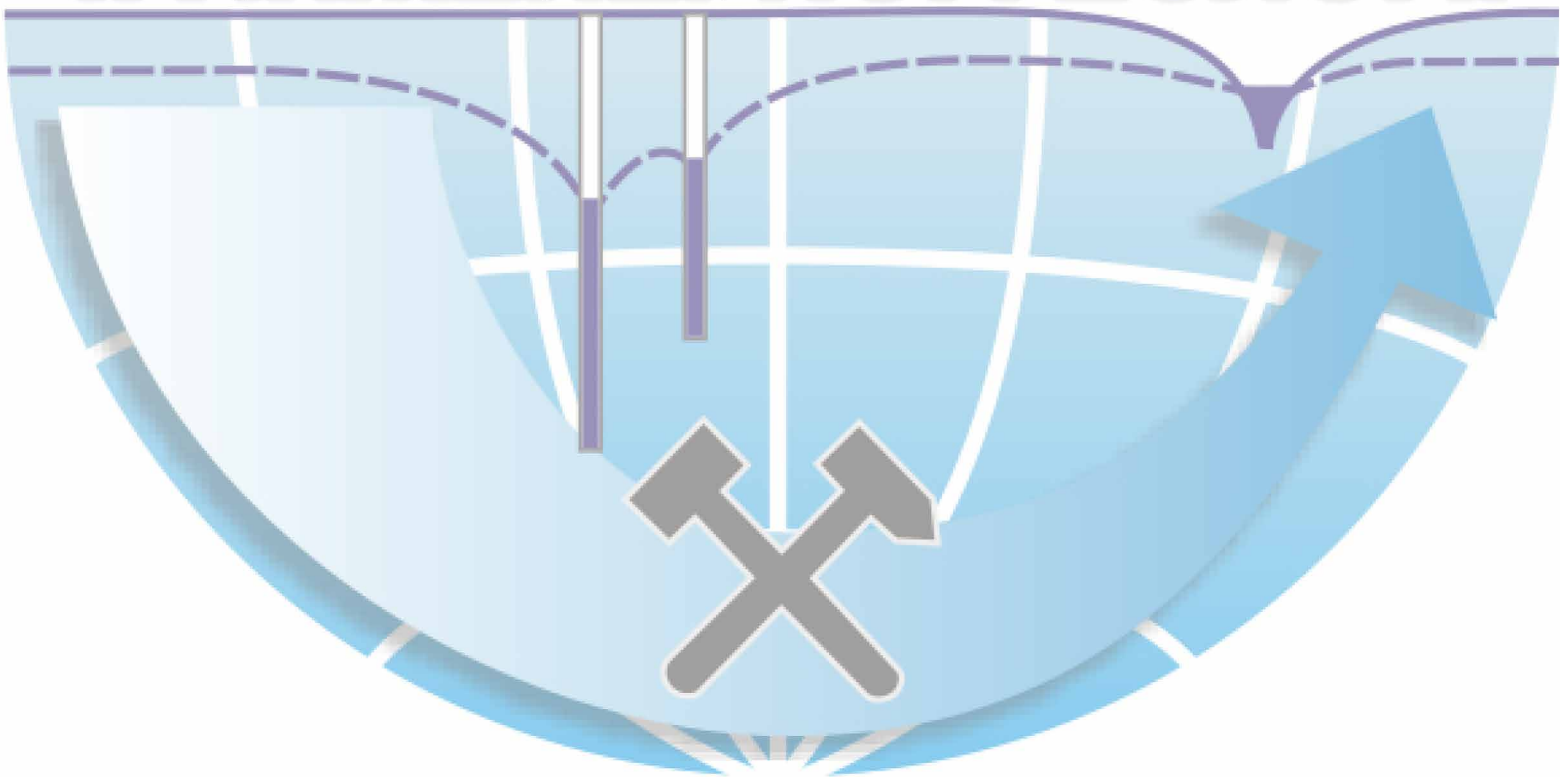
Підгрупи хімічних і біохімічних порід, наприклад крем'янисті породи морського походження (трепел, діатоміт), в цілому мають більш низьку теплопровідність з усіх розглянутих вище (0,8 ... 1,7 Вт/(м · °С), що пояснюється високою пористістю в поєднанні з невисокою теплопровідністю скелета цих порід. Такі мономінеральні породи, як доломіт і ангідрит, характеризуються найбільшою теплопровідністю, відповідно 7,2 ... 11,9 і 3,7 ... 5,8 Вт/(м · °С) і трохи меншою - вапняки 5,7 Вт/(м · °С) і мергелі 2,6 Вт/(м · °С).

Теплопровідність порід при інших рівних умовах зменшується зі збільшенням дисперсності в наступній послідовності: великоуламкові - піщані - суглинні - лесові - суглинні - глини - торф. Зростання дисперсності збільшує кількість контактних теплових опорів, а також супроводжується зростанням гидрофільності і ультрапористості, що підвищують відносний вміст рідкої фази води з меншою теплопровідністю, ніж у льоду. Така закономірність простежується, як правило, в діапазоні температур від +20 до -20 °С, включаючи область інтенсивних фазових переходів вологи, і справедлива для дисперсних порід з різною вологістю. Оскільки теплопровідність мінерального кістяка, як правило, вище, ніж води і льоду, ущільнення ґрунту супроводжується збільшенням теплопровідності.

Теплопровідність породи, на відміну від теплоємності, не є адитивною величиною, що і визначає істотну залежність λ від факторів будови породи, т. Е. Її структури, текстури і складання. При цьому визначальне значення має те, яким чином здійснюється передача тепла в породі: безпосередньо по часткам, від частки до частки в місцях їх контакту або від частки до частки через проміжну середу.

Температуропровідність є вельми важливою характеристикою гірських порід, оскільки температура порід істотно впливає на всі інші їх властивості, зазвичай визначається експериментальним шляхом (метод регулярного режиму, метод температурної хвилі і ін.). Температуропровідності порід виражається через коефіцієнт температуропровідності a , $\text{м}^2/\text{с}$, який є показником інерційності температурного поля і пов'язаний з коефіцієнтами теплоємності і теплопровідності наступним співвідношенням: $a = \lambda / C$. Температуропровідності мерзлих порід, особливо піщаних, при великій вологості в багатьох випадках вище, ніж коефіцієнт a цих же порід в талому стані.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



5. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАКРИТИХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ

Усі модулі для використання геотермальної енергії на закритих шахтах можна умовно поділити на дві такі групи: відкриті системи зі скиданням охолодженої шахтної води до поверхневих водотоків або до шахти на відстані від місця відбору; закриті системи у вигляді геотермальних зондів, які можуть бути встановлені як у верхній частині заповненого закладкою шахтного ствола, так і занурені у шахтну воду нижче рівня затоплення.

З одного боку, відкриті системи забезпечують набагато більшу продуктивність за рахунок більш інтенсивного забору води на закритих шахтах. З іншого боку, в цих системах в якості теплоносія використовується шахтна вода, яка забруднена зваженими частинками, забруднювачами і речовинами, хімічно агресивними по відношенню до металів. Таким чином, установка і експлуатація таких систем в умовах жорстких екологічних вимог вимагає встановлення додаткового контуру теплообміну з іншим теплоносієм, що знижує рентабельність виробництва енергії.

Закриті геотермальні системи у вигляді геотермальних зондів є менш потужними, а їх використання на закритих шахтах знаходиться ще на початкових стадіях. Відомі кілька прикладів використання теплових насосів які, однак, ще не стали поширеними для закритих шахт.

При аналізі потенціалу використання геотермальної енергії слід зважати на температурні діапазони та потреби споживачів (табл. 5.1). Отже, зважаючи на порівняно низьку температуру шахтних вод та породного масиву з гірничими виробками (до 35 °C) основними споживачами теплової енергії можуть бути бальнеологічні комплекси, системи теплофікації з використанням теплових насосів та підлог, сільське господарство спрямоване вирощування овочів та фруктів, а також розведення риби. Разом з тим, надлишок теплової енергії від сонячної енергетики може бути тимчасово акумульований у підземних виробках з підвищенням температури шахтних вод, що може поширити коло споживачів.

Таблиця 5.1 – Области використання теплової енергії геотермальних джерел

Область застосування		Температура теплоносія, °С	Теплове навантаження, ГДж/рік
Бальнеологія	Грязелікарні	25 – 50	0,5 – 40
	Плавальні басейни	22 – 50	0,5 – 40
Теплофікація	Радіатори	45 – 95	35 – 550
	Аерокондиціонування	35 – 50	30 – 40
	Місьцеве теплопостачання	50 – 85	40 – 450
	Теплові насоси	10 – 20	0,2 – 0,5
Сільське господарство	Вирощування овочів і фруктів	20 – 60	0,5 – 50
	теплиці	35 – 90	30 – 500
	Харчова промисловість	35 – 90	30 – 500
	Обігрів ґрунту	5 – 45	0,1 – 35
Промисловість	Розведення риб	5 – 45	0,1 – 35
	Виготовлення бетонних блоків	75 – 85	300 – 450
	Нафтова промисловість	75 – 85	300 – 450
	Текстильна промисловість	50 – 80	40 – 400
	Вилучення хімічних елементів	80 – 105	400 – 800
	Деревообробна промисловість	40 – 90	35 – 500
	Відтавання мерзлих гірських порід	20 – 60	0,5 – 50
	Енергетика	Бінарні електростанції	90 – 120
Теплоелектрогенератори		60 – 120	50 – 900

Закриті геотермальні системи включають розташовані в гірничих виробках шахти теплообмінники, в яких циркулює теплоносіть – спеціальна рідина (зазвичай, 25-38% водний розчин етиленгліколю) з температурою, яка нижче температури оточуючих шахтних вод, гірських порід або матеріалу для закладення виробленого простору. В результаті відібрана теплова енергія з порушеного породного масиву, який повністю або частково затоплений, надходить до теплового насосу.

За місцем встановлення закриті системи поділяються на ті, в яких теплообмінники розташовані в зоні обводнення або закладення виробленого простору, по конструкції – на коаксіальні і U-подібні геотермальні зонди (рис. 5.1). При цьому U-образний зонд являє собою з'єднані внизу дві паралельні поліетиленові (PN 10) труби зовнішнім діаметром від 20 до 63 мм з товщиною стінок від 2 до 5,8 мм відповідно. Коаксіальний зонд складається з 2 труб розташованих одна в іншій. Через внутрішню пластикову теплоізольовану трубу подається теплоносіть на дно зонда, який потім піднімається по міжтрубному зазору, відбираючи тепло з шахтних вод через інку зовнішньої труби яка володіє хорошою теплопровідністю (сталевий).

Перевагою шахтних вод як оточуючого середовища для встановлення геотермальних зондів є більш високі значення коефіцієнта тепловіддачі на контакті сталевий зовнішньої труби зонду з водою до $1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ порівняно зі значно меншими значеннями цього коефіцієнту на контакті зовнішньої труби зонду з гірськими породами до $35 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. Однак більша глибина розташування геотермального (як правило, коаксіального) зонду в зоні обводнення в гірничих виробках порівняно з зоною їх закладення ближче до поверхні (як правило, U-подібного зонду) вимагає більшої кількості енергії на прокачування теплоносія та більші капітальні витрати. За конструктивними особливостями коаксіальні теплообмінники характеризуються більшим питомим тепловідбором з одного погонного метра зонда у порівнянні з U-подібними, проте вартість їх значно вище. Необхідно відзначити, що подвійні U-образні геотермальні зонди (чотирьох трубні) які використовуються в практиці теплових насосів, з одного боку

мають більш питомий тепловідбір, з іншого – пов'язані з проблематичністю їх установки на великі глибини в зв'язку великим діаметром.

В закритій геотермальній системі із замкнутим циклом теплообмінник (сталевий радіатор або петля з поліетиленової труби) занурюється у шахтну воду, зону закладки шахтного ствола чи дегазацийні свердловини. Це можна зробити в самій шахті (у затопленій шахті або галереї) (рис 1.5), як на шахті Фолдал в Норвегії, або у резервуарі очищення води після того, як шахтна вода була піднята на поверхню, як у Капхаузі, Йоркшир, Великобританія.

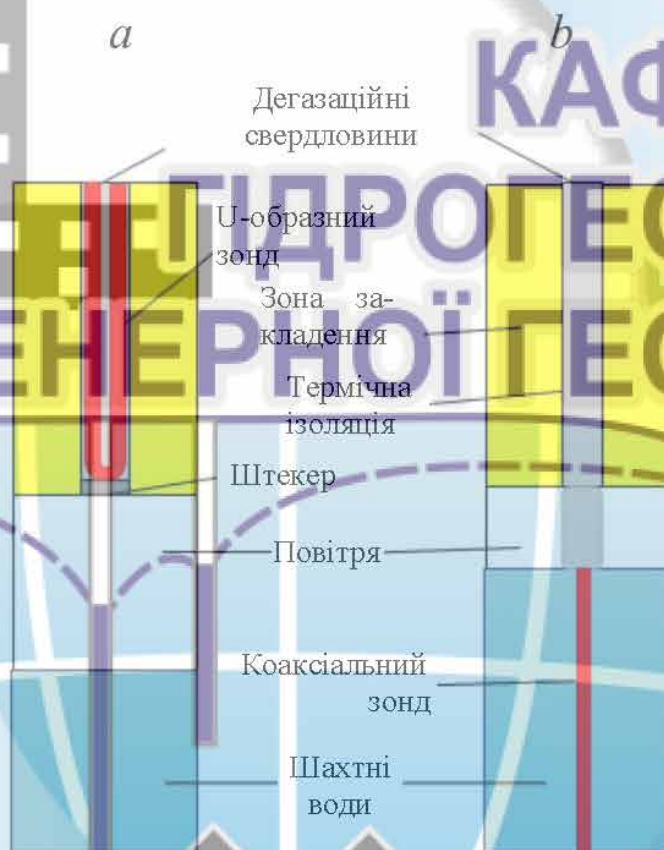


Рисунок 5.1 – Варіанти установки U-образного (а) і коаксіального (б) геотермального зонда в закритій шахті

Виробництво електроенергії з теплої шахтної води залишається потенційно можливим у довгостроковій перспективі. На сьогодні можливості безпосередньо використовувати шахтні води для виробництва електроенергії технічно обмежені. Так, найсучасніші системи виробництва енергії на основі гарячої во-

ди від фірми Climeon [31] потребують температуру води не менше 90 °С і при цьому працюють з ефективністю не більше 10%. ККД таких систем значно зростає з ростом температури. Теоретичні дослідження щодо потенційного застосування цих систем показали хороші перспективи лише для гірських масивів з температурою порід понад 100 °С на значних глибинах, яка обумовлена передусім вулканічною активністю [35]. Зважаючи на відносно низьку температуру шахтних вод (до 40 °С), надалі у цьому звіті основна увага приділятиметься використанню геотермального тепла у відкритих та закритих системах у поєднанні з тепловими насосами для потреб теплопостачання.

Можливості застосування низькотемпературного тепла шахтних вод для отримання електричної енергії можуть бути поширені завдяки впровадженню нових термоелектричних матеріалів, більш ефективних, ніж традиційні матеріали на основі Bi_2Te_3 , PbTe , Si-Ge . Це матеріали на квантових ямах, скуттеруніти, функціонально градієнтні матеріали (FGM) та інші. Отримані на їх основі за технологією інтегральних схем і електрохімічних реакцій термоелектричні модулі дозволяють досягти високої питомої потужності (1-10 Вт/см³) за невеликої різниці температур (10-20 °С). Практична реалізація таких модулів була виконана компанією Thermo Life Energy Corp (США), яка розробила мініатюрний термоелемент, що генерує енергію для датчиків і чипів при перепадах температури 5-10 °С [29]. Понад 5000 термопар в блоці діаметром 9,3 мм, товщиною 1,4 мм і вагою 0,23 г при перепаді температури між двома сторонами блока всього 5 °С генерували струм близько 10 мкА потужністю 30 мкВт. Пристрій розраховано на збір тепла від техніки і промислових стічних вод.

Сучасні енергоефективні термоелектрогенератори, засновані на використанні різниці температур теплих і холодних вод, розроблялися в Україні в Інституті термоелектрики (м. Чернівці). Так, енергетичний блок з 20 термоелектричних батарей при різниці температури води 20 °С досягав електричної потужності 18,3 Вт [30]. Зібрані в термоелектрогенератор 28 таких блоків забезпе-

чують близько 500 Вт вихідної електричної потужності. Геометричні розміри такого генератора становлять $1,2 \times 1 \times 2,24$ м. При цьому електрична енергія, що виробляється в генераторі, може бути спрямована на освітлення кількох приміщень непрацюючих шахт світильниками з лампами розжарювання і люмінесцентними лампами (РВЛ, Промінь, СКВ) потужністю від 15 до 40 Вт [28]. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**], а також на забезпечення електроживленням невеликих автономних наземних і підземних дистанційних систем та датчиків, охоронних сигналізації, що потребляють не більше 5 Вт електроенергії [25]. Детальний огляд можливостей сучасних термоелектрогенераторів наведено у [22]. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]

Важливим технологічним елементом геотермального модулю є сучасні промислові теплові насоси (ТН), які дозволяють підвищувати ефективність систем опалення та кондиціонування приміщень. Економічна доцільність їх застосування пов'язана з тим, що сучасні житлові та офісні комплекси, як правило, вимагають комплексного вирішення питань опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання. Традиційно це завдання вирішується шляхом будівництва газової котельні або підключенням до централізованих мереж теплопостачання, а до них додатково будується система охолодження на базі холодильних машин, які використовують енергію палива або холодильних установок по принципу спліт системи. Будівництво таких теплових систем, як правило, супроводжується цілим рядом питань щодо підводу газової магістралі, обмеженими місцями та правилами розміщення обладнання, наявністю лімітів на природний газ та різних погоджень з органами технічного нагляду. Разом з тим, встановлення системи ТН за витратами можна порівняти з будівництвом системи кондиціонування, але в підсумку споживач отримує повноцінну сучасну високоефективну екологічно чисту систему автономного забезпечення теплом, холодом і гарячою водою, що працює цілий рік без перерв на профілактику. Оскільки тепловий насос експлуатується цілорічно, середній термін окупності системи на його базі становить 3-5 років, при експлуатації системи тільки на вироблення гарячого

водопостачання окупність забезпечується за 2-3 роки порівняно з централізованими мережами тепlopостачання.

Крім того, до економічної ефективності ТН можна віднести і показник вартості виробництва 1 Гкал тепла. У порівнянні з системою центрального тепlopостачання 1 Гкал тепла, що вироблена ТН, у 2,5 рази дешевше. У порівнянні з автономною газовою котельнею 1 Гкал тепла, вироблена ТН співмірна за вартістю, але газова котельня не виробляє холод, їй для цього потрібне додаткове обладнання, що відразу призводить до зростання споживання палива та веде до програшу порівняно з ТН, при цьому експлуатаційні витрати газової котельні в 4 рази вище.

Для забезпечення ефективної експлуатації теплових насосів, необхідною умовою при проектуванні систем тепло- та холодopостачання, що передбачають їх застосування, є вибір раціональних енергозберігаючих технічних рішень.

При цьому теплонасосні системи тепlopостачання можуть застосовуватися для опалення, вентиляції, забезпечення теплотою на потреби гарячого водopостачання і інших технологічних процесів (рис. 5.2).

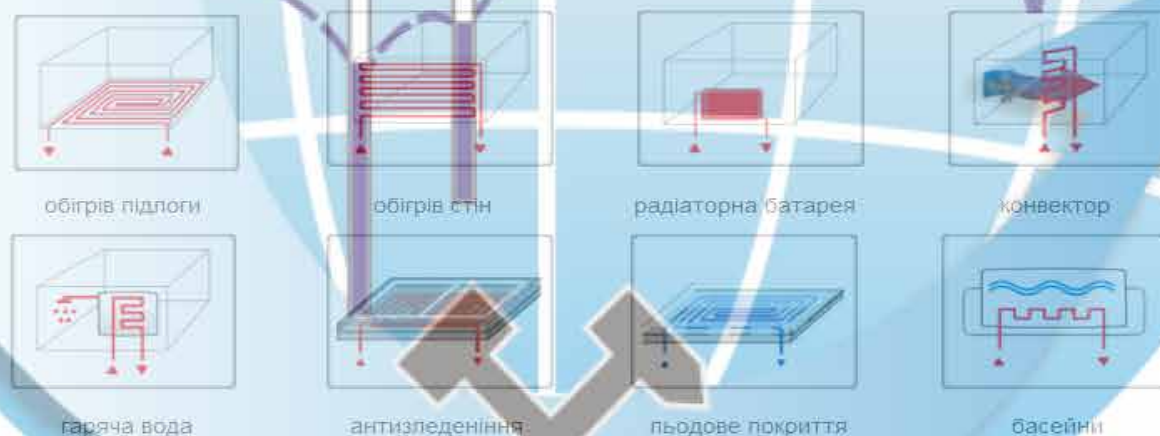


Рисунок 5.2 – Приклади розподілу теплової енергії в приміщенні, отриманої від теплового насосу

Діапазон теплової потужності промислових ТН різних виробників (табл. 5.1) достатньо широкий: від 64 до 1932 кВт на нагрів та від 54 до

1741 кВт на охолодження будівель. Крім того, для збільшення теплової потужності системи тепло- та холодопостачання будівель за допомогою ТН представляється можливим сполучення окремих теплових насосів в єдині блоки. Необхідно відзначити, що при проектуванні системи охолодження будівель за допомогою ТН необхідно передбачити систему вентиляції для забезпечення циркуляції повітря по всьому приміщенню і запобігання появи конденсату.

Таблиця 5.1. Порівняльна характеристика продуктивності теплових насосів різних виробників

Виробник	Країна	Продуктивність, кВт		Джерело
		Нагрів	Охолодження	
CWC HP XEA	Італія	64 – 880	54 – 770	15
Carrier 30XWHV	США	648 – 1932	587 – 1741	19
Viessmann	Швейцарія	164 – 286	101 – 225	21
OCHSNER	Австрія	100 – 1000	80 – 650	23
Waterkotte	Німеччина	191 – 491	120 – 350	25

Принципова загальна схема роботи закритих геотермальних модулів на базі непрацюючої шахти представлена на рис. 5.3. Схема включає розташовані в гірничих виробках шахти теплообмінники, в яких циркулює теплоносієм – спеціальна рідина (25-38% водний розчин етиленгліколю) з температурою, яка нижче температури оточуючих шахтних вод, гірських порід або матеріалу для закладення виробленого простору. В результаті відібрана тепла енергія з порушеного породного масиву, який повністю або частково затоплений, надходить до теплового насосу. Вироблена насосом тепла енергія подається споживачу. Для покриття піків споживання теплової енергії в холодну пору року використовується додаткова котельня яка працює на традиційних енергоносіях (вугілля, газ).

Рекомендації до адаптації конструктивної схеми геотермального модулю до конкретних геолого-гідрогеологічних та гірничотехнічних умов мають включати таке.

1. Визначення ємності затоплених підземних виробок, оцінювання температури шахтних вод у профілі.
2. Визначення потреб теплозабезпечення та охолодження приміщень влітку для існуючих споживачів. Оцінка можливостей розміщення нових споживачів теплової енергії, зокрема, теплиць чи басейнів.
3. Оцінювання раціональних глибин встановлення геотермальних модулів та визначення їх типів (відкриті чи закриті систем, діапазон встановлення чи глибина й витрата відбору води) з критерію можливості використання тепла в місцевих кліматичних умовах.
4. Розрахунок теплових насосів для нагріву та охолодження.

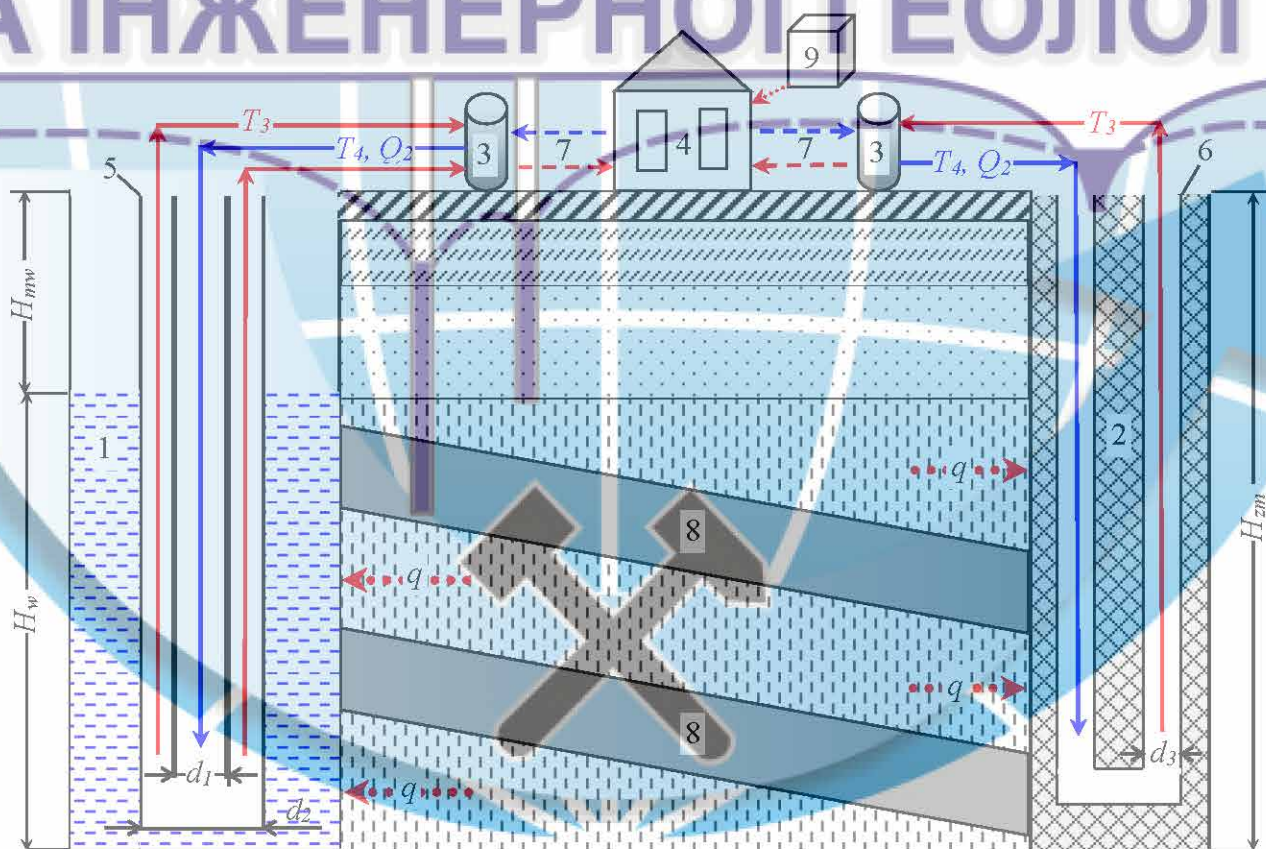


Рисунок 5.3 – Схема закритої геотермальної системи з коаксіальним та

U-подібним зондом в межах території непрацюючої шахти: 1, 2 – відповідно зона обводнення та закладення гірничих виробок; 3 – тепловий насос; 4 – споживачі теплової енергії; 5, 6 – коаксіальний та U-подібний зонд; 7 – прямий і зворотний рух теплоносія з насоса до споживачів; 8 – вуглевміщуючі породи; 9 – пікова котельня

6. ОЦІНКА ГІДРОДИНАМІЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЗАКРИТИХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ШАХТАХ

Порівняльний аналіз ефективності освоєння теплового ресурсу шахт розташованих на території Донбасу був здійснений на основі їх гірничотехнічних і термодинамічних характеристик. Необхідно відзначити, що в процесі розрахунку теплового потоку на метр зонда на глибині z приймалося допущення про сталість температури теплоносія її початковим значенням T_0 , а також відсутності термічного опору тепловіддачі від теплоносія до стінки зонда і самої стінки, на увазі їх не значної величини.

При зроблених припущеннях сумарний тепловий потік який відбирається геотермальним зондом може бути визначений з виразу

$$q_{ext} = \sum_{z=1}^{Hw} q_{ext_z}(z) \quad (6.1)$$

де $q_{ext_z}(z)$ – тепловий потік на метр зонда на глибині z , рівний

$$q_{ext_z}(z) = \frac{(T_{nat}(z) - T_0)}{R_2 + R_3}, \quad (6.2)$$

$T_{nat}(z)$ – температура води на заданій глибині

$$T_{nat}(z) = T_{nl} + \Gamma \cdot z, \quad (6.3)$$

R_2 – термічний опір теплопровідності зовнішньої труби зонда

$$R_2 = \frac{1}{2\lambda_z \pi} \ln \left(\frac{d_{z\ out}}{d_{z\ int}} \right) \quad (6.4)$$

R_3 – термічний опір теплопровідності шахтних вод

$$R_3 = \frac{1}{2\lambda_w\pi} \ln \left[\frac{2y_0}{d_{z\ out}} + \sqrt{\left(\frac{2y_0}{d_{z\ out}}\right)^2 - 1} \right] \quad (6.5)$$

де λ_z – коефіцієнт теплопровідності труби; $d_{z\ out}$, $d_{z\ int}$ – відповідно її зовнішній і внутрішній діаметр; λ_w – коефіцієнт теплопровідності води; y_0 – відстань від осі зонда до контуру шахтного стовбура.

Знаючи сумарний тепловий потік (q_{ext}), можна визначити температуру теплоносія на виході з геотермального зонда за наступним виразом

$$T_2 = \left(\frac{q_{ext}}{QC_f\rho_f} \right) + T_0 \quad (6.6)$$

де Q , C_f , ρ_f – відповідно витрата, питома теплоємність і щільність теплоносія.

Для порівняння ефективності роботи зондів на різних шахтах можна встановити середній знімання з їх одного погонного метра

$$q_{ext\ s} = \frac{q_{ext}}{H_w} \quad (6.7)$$

де H_w – потужність зони затоплення.

У практиці використання теплообмінників для оцінки ефективності їх роботи застосовують також показник теплогідродинамічної досконалості (E) і ККД (η), значення яких визначається за допомогою наступних рівнянь

$$E = q_{ext} / Q\Delta P \quad (6.8)$$

де ΔP – гідродинамічний опір, що виникає при прокачуванні теплоносія, що оцінюється на основі співвідношення

$$\Delta P = \rho_f g H_z \quad (6.9)$$

H_z – втрата напору в трубах зонда

$$H_z = H_{z1} + H_{z2}, \quad H_{z1} = \frac{4\chi_{z1}H_w}{(d_{zint} - d_{zout})} \cdot \frac{v_{f1}^2}{2g}, \quad H_{z2} = \frac{\chi_{z2}(H_w + H_{mw})}{d_{zint}} \cdot \frac{v_{f2}^2}{2g} \quad (6.10)$$

де d_{out} , d_{int} – зовнішній і внутрішній діаметр внутрішньої труби зонда; H_m , H_{mw} – відповідно глибина шахти і рівня затоплення; χ_z – коефіцієнт тертя при течії в трубі

$$\chi_{z1} = \frac{0,309}{[\lg(\text{Re}_1/7)]^2}, \quad \chi_{z2} = \frac{0,309}{[\lg(\text{Re}_2/7)]^2} \quad (6.11)$$

Для визначення числа Рейнольдса (Re) у формулі (6.11) спочатку необхідно встановити швидкість течії теплоносія в зонді, що може бути зроблено за допомогою таких висловів (рис. 6.1)

$$v_{f1} = \frac{Q}{S_{z\text{int}}}, \quad S_{z\text{int}} = S_{1z\text{int}} - S_{2z\text{int}}, \quad S_{1z\text{int}} = \frac{\pi d_{z\text{int}}^2}{4}, \quad S_{2z\text{int}} = \frac{\pi d_{\text{out}}^2}{4}, \quad (6.12)$$

$$v_{f2} = \frac{Q}{S_{\text{int}}}, \quad S_{\text{int}} = \frac{\pi d_{\text{int}}^2}{4}$$

тоді число Re дорівнюватиме

$$\text{Re}_1 = \frac{v_{f1}(d_{z\text{int}} - d_{\text{out}})}{2\nu_f}, \quad \text{Re}_2 = \frac{v_{f2}d_{\text{int}}}{\nu_f} \quad (6.13)$$

де v_{f1}, v_{f2} – швидкість течії теплоносія в зазорі між зовнішньою і внутрішньою трубою і у внутрішній трубі; $S_{z\text{int}}, S_{\text{int}}$ – площа перерізу зазору і внутрішнього перетину внутрішньої труби; $S_{1z\text{int}}, S_{2z\text{int}}$ – площа внутрішнього перерізу зовнішньої труби і зовнішнього перетину внутрішньої труби; ν_f – кінематична в'язкість теплоносія.

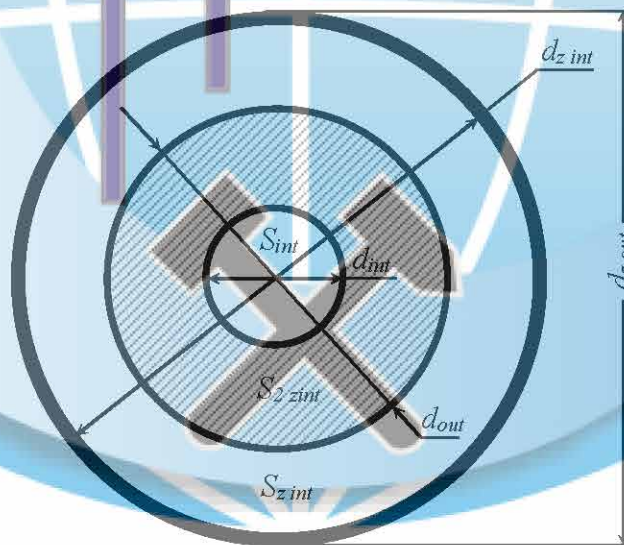


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема коаксіального зонда в перерізі по площі

Коефіцієнт корисної дії зонда може бути визначений за наступним виразом

$$\eta = q_{ext} / q_{ext \max} \quad (6.14)$$

де $q_{ext \max}$ – максимальний тепловий потік, який може бути отриманий в даних умовах

$$q_{ext \max} = QC_f \rho_f (T_{sr} - T_0)$$

T_{sr} – середня температура шахтних вод навколо зонда

$$T_{sr} = \frac{T_{nat}(H_{mw} + H_w) + T(H_{mw})}{2}$$

При використанні теплоносіїв зондів в якості низько потенційного джерела енергії в випарнику теплового насоса ефективність їх роботи може бути оцінена за допомогою коефіцієнта перетворення насоса COP , що визначається з виразу

$$COP = h \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (6.15)$$

де h – коефіцієнт термогідродинамічної досконалості теплового насоса; T_1 – температура в системі опалення будівлі.

У програмному середовищі Mathcad за допомогою формул (6.1) – (6.15) були визначені показники ефективності роботи коаксіального і U-подібного геотермального зонда в зоні обводнення 27 шахт Донбасу (рис. 3.1). Аналіз отриманих результатів (рис. 6.2 – 6.7) дозволив встановити найбільш перспективні закриті шахти для освоєння їх геотермального ресурсу, характеристика яких наведена в табл. 6.1. У розрахунках приймалися наступні значення вихідних параметрів: $T_{nl} = 10$ °С; $T_0 = 6$ °С; $\lambda_z = 0,2$ U-подібний зонд та 45 коаксіальний (Дж/с·м·°С); $\lambda_w = 0,7$ Дж/с·м·°С; коаксіальний зонд ($d_{z \text{ out}} = 0,146$ м; $d_{z \text{ int}} = 0,14$ м; $d_{int} = 0,08$ м; $d_{out} = 0,035$ м) та U-подібний зонд ($d_{z \text{ out}} = 0,049$ м; $d_{z \text{ int}} = 0,042$ м); $C_f = 3600$ Дж/кг·°С; $\rho_f = 1020$ кг/м³ (34 % водный раствор этиленгликоля); $\nu_f = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $T_1 = 55$ °С; $h = 0,5$; $Q = 2,77 \cdot 10^{-3}$ м³/с. Геотермічний градієнт і теплофізичні властивості порід приймалися відповідно до даних з розділу 4.

Аналіз отриманих даних показує більш ефективну роботу коаксіального геотермального зонда ($q_{ext\ max} = 4 \cdot 10^5$ Вт, $T_2\ max = 25$ °С, $COP = 5,5$) в порівнянні з U-подібним ($q_{ext\ max} = 1,5 \cdot 10^5$ Вт, $T_2\ max = 20$ °С, $COP = 4,7$). Крім того встановлено збільшення показників ефективності роботи зондів (сумарного теплового потоку, температури теплоносія на виході, коефіцієнта перетворення теплового насоса) з ростом потужності зони затоплення шахти та глибини до рівня затоплення.

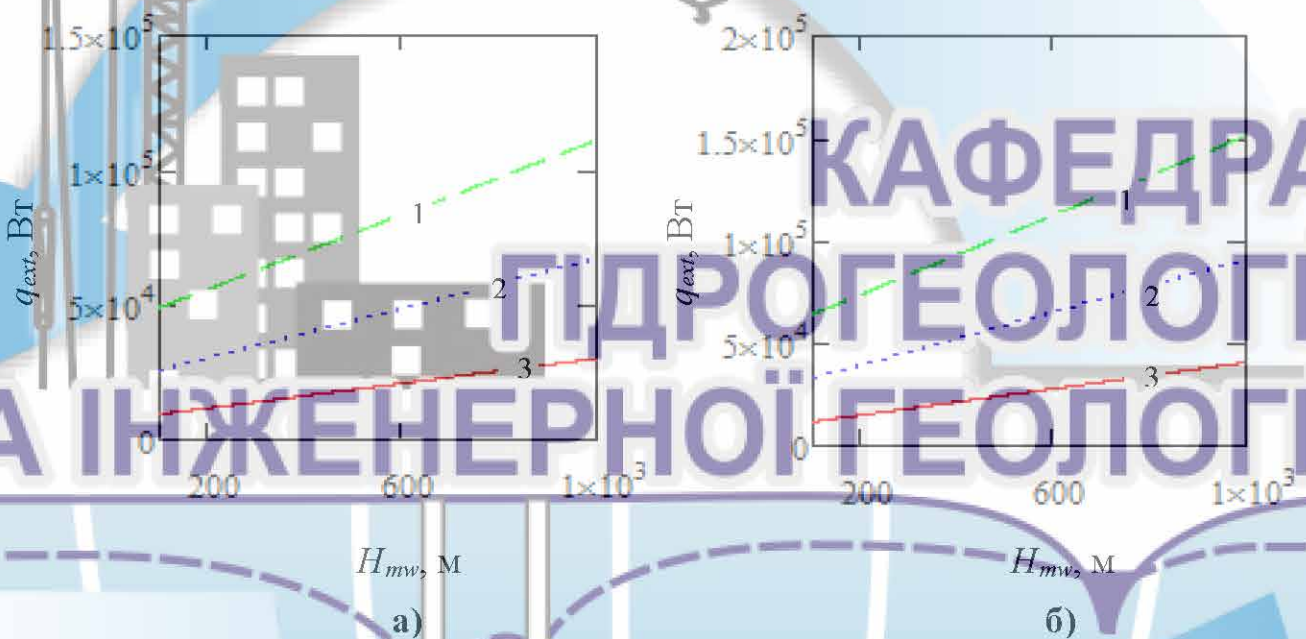


Рисунок 6.2 – Сумарний тепловий потік який відбирається U-подібним геотермальним зондом при геотермічному градієнті 0,025 °С/м (а) та 0,035 °С/м (б) з зони затоплення шахти потужністю: 1 – 3 – 900, 600 та 300 м

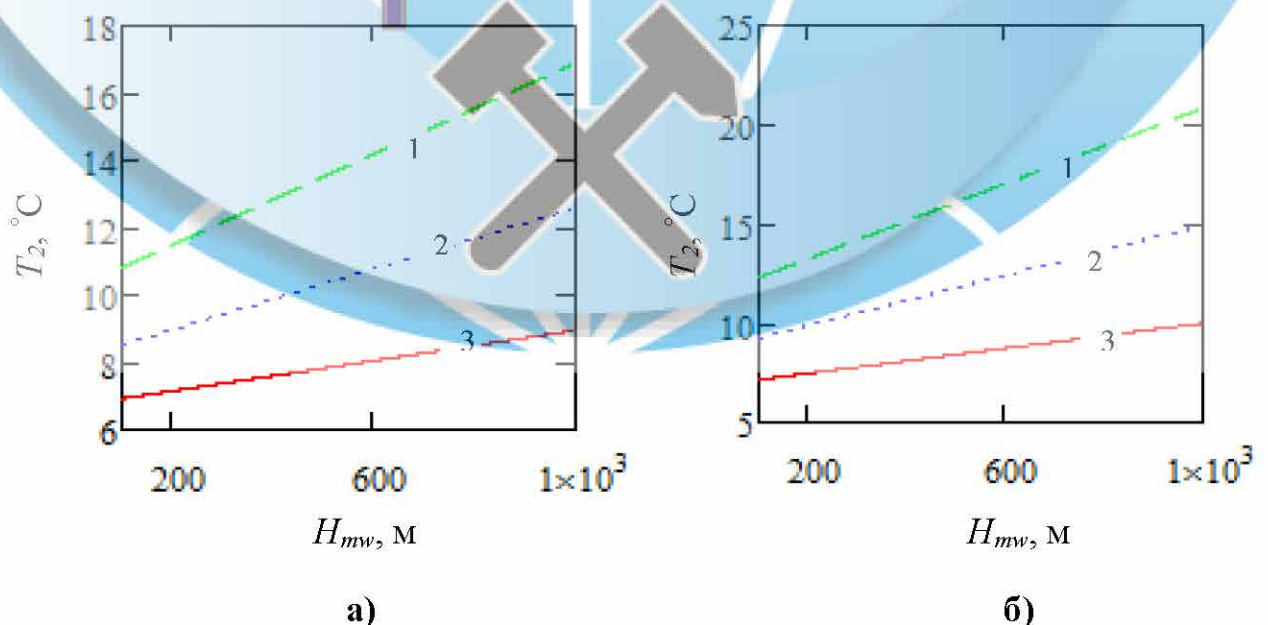


Рисунок 6.3 – Температура теплоносія на виході з U-подібного геотермального зонду при геотермічному градієнті $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (а) та $0,035\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (б) та потужності зони затоплення шахти: 1 – 3 – 900, 600 та 300 м

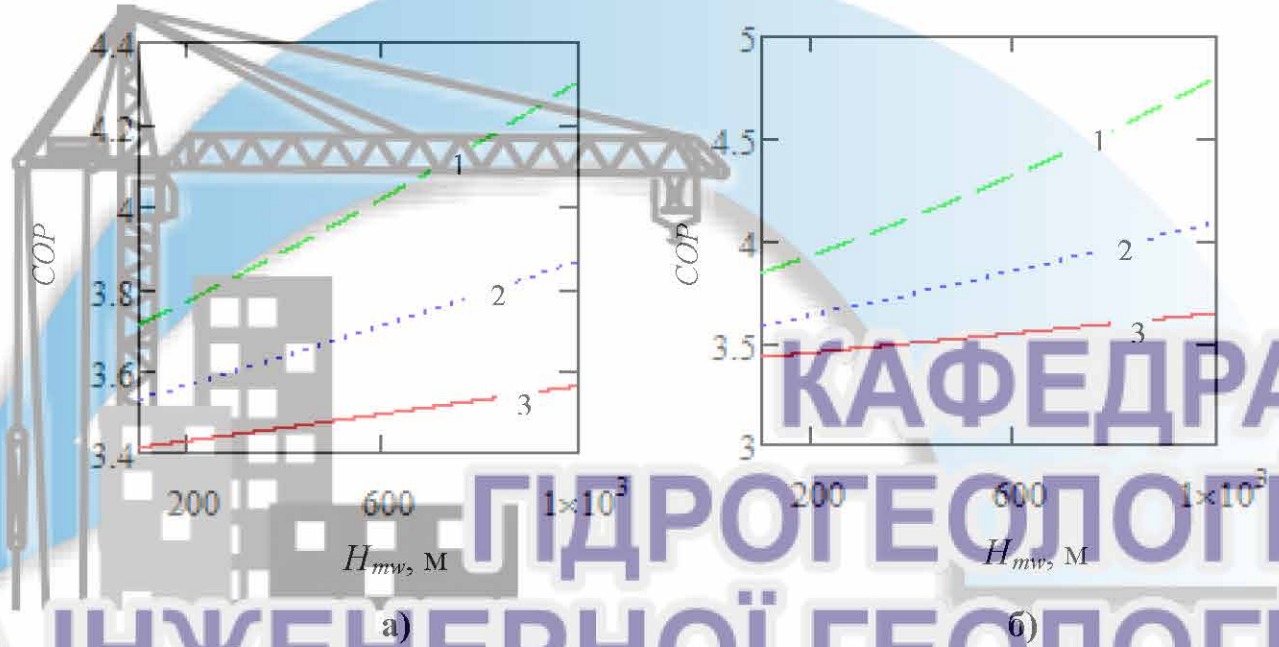


Рисунок 6.4 – Коефіцієнт перетворення теплового насоса який використовує U-подібний геотермальний зонд при геотермічному градієнті $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (а) та $0,035\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (б) та потужності зони затоплення шахти: 1 – 3 – 900, 600 та 300 м

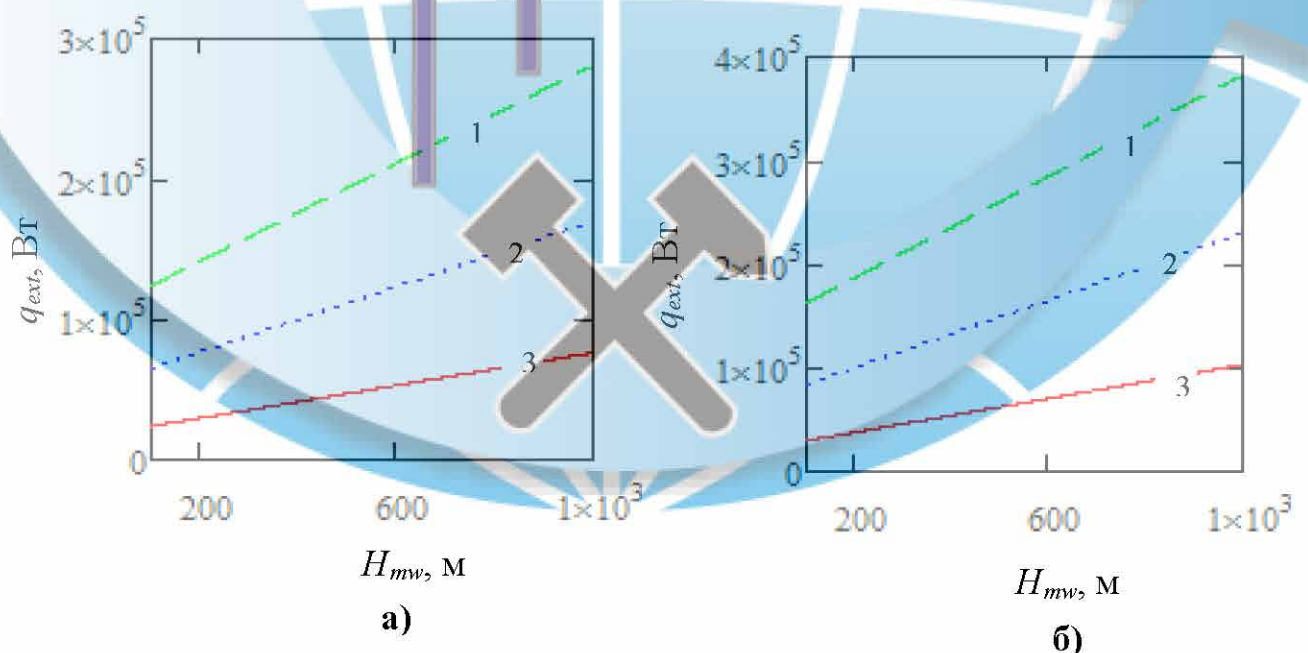


Рисунок 6.5 – Сумарний тепловий потік якій відбирається коаксіальним геотермальним зондом при геотермічному градієнті $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (а) та $0,035\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (б) з зони затоплення шахти потужністю: 1 – 3 – 900, 600 та 300 м

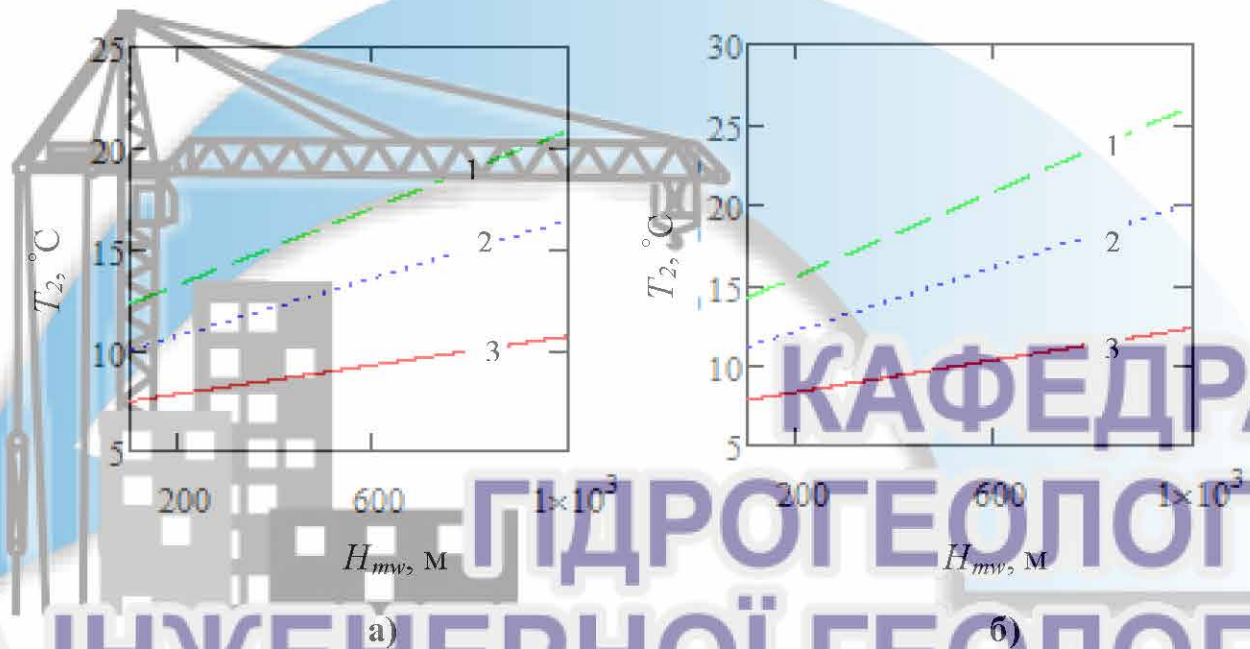


Рисунок 6.6 – Температура теплоносія на виході з коаксіального геотермального зонду при геотермічному градієнті $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (а) та $0,035\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (б) та потужності зони затоплення шахти: 1 – 3 – 900, 600 та 300 м

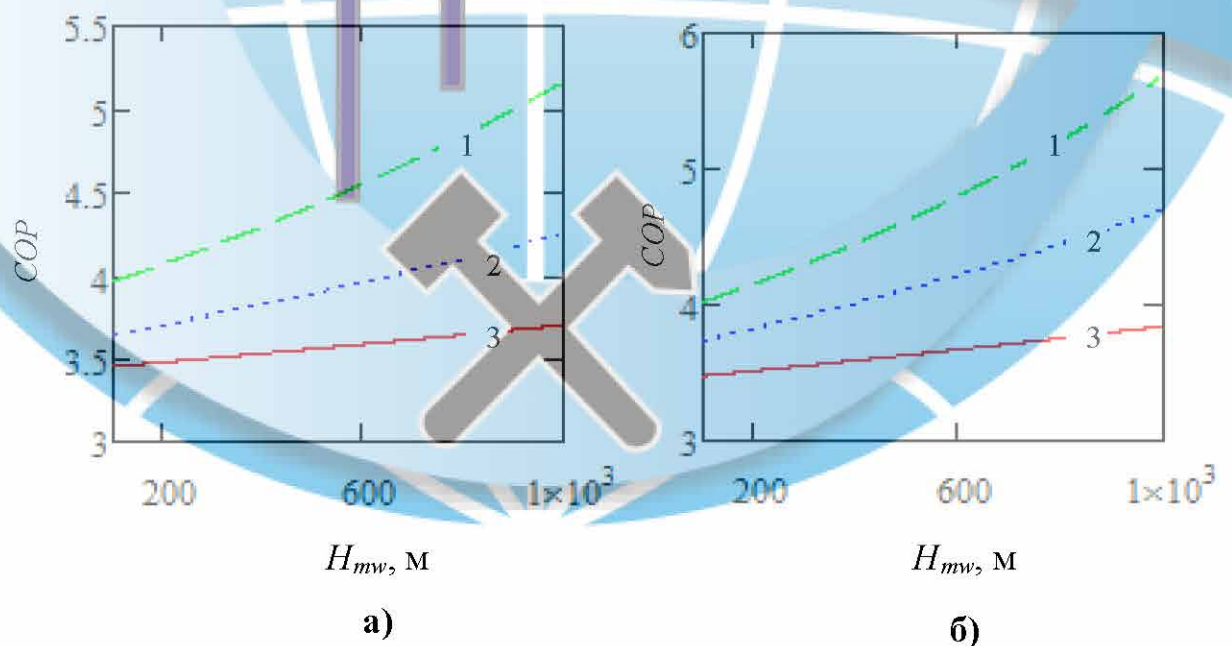


Рисунок 6.7 – Коефіцієнт перетворення теплового насоса який використовує коаксіальний геотермальний зонд при геотермічному градієнті $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (а) та $0,035\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (б) та потужності зони затоплення шахти: 1 – 3 – 900, 600 та 300 м

Крім того, аналіз отриманих даних показує збільшення показників ефективності зондів з ростом геотермального градієнту. Разом з тим, інші показники ефективності зонда (коефіцієнт теплогідродинамічного досконалості і перетворення насоса) не мають такої чіткої закономірності і залежать від сукупності термодинамічних і гірничотехнічних характеристик шахти.

Таблиця 6.1 – Показники ефективності роботи коаксіального геотермального зонда в перспективних шахтах Донецького басейну

№	Назва шахти	$\Gamma, \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$	$H_{ms}, \text{ м}$	$H_{nws}, \text{ м}$	$H_w, \text{ м}$	$q_{exts}, \text{ Вт/м}$	$q_{ext}, \text{ Вт}$	$T_2, \text{ }^{\circ}\text{C}$	E	η	COP
1	Артема	0,0278	1200	270	930	61,25	56962	32,20	262,68	0,92	9,08
2	60 радянської України	0,0361	1018	120	898	61,59	55305	31,43	278,80	0,91	8,70
3	Леніна	0,0333	1190	474	716	79,60	56993	32,21	303,60	0,83	9,08
4	Гагаріна	0,0361	948	251	697	64,35	44851	26,63	269,70	0,80	6,91
5	Гайового	0,0390	1095	439	656	84,86	55667	31,60	322,90	0,76	8,78

Розроблена методика для оцінки показників ефективності роботи геотермальних зондів в зоні обводнення гірничих виробок була апробована на 27 непрацюючих шахтах Донбасу. Проведені на її основі розрахунки в програмному середовищі Mathcad дозволили виділити 5 найбільш перспективних шахт для освоєння їх геотермального потенціалу, а також визначити показники роботи в них геотермальних систем.

ВИСНОВКИ

Аналіз світового науково-практичного досвіду освоєння залишкового ресурсу непрацюючих шахт показує, що більшість запропонованих геотермальних систем направлено на відбір теплової енергії яка міститься в породному масиві і шахтних водах, поповнення запасів якої відбувається за рахунок теплового потоку з надр Землі. При цьому їх переважна більшість має відносно невелику теплову потужність (до 1 МВт), яка достатня для опалення однієї чи кількох будівель розташованих біля шахт.

Виконаний з метою встановлення можливості використання теплового ресурсу закритих шахт аналіз геологічних умов Донбасу показав, що в геологічній будові території беруть участь: комплекс глибоко метаморфізованих осадових, осадово-вулканогенних, ультрамета-морфічних і інтрузивних порід докембрію, кори їх вивітрювання, а також осадові відклади девонської кам'яновугільної системи мезозою, палеогенової, неогенової і четвертинної системи кайнозою, які складають декілька структурних поверхів.

Фізико-географічні і геологічні умови відбилися на характері розповсюдження підземних вод території Донбасу, обумовили різноманітність ресурсів, умов живлення, розвантаження, хімічного складу мінералізації, захищеності від забруднення тощо. Гідрогеологічні підрозділи виділяються за умов розчленування геологічного розрізу на товщі, що мають однакові типи циркуляції підземних вод, значення проникності, характеру водоносності у просторі і часі. В залежності від умов циркуляції на площі аркушу виділяються порові, порово-тріщинні, тріщинно-карстові і тріщинні підземні води.

У зв'язку з тим, що значна частина непрацюючих шахт Донецького вугільного басейна знаходиться на неконтрольованій території, дані щодо більшос-

ті з них неповні. Разом з тим для 27 закритих шахт Донбасу встановлено, що глибина введення гірничих робіт на цих шахтах змінюється від 320 до 1200 м, глибина до рівня шахтних вод – від 50 до 1000 м, потужність зони обводнення гірничих виробок – від 50 до 900 м. Основними літологічними різновидами порід, що складають продуктивну товщу карбонівих відкладів району, як зазначено вище, є аргіліти, алевроліти та пісковики. При цьому аргіліти складаються з глинистої речовини та уламкового матеріалу (10 – 20 %), який розсіяний серед глинистої речовини, алевроліти – представлені чергуванням тонких шарів аргіліту та дрібнозернистого пісковика, пісковики – складаються з уламкового матеріалу, що зцементований глинистою, зрідка кременисто-глинистою речовиною. Результати досліджень, свідчать про те, що величини показників фізико-механічних властивостей однакових за літологічним складом порід у районі змінюються в широких межах.

Необхідно відзначити, що непрацюючі шахти Донбасу розташовані в районах з різними значеннями геотермального потоку. Шахти на північному сході (Родіна, Первомайська, Бежанівська) знаходяться в районах з найнижчим геотермальним потоком $45 - 50 \text{ мВт/м}^2$; шахти в південно-східній частині поблизу м. Покровськ (Селідовська, Новгородівська 2 та Коротченко) знаходяться в районі з вищим геотермальним потоком $50 - 55 \text{ мВт/м}^2$, шахти з найбільшим геотермальним потоком – у центральному районі Донбасу на північ від Горлівки (Гагаріна, Леніна, Гаєвого та ін.) зі значеннями понад 65 мВт/м^2 , в деяких районах – до 80 мВт/м^2 .

За конструкцією геотермальні модулі підрозділяються на 2 основних типи. В одних як джерело теплової енергії використовуються безпосередньо самі шахтні води (відкриті системи), в інших – теплоносій (25 – 38% водний розчин етиленгліколю), що циркулює по U-подібним або коаксіальним геотермальним зондам (замкнуті). За місцем встановлення замкнуті системи поділяються на ті, в яких зонди розташовані в зоні обводнення або закладення виробленого простору. У свою чергу відкриті системи поділяються на ті які скидають шахтну воду після теплового використання та очищення до гідрографічної мережі, і ті які

повертають її до підземних виробок. Перевагою відкритих систем є набагато більша продуктивність за рахунок інтенсивного забору води на закритих шахтах, недоліком використання на відміну від закритих систем забруднених та мінералізованих шахтних вод.

Принципова загальна схема роботи закритих геотермальних модулів на базі непрацюючої шахти включає розташовані в гірничих виробках шахти теплообмінники, в яких циркулює теплоносієм з температурою, яка нижче температури оточуючих шахтних вод, гірських порід або матеріалу для закладення виробленого простору. В результаті відібрана теплова енергія з порушеного породного масиву, який повністю або частково затоплений, надходить до теплового насоса. Вироблена насосом теплова енергія подається споживачу. Для покриття піків споживання теплової енергії в холодну пору року використовується додаткова котельня яка працює на традиційних енергоносіях (вугілля, газ).

Порівняльний аналіз ефективності освоєння теплового ресурсу шахт розташованих на території Донбасу був здійснений на основі їх гірничотехнічних і термодинамічних характеристик. Необхідно відзначити, що в процесі розрахунку теплового потоку на метр зонда на заданій глибині приймалося допущення про сталість температури теплоносія її початковим значенням, а також відсутності термічного опору тепловіддачі від теплоносія до стінки зонда і самої стінки, на увазі їх не значної величини.

У програмному середовищі Mathcad були визначені показники ефективності роботи коаксіального і U-подібного геотермального зонда в зоні обводнення шахт Донбасу. Аналіз отриманих результатів дозволив встановити найбільш перспективні закриті шахти для освоєння їх геотермального ресурсу та показав більш ефективну роботу коаксіального геотермального зонда ($q_{ext\ max} = 4 \cdot 10^5$ Вт, $T_{2\ max} = 25$ °С, $COP = 5,5$) в порівнянні з U-подібним ($q_{ext\ max} = 1,5 \cdot 10^5$ Вт, $T_{2\ max} = 20$ °С, $COP = 4,7$). Крім того встановлено збільшення показників ефективності роботи зондів (сумарного теплового потоку, температури теплоносія на виході, коефіцієнта перетворення теплового насоса) з ростом потужності зони затоплення шахти та глибини до рівня затоплення. Також, аналіз отри-

маних даних показує збільшення показників ефективності зондів з ростом геотермального градієнту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Салехірадж С.Ш. Обґрунтування параметрів використання системи відбору геотермальної енергії в умовах глибоких вугільних шахт : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.09. Донецьк, 2014. 25 с.
2. Долінський А.А., Халатов А.А. Геотермальна енергетика: виробництво електричної і теплової енергії. *Вісник НАН України*. 2016. № 11. С. 76–86.
3. White D. E. Thermal waters of volcanic origin. *Bulletin of the Geological Society of America*. 1957. Vol. 68, No 12. P. 1637–1657.
4. White D. E. Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of geothermal energy resources. *Geothermics*. 1970. Vol. 1, No 2. P. 58–80.
5. The Future of Geothermal Energy in the 21 Century Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States. Report : Massachusetts Institute of Technology, 2006. 372 p.
https://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/future_geo_energy.pdf
6. Geothermal Power Database. World Geothermal Congress 2023. URL: <https://www.lovegeothermal.org/explore/our-databases/geothermal-power-database/> (дата звернення: 15.04.2023).
7. Richter A. Global geothermal power generation capacity stood at 16,127 MW at the year-end 2022. The annual capacity additions remain below pre-covid times. URL: <https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2022-power-generation-capacity-mw/> (дата звернення: 15.02.2023).
8. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-8> (дата звернення: 05.02.2023).
9. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report : *World Geothermal Congress*. Melbourne, Australia, 2015. 19 p. URL: <https://earth.stanford.edu/404-sdss> (дата звернення: 03.01.2023).
10. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Київ : НТУ «КПІ», 2012. 495 с.
11. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. URL: <http://energetika.in.ua/ua/> (дата звернення: 01.04.2023).

12. Економічні й екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих і промислових територій: монографія / заг. ред. Г. Г. Півняка. Дніпропетровськ : НГУ, 2013. 176 с.

13. World Geothermal Congress 2015.

URL: <https://www.lovegeothermal.org/the-world-geothermal-congress-2015/> (дата звернення: 01.02.2023).

14. IMWA 2017 – Mine Water & Circular Economy. Lappeenranta, Finland, 2017. URL: <https://www.imwa.info/imwaconferencesandcongresses/proceedings/300-proceedings-2017.html> (дата звернення: 03.03.2023).

15. SW China's Guizhou to add 20 Mtpa coal capacity each yr during 14th FYP. URL: <http://www.sxcoal.com/news/4622590/info/en> (дата звернення: 03.02.2023).

16. Coal India plans to shut 37 mines this fiscal year. URL: <https://www.businesstoday.in/latest/corporate/story/coal-india-plans-to-shut-37-mines-this-fiscal-year-76432-2017-06-09> (дата звернення: 01.02.2023).

17. Гурін А.О., Немченко А.А., Опшмянський І.Б. Аерологія гірничих підприємств. Кривий Ріг : КТУ, 2007. 462 с.

18. Мартинов В.К., Федько М.Б. Розрахунки основних виробничих операцій, процесів та систем розробки рудних родовищ. Кривий Ріг : КТУ, 2010. 274 с.

19. LANUV Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie warmes Grubenwasser: Geothermie, Technischer Bericht 90, 2018, Recklinghausen: 154 pp. (in German). https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/LANUV-Fachbericht_90_web.pdf

20. Фомін В. О. Прогнозування зміни припливу підземних вод до ліквідованої шахти. *Уголь України*. 2015. № 5. С. 20–24.

21. Banks D., Athresh A., Al-Habaibeh A., Burnside N. Water from abandoned mines as a heat source: practical experiences of open- and closed-loop strategies, United Kingdom. *Sustainable Water Resources Management*. 2019. No 5. P. 29–50. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0094-7>

22. Bojadgieva K., Benderev A., Gerginov P., Hristov V.. The Abandoned Underground Cherno More Coal Mine (SE Bulgaria) – a Source of Low Grade Geothermal Energy. *Comptes rendus de l'Académie Bulgare des Sciences: Sciences mathématiques et naturelles*. 2013. No 66. P. 565–572.

23. Loredó C., Roqueñí N., Ordóñez A. Modelling flow and heat transfer in flooded mines for geothermal energy use: A review. *Int J of Coal Geology*. 2016. No 164. P. 115–122.

24. Lund J. W., Toth J. W. Direct Utilization of Geothermal Energy. *Worldwide Review. Proc. World Geothermal Congress*. 2020. 39 p.

25. Gillespie M. R., Crane E. J., Barron H. F. Deep geothermal energy potential in Scotland British Geological Survey Geology and Landscape, Scotland Programme. Commissioned Report Cr/12/131. 2013. 125 p.

26. Redevelopment of European mining areas into sustainable communities by integrating supply and demand side based on low exergy principles.

URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/38639> (дата звернення: 01.05.2022).

27. Veld P., Roijen E.J.A.E., Bojadgieva K., Benderev A., Hristov V. Potential use of geothermal energy from abandoned coal mines (Remining-Lowex project). *Int Multidiscipl Sci GeoConference: SGEM*, Sofia, 2008. Vol. 2. P. 319–326.

28. Ramos E., Breede K., Falcone G. Geothermal heat recovery from abandoned mines: a systematic review of projects implemented worldwide and a methodology for screening new projects. *Environmental Earth Sciences*. 2015. Vol. 73, P. 6783–6795. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4285-y>

29. Півняк Г.Г., Самуся В.І., Оксень Ю.І. Теорія та практика теплонасосної утилізації теплоти шахтної води. *Уголь України*. 2017. № 3. С. 6–10.

30. Walls D., Banks D., Boyce A., Burnside N. A Review of the Performance of Minewater Heating and Cooling Systems. *Energies*. 2021, 14, 6215. <https://doi.org/10.3390/en14196215>

31. Karu V., Robam K., Valgma I. Potential usage of underground minewater in heat pumps. *Estonian Geographical Society*. 2012. P. 1–20.

32. Verhoeven R., Willems E., Harcouët-Menou V., Boever E., Hiddes L., Veld P., Demollin E. Minewater 2.0 project in Heerlen the Netherlands: transformation of ageothermal mine water pilot project into a full scale hybrid sustainable energy infrastructure for heating and cooling. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 46, P. 58–67. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.158>

33. Bremerich-Ranft B. Das Erdwärmesonden-Testfeld am Energiezentrum Willich – Vorstellung und bisherige Erkenntnisse. Präsentation an 16. NRW Geothermiekonferenz. 3.9.2020.

34. Empfehlungen Oberflächennahe Geothermie – Planung, Bau, Betrieb und Überwachung. Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften e.V. (DGG), Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). 2015. 290 p.

35. Sanner B., Karytsas C., Mendrinos D., Rybach L. Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. *Geothermics*. 2003. № 32. P. 579–588.

ВІДЗИВ

наукового керівника на кваліфікаційну роботу ступеня магістр НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності 103 «Науки про Землю», студента гр. 103м-22-1 Кнюх Веніаміна Леонідовича «Оцінка гідродинамічних та термодинамічних параметрів експлуатації геотермальних систем закритого типу в умовах затоплених шахт»

Зв'язок завдання на кваліфікаційну роботу з об'єктом діяльності магістра.

Завдання на представлену кваліфікаційну роботу безпосередньо пов'язано з об'єктом діяльності магістра за освітньо-професійною програмою «Гідрогеологія» спеціальності 103 «Науки про Землю» – дослідженням водообміну на техногенно порушених територіях.

Актуальність. Відповідно до цілей сталого розвитку ООН (Боротьба зі зміною клімату, Інновація і інфраструктура, Чиста енергія, Чиста вода), у даний час у світі на тлі зростання частки альтернативних джерел енергії в енергобалансі відбувається стагнація споживання і видобутку вугілля при одночасному скороченні видобутку в європейських країнах, що супроводжується закриттям вугільних підприємств. Бельгія закрила свої вугільні шахти ще в 1992 р., Франція – у 2004 р., Великобританія – у 2015 м. Остання вугільна шахта в Німеччині Prosper-Haniel закрилася в грудні 2018 р. З 1996 по 2013 рр. в Україні було ліквідовано 37 вугільних підприємств, а за перспективними планами уряду до 2050 р. в країні мають бути закриті 29 шахт.

Відповідно до світових тенденцій, Україна має намір відмовитися від теплових електростанцій за рахунок «зеленої» енергетики. Перехід до нової структури енергетики ускладнюється понад 200-річним періодом інтенсивного видобутку вугілля, який призвів до суттєвої техногенної перебудови геологічних структур і критичного екологічного стану. Зокрема, низькопотенційна теплова енергія сотень мільйонів кубометрів шахтних вод у Донбасі, які щорічно ски-

даються у поверхневій водотоки, не використовується, а самі скиди призводять до засолення річок, водоносних горизонтів та джерел водопостачання.

Відповідність змісту стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК.

Зміст роботи повністю відповідає стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК. Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновку, переліку посилань, та додатків.

Інноваційність отриманих рішень. Досягнення поставленої у магістерській роботі мети здійснювалось автором шляхом аналізу геологічних, гідрогеологічних та техногенних умов Донецького вугільного басейну; вивчення гірничотехнічної характеристики шахт району, а також геотермічних та теплофізичних властивості порід вугленосної товщі; обґрунтування технологічних схем експлуатації закритих геотермальних систем; оцінки гідродинамічних і теплових параметрів роботи геотермальних систем на непрацюючих шахтах.

Практичне значення результатів. Запропоновані технічні рішення, спрямовані на освоєння енергетичного й емісного ресурсів закритих вугільних шахт.

Недоліки. В роботі не проаналізовані переваги відкритих геотермальних систем освоєння теплового ресурсу шахт.

Ступінь самостійності виконання. Студент Кнюх В.Л. виконав кваліфікаційну роботу самостійно за допомогою консультацій наукового керівника.

Застосування ПЕОМ, реальність, комплексність. Всі розрахунки виконані автором з використанням обчислювальної техніки та свідчать про його високий рівень підготовки як фахівця. Робота оформлена у відповідності з вимогами до кваліфікаційних робіт ступеню магістра, має необхідний графічний та табличний матеріал.

Комплексна оцінка. Кваліфікаційна робота Кнюх Веніаміна Леонідовича відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми «Науки про Землю» і заслуговує оцінки «добре», а її автор Кнюх В.Л. – присвоєння кваліфікації магістр за спеціальністю 103 – Науки про Землю.

Науковий керівник:

проф. каф. гідрогеології та інженерної геології

д.т.н., проф.

О.В. Інкін

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістр

НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності 103 «Науки про Землю»,

студента гр. 103м-22-1 Кнюх Веніаміна Леонідовича

«Оцінка гідродинамічних та термодинамічних параметрів експлуатації геотермальних систем закритого типу в умовах затоплених шахт»

У магістерській роботі Кнюха В.Л. на основі гірничотехнічних і термодинамічних характеристик закритих шахт Донецького басейну був виконаний порівняльний аналіз ефективності освоєння їх теплового ресурсу. У програмному середовищі Mathcad були визначені показники ефективності роботи коаксіального і U-подібного геотермального зонда в зоні обводнення шахт Донбасу.

Аналіз отриманих результатів дозволив встановити найбільш перспективні закриті шахти для освоєння їх геотермального ресурсу та показав більш ефективну роботу коаксіального геотермального зонда в порівнянні з U-подібним. Крім того встановлено збільшення показників ефективності роботи зондів (сумарного теплового потоку, температури теплоносія на виході, коефіцієнта перетворення теплового насоса) з ростом потужності зони затоплення шахти та глибини до рівня затоплення.

Всі розрахунки виконані автором з використанням обчислювальної техніки. Робота оформлена у відповідності з вимогами до кваліфікаційних робіт ступеню магістра, має необхідний графічний та табличний матеріал.

Дипломна робота магістра Кнюх В.Л. заслуговує оцінки «Добре».

Доцент каф. геології та

розвідки родовищ корисних копалин,

Додаток 3

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи бакалавра

студента групи 103м-22-2

(шифр групи)

Кнюх Веніаміна Леонідовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Оцінка гідродинамічних та термодинамічних параметрів експлуатації геотермальних систем закритого типу в умовах затоплених шахт»

Науковий керівник проф. Інкін О.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Unicheck

Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	Оригінальність	70
	Схожість	30

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи та відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними та мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховання недобросовісних запозичень.

Науковий керівник

проф. Інкін О.В.


Нормо контролер

доц. Дерев'ягіна Н.І.

Зав. кафедри

доц. Загриценко А.М.

18.12.2023 р.



КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

The logo is a circular emblem with a blue and white color scheme. The top half shows a construction crane and a building. The bottom half shows a cross-section of the Earth with geological layers, a large blue arrow pointing right, and a crossed hammer and pickaxe. The text 'КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ' is written in a bold, blue, sans-serif font across the middle of the emblem.