

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)

студентки Огійченко Вікторії Вікторівни  
(ІПБ)

академічної групи 103М-19-2  
(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Гідрогеологія»  
(офіційна назва)

на тему Гідрогеологічні передумови і динаміка формування теплового ресурсу шахтних полів Західного Донбасу на основі моделювання

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Інкін О.В.			
розділів:				
Загальний	Ішков В.В.			
Спеціальний	Інкін О.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Загриценко А.М.			

Дніпро  
2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Рудаков Д.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«        »

2020 року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеню магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки Огійченко Вікторії Вікторівни академічної групи 103М-19-2  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

за освітньо-професійною програмою «Гідрогеологія»

на тему Гідрогеологічні передумови і динаміка формування теплового ресурсу  
шахтних полів Західного Донбасу на основі моделювання

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 16.11.2020 № 947-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Аналіз світового, європейського та українського досвіду розробки теплового ресурсу відпрацьованого вуглепородного масиву і шахтних вод. Гірничо-геологічні та горнотехнічні умови експлуатації шахт Західного Донбасу.	17.10.20-30.10.20
Спеціальний	Розробка чисельної гідрогеологічної моделі шахти ім. Сташкова, визначення динаміки формування та параметрів водоприпливів на різних горизонтах шахти.	31.10.20-20.11.20
	Оцінка теплового ресурсу шахтних вод різних горизонтів, встановлення теплової потужності геотермальної системи, розрахунок запобігання шкідливих викидів в атмосферу та економічної ефективності від роботи геосистеми.	21.11.20-12.12.20

**Завдання видано**

(підпис керівника)

Інкін О.В.

(прізвище, ініціали)

**Дата видачі**

15.10.2020

**Дата подання до екзаменаційної комісії**

15.12.2020

**Прийнято до виконання**

(підпис студента)

Огійченко В.В.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: текстові додатки 84 с., рисунків 16, таблиць 15, джерел 39.

ВУГІЛЬНІ РОДОВИЩА, ЗАТОПЛЕНА ШАХТА, ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ, ЄМНІСНИЙ РЕСУРС, ГЕОТЕРМАЛЬНА СИСТЕМА.

*Об'єкт досліджень* – термодинамічні, геологічні та технологічні фактори і процеси, які супроводжують формування та техногенні перетворення теплоємнісного ресурсу шахти.

*Предмет досліджень* – геотехнологічні параметри нагнітання, зберігання та відбору шахтних вод у вугільних родовищах для опалення будівель на денній поверхні.

*Мета роботи* – виконання кількісної оцінки теплоємнісного ресурсу шахти ім. Сташкова за допомогою чисельного моделювання й обґрунтування технологічних способів його освоєння синхронно періодам підвищеного споживання теплоносіїв.

*Наукова новизна* – досліджений механізм теплопереносу в гірничому масиві шахти, що супроводжується періодичним закачуванням та відбором шахтних вод різних горизонтів, а також їх нагріванням природним геотермічним потоком.

Для вирішення поставленої мети досліджено нерівномірний характер фільтрації та водопритоку у виробленому вугільному масиві залежно від його геологічної будови й обсягів. Запропонована і протестована на основі оберненої задачі чисельна модель геофільтрації дозволила встановити динаміку зниження напору підземних вод та відновлення їх рівня після відключення водовідливу.

Обґрунтована геотермальна система, яка забезпечує ефективне освоєння теплового ресурсу затопленої шахти за рахунок відбору та закачування вод різних горизонтів для теплопостачання будівель у відповідності з температурою зовнішнього повітря. На прикладі шахти ім. Сташкова встановлено, що використання шахтних вод як джерела низькопотенційної енергії в теплових насосах в порівнянні з іншими альтернативними варіантами (грунтові води і поверхневі водотоки) дасть більш великі коефіцієнти перетворення. Економічна ефективність запропонованої системи, в залежності від горизонту відбору шахтних вод і температури споживача тепла, змінюється від 20 до 55 тис. грн на добу. Крім того, її використання дозволить істотно скоротити викиди  $CO_2$  в атмосферу (до 120 т/добу).

*Практична цінність* – обґрунтовані параметри експлуатації геотермальної системи для багаторазового використання теплового ресурсу шахтних вод шляхом їх відбору та закачування з різних горизонтів для теплопостачання будівель.

*Соціальний ефект* – обґрунтовані параметри системи під час опалювального періоду практично повністю покриває теплові потреби розташованих поблизу шахти населених пунктів.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ МИРОВОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ .....	7
2. ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ, ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННІ УМОВИ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ .....	20
3. ФІЛЬТРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕНОСНОЇ ТОВЩИ.....	37
4. РОЗРОБКА ТА АПРОБАЦІЯ ЧИСЕЛЬНОЇ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ШАХТИ ІМ. СТАШКОВА.....	44
5. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОСВОЄННЯ ТЕПЛОВОГО РЕСУРСУ ШАХТНИХ ВОД .....	61
6. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ.....	69
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	77
ДОДАТКИ.....	81

## ВСТУП

**Актуальність досліджень.** Займаючи 0,45 % загальносвітової поверхні суші, Україна за обсягами гірничодобувних робіт, які тривають понад 200 років і супроводжуються значним впливом на навколишнє середовище, входить до першої десятки країн світу. Для старих вугледобувних регіонів характерна суттєва техногенна перебудова геологічних структур і критична екологічна ситуація, що з урахуванням існуючої гострої проблеми нестачі та несинхронності споживання енергоносіїв свідчить про технологічне відставання країни у використанні природно-техногенних ресурсів зосереджених на відпрацьованих ділянках. До цих ресурсів відносяться залишені після відпрацювання шахтних підземні води, які знаходяться в затоплених гірничих виробках. Крім того, змінений в результаті гірничих робіт масив містить потужний ємнісний ресурс, здатний акумулювати рідкі енергоносії в обсязі, достатньому для згладжування сезонних коливань їх споживання.

Основною причиною такої ситуації є неузгодженість різних стадій розвідки, розробки і згорання гірничих робіт на вугільних родовищах. У техніко-економічних і геологічних прогнозах ефективності відпрацювання шахтних полів недостатньо розглядаються передумови формування й обсяги супутніх корисних компонентів і колекторів, гідротермальний ресурс яких оцінюється як негативний на етапі розробки вугільних пластів, а на етапі завершення гірничих робіт взагалі не враховується. Тому для визначення умов формування та потенціалу техногенних гідротермальних родовищ, технологічного обґрунтування комплексного освоєння теплового ресурсу ліквідованих гірничодобувних підприємств, здатного на сучасному рівні економічної ефективності задовольнити потреби ринку країни у тепловій енергії, необхідні відповідні кількісні оцінки.

**Мета роботи** – виконання кількісної оцінки теплоємнісного шахти ім. Сташкова за допомогою чисельного моделювання й обґрунтування технологічних способів його освоєння синхронно періодам підвищеного споживання теплоносіїв.

**Задачі**, розв'язані в магістерській роботі, полягають у наступному: проаналізувати світової, європейський та український досвід розробки теплового ресурсу відпрацьованого вуглепородного масиву і шахтних вод; вивчити гірничо-геологічні та горнотехнічні умови експлуатації шахт Західного Донбасу; розробити чисельну гідрогеологічну модель шахти ім. Сташкова, визначити динаміку формування та параметрів водоприпливів на різних горизонтах шахти; оцінити тепловий ресурс шахтних вод різних горизонтів, встановити теплові потужності геотермальної системи, розрахувати запобігання шкідливих викидів в атмосферу та економічну ефективність від роботи геосистеми.

**Об'єкт досліджень** – термодинамічні, геологічні та технологічні фактори і процеси, які супроводжують формування та техногенні перетворення теплоємнісного ресурсу шахти.

**Предмет досліджень** – геотехнологічні параметри нагнітання, зберігання та відбору шахтних вод у вугільних родовищах для опалення будівель на денній поверхні.

**Наукова новизна** – досліджений механізм теплопереносу в гірничому масиві шахти, що супроводжується періодичним закачуванням та відбором шахтних вод різних горизонтів, а також їх нагріванням природним геотермічним потоком.

**Практична цінність** – обґрунтовані параметри експлуатації геотермальної системи для багаторазового використання теплового ресурсу шахтних вод шляхом їх відбору та закачування з різних горизонтів для теплопостачання будівель.

**Соціальний ефект** – обґрунтовані параметри системи під час опалювального періоду практично повністю покриває теплові потреби розташованих поблизу шахти населених пунктів.

## 1. АНАЛІЗ МИРОВОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Геотермальна енергія, що виникає головним чином за рахунок розпаду радіоактивних елементів в надрах Землі, володіє практично невичерпним ресурсом. Її світовий потенціал на глибині до 10 км оцінюється в 18000 трлн т у.п., що в 1700 разів більше геологічних запасів природних енергоносіїв [1]. При цьому на частку України припадає 1,12 і 2,38 трлн т у.п. міститься відповідно в 3- і 10- кілометрової товщі гірських порід. Потужність внутрішньоземної теплогенерації, обумовлена за інтегральним тепловим потоком до денної поверхні, в середньому становить  $58 \text{ мВт/м}^2$  і збільшується в районах активного вулканізму до 200 - 300  $\text{мВт/м}^2$ . Дана кількість теплоти значно більше теплової енергії, яка могла б бути отримана при розщепленні всіх світових ресурсів урану і торію. Величина теплогенерації перевищує колосальні космічні тепловтрати Землі (близько 10 ТВт) і постійно зберігає її позитивний тепловий баланс [2]. Наведені дані свідчать, що використання або перетворення якоїсь частки термальної енергії гірських порід не здатне значно змінити їх тепловий режим.

В даний час розвідка та експлуатація геотермальних родовищ ведеться більш ніж в 70 країнах світу (Америка – 19, Африка – 23, Європа – 15 і Азія – 10). У 58 державах діють промислові теплові станції з загальною встановленою потужністю 16,4 тис. МВт і річним виробленням тепла 192 тис. ТДж, зумовлюючої економію природних енергоносіїв у розмірі 8,2 млн т у.п. (табл. 1.1) [3]. Серед електростанцій, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, геотермальні превалюють і складають 62 % їх світової кількості (рис. 1.1). При цьому велика частина вироблюваної ними енергії в найближчій і віддаленій перспективі буде спрямована на тепlopостачання будівель і споруд. Пріоритетність цього напрямку обґрунтована зростаючим дефіцитом органічного палива і великими витратами тепла, що йдуть на опалення приміщень.

Незважаючи на інтенсивне мирне освоєння та екологічну безпеку тепла Землі геотермальні технології в Україні ще не досягли належного розвитку. Насам-

перед це пов'язано з високою вартістю механічного буріння глибоких і надглибоких свердловин, а також непридатністю вітчизняної техніки і обладнання до високих температур (150 – 200 °С) і агресивного впливу підземних вод. Застосування геотермальних, як правило, сильномінералізованих теплоносіїв призводить до заростання свердловин оксидом заліза, карбонатом кальцію і силікатними утвореннями. Ерозійні і корозійні процеси різко зменшують термін експлуатації бурових машин і механізмів. Крім того, джерела геотермальної енергії в переважній більшості віддалені від споживача, що створює великі втрати видобуваного тепла в процесі транспортування.

В даний час розвідка та експлуатація геотермальних родовищ ведеться більш ніж в 70 країнах світу (Америка – 19, Африка – 23, Європа – 15 і Азія – 10). У 58 державах діють промислові теплові станції з загальною встановленою потужністю 16,4 тис. МВт і річним виробленням тепла 192 тис. ТДж, зумовлюючої економію природних енергоносіїв у розмірі 8,2 млн т у.п. (табл. 1.1) [3]. Серед електростанцій, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, геотермальні превалюють і складають 62 % їх світової кількості (рис. 1.1). При цьому велика частина вироблюваної ними енергії в найближчій і віддаленій перспективі буде спрямована на теплопостачання будівель і споруд. Пріоритетність цього напрямку обґрунтована зростаючим дефіцитом органічного палива і великими витратами тепла, що йдуть на опалення приміщень.

Геотермальна енергія, що виникає головним чином за рахунок розпаду радіоактивних елементів в надрах Землі, володіє практично невичерпним ресурсом. Її світовий потенціал на глибині до 10 км оцінюється в 18000 трлн т у.п., що в 1700 разів більше геологічних запасів природних енергоносіїв [1]. При цьому на частку України припадає 1,12 і 2,38 трлн т у.п. міститься відповідно в 3- і 10- кілометрової товщі гірських порід. Потужність внутрішньоземної теплогенерації, обумовлена за інтегральним тепловим потоком до денної поверхні, в середньому становить 58 мВт/м<sup>2</sup> і збільшується в районах активного вулканізму до 200 – 300 мВт/м<sup>2</sup>. Дана кількість теплоти значно більше теплової енергії, яка могла б бути отримана при розщепленні всіх світових ресурсів урану і торію. Величина



теплогенерації перевищує колосальні космічні тепловтрати Землі (близько 10 ТВт) і постійно зберігає її позитивний тепловий баланс [2]. Наведені дані свідчать, що використання або перетворення якоїсь частки термальної енергії гірських порід не здатне значно змінити їх тепловий режим.

Таблиця 1.1 – Світове використання геотермальної енергії

Країна	Теплова потужність, МВт	Вироблена енергія, ТДж/рік	Економія палива, тис. т/рік
Китай	2282	37908	1630,04
Японія	1166	27515	1183,15
США	3766	20302	872,99
Ісландія	1469	20170	867,31
Туреччина	820	15756	677,51
Нова Зеландія	308	7081	304,48
Грузія	250	6307	271,20
Росія	307	6132	263,68
Франція	326	4895	210,49
Швеція	377	4128	177,50
Всього в 58 країнах	16407	191524	8235,53

Шляхи збільшення процентного вмісту геотермальної енергії в паливно-енергетичному комплексі України намічаються в освоєнні широко поширеного низькопотенційного тепла гірських порід, зростання інтересу до якого виникло в останні роки і викликано, головним чином, впровадженням теплонасосних систем, що відрізняються високою економічною (коефіцієнт перетворення тепла 2,5 – 5) та екологічною (відсутність шкідливих викидів) ефективністю. Джерелом тепла для насосів можуть служити характеризуючі поповненням запасів підземні води, укладені в пластах, які неглибоко залягають і затоплених гірничих виробках.

Зарубіжний науково-практичний досвід використання шахтних вод для опалення будівель показує можливість реалізації та рентабельність цієї геотехнології [4, 5]. На даний момент в світі виконується багато дрібномасштабних проектів, в яких тепло води із затоплених шахт застосовують для обігріву одно-двоповерхових будівель (Німеччина, Франція, Англія). Найбільш масштабним вважається голландський проект, який отримав назву MinewaterProject. У шахтар-

ському містечку Херлен вода шахти, що простояла затопленою близько 30-ти років, зараз обігріває близько 350 будівель, з яких більше 200 - житлові будинки. В рамках проекту в п'яти різних місцях над мережею штолень були пробурені свердловини до глибини 700 м. Вода, що наповнює шахту, на такій глибині має постійну температуру 32 °С, і за допомогою насосів викачується наверх. Далі, встигнувши охолонути до 28 °С, вона потрапляє в тепловий насос, де використовується в якості низкопотенційного джерела тепла для доведення води в трубах теплоцентралі міста до кондиційної температури. Віддавши закладене в собі тепло насосів, вода повертається в шахту і знову нагрівається. Необхідно відзначити, що в літній період ця ж система здатна здійснювати охолодження будівель шляхом відбору води з більш високих горизонтів (глибиною 100 – 200 м), де вона має температуру 10 – 13 °С.

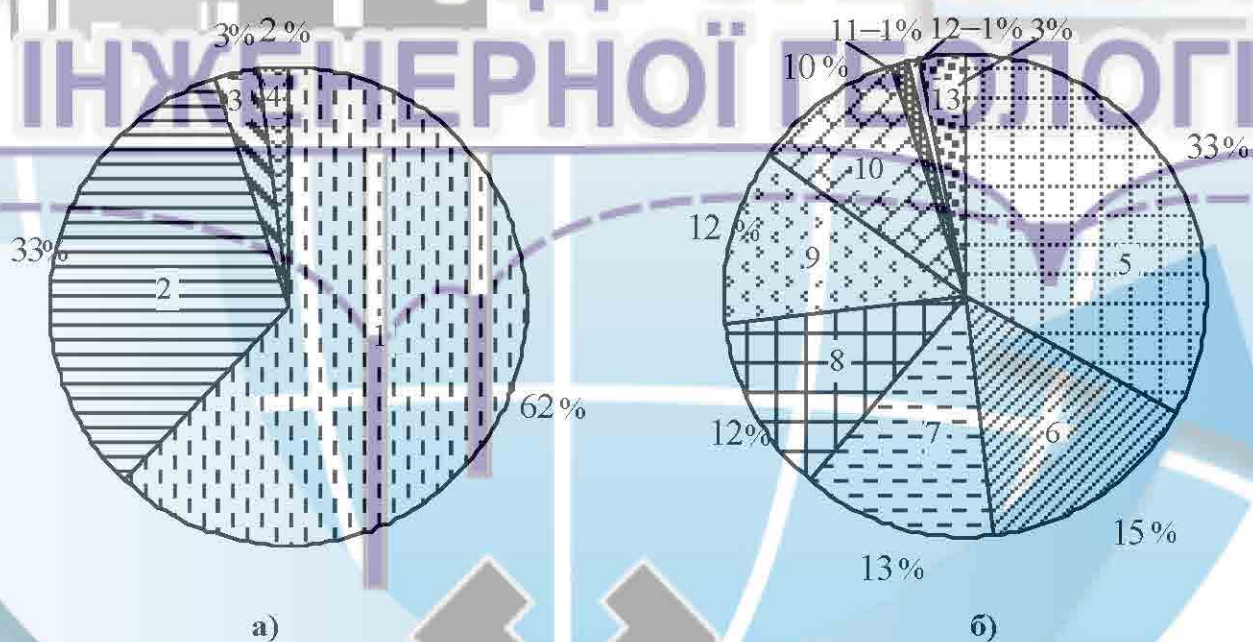


Рисунок 1.1 – Види електростанцій, що працюють за рахунок відновлюваних джерел енергії (а), та напрями використання геотермальних ресурсів (б): 1 – 4 – відповідно геотермальні, вітрові, сонячні та припливні; 5 – 13 – теплопостачання, басейни, рибництво, теплиці, теплові насоси, промисловість, кондиціонування, сушка та інші цілі

В Угорщині в долині Питьпалатть для функціонування системи опалення будівель з використанням тепла шахтних вод муніципалітетом м. Мішкольца створений некомерційний холдинг «Bányahő-hasznosító Holding Nonprofit Kft». Центром геосистеми є розташована неподалік від міста шахта Люкобаня, що містить затопленні на глибині 300 м гірничі виробки і укладені в них води з температурою 16 - 20 ° С. Їх відбір проводиться за допомогою експлуатаційних свердловин і забезпечує екологічно безпечне енергопостачання семи довколишніх населених пунктів.

Науково-дослідні роботи з утилізації тепла шахтних вод проводилися також у колишньому СРСР відділом енергозберігаючих технологій та природоохоронного устаткування інституту МНПЕКО ПЕК. У 1988 р. вперше була розроблена і впроваджена система використання тепла оборотної води компресорів на шахті «Ключевська» ВО «Кізелуголь» (Пермська область) із застосуванням теплових насосів. Проведені випробування показали економічну доцільність відбору раніше скидуємого тепла і поліпшення екологічної обстановки на прилеглих територіях за рахунок зниження навантаження на промислові котельні. Встановлено, що на 1 кВт·ч витраченої на привід теплового насоса електричної енергії виробляється 3 – 3,5 кВт·ч еквівалентної теплової.

У теперішній час в Російській Федерації діє програма поетапного фінансування та поступового нарощування продуктивності систем, що утилізують тепло шахтних вод. Так, наприклад у 2001 р, на шахті «Осінніковська» ВАТ «Кузнецквугілля» в Кемеровській області був введений в експлуатацію дослідно-промисловий модуль з відбору низькопотенційного тепла вод, відкачуваних на денну поверхню. На початковому етапі технологічна схема включала один тепловий насос потужністю 110 – 130 кВт, який дозволив отримати близько 60 м<sup>3</sup>/доб води з температурою 45 °С і повністю покрити потреби в гарячому водопостачанні адміністративної будівлі шахти. При цьому собівартість вироблюваної теплової енергії була на 60 % менше тепла, що поставляється від вугільної котельні. Застосування теплових насосів також запобігло штрафів за утворюємі при спалюванні вугілля шкідливі викиди в атмосферу. Подальші збільшення теплопродуктивності

геотермального модуля відбулося за рахунок установки додаткових теплових насосів, що дозволило повністю відключити шахтну котельню в міжопалювальний період.

Рентабельність застосування шахтних вод за допомогою теплових насосів для опалення та гарячого водопостачання будівель була також підтверджена в Україні на шахті «Благодатна» ВАТ «Павлоградвугілля». Їх відбір в кількості 200 м<sup>3</sup>/год із коефіцієнтом перетворення тепла 3,5 дозволив ДТЕК досягти річної економії в розмірі 60 тис. доларів США [7]. При цьому робота насоса виключала забруднення навколишнього середовища, що особливо важливо для екологічно небезпечних вугледобувних регіонів. Однак застосування теплових насосів на шахтах Донецького басейну не отримало широкого поширення зважаючи на великі капітальні витрати на їх установку і обслуговування.

Серед нетрадиційних способів тепло- та холодопостачання споруд, крім утилізації тепла шахтних вод, останнім часом широко застосовуються акумулюючі геосистеми, призначені для опалення та кондиціонування будівель за рахунок збереження літнього тепла і зимового холоду у водоносних колекторах. Така система складається зі свердловин, через які з земної поверхні в пласт закачується вода з температурою, характерною для даної пори року (рис. 1.2).

Одні свердловини служать для зберігання тепла, інші - холоду [8]. Влітку вода з «холодних» свердловин надходить у систему кондиціонування повітря і, віддавши холод, вже з більш високою температурою закачується в пласт через «теплі» свердловини. Таким чином, по міру подачі холодоносія споживачеві, в пласті відбувається скорочення запасу холоду і одночасне збільшення запасу тепла. Взимку напрямок процесу змінюється. Тепла вода подається в тепловий насос для опалення та гарячого водопостачання будівель і, після віддачі тепла, надходить у пласт-колектор через «холодні» свердловини. При цьому в пласті зростає запас холоду, а запас тепла зменшується. Зберігання теплоносіїв у водоносних пластах є одним з найбільш швидко розвиваємих напрямків застосування відновлюваної енергії в світі. Щорічний приріст таких систем в більш ніж 30 країнах за минулі 10 років склав близько 15 % [9]. Одержувана низькокондиційна теплова

енергія в більшій частині (85 %) використовується для обігріву приміщень. При цьому вельми важливою перевагою роботи акумулюючих геосистем є економія викопних палив і скорочення емісії вуглекислого газу

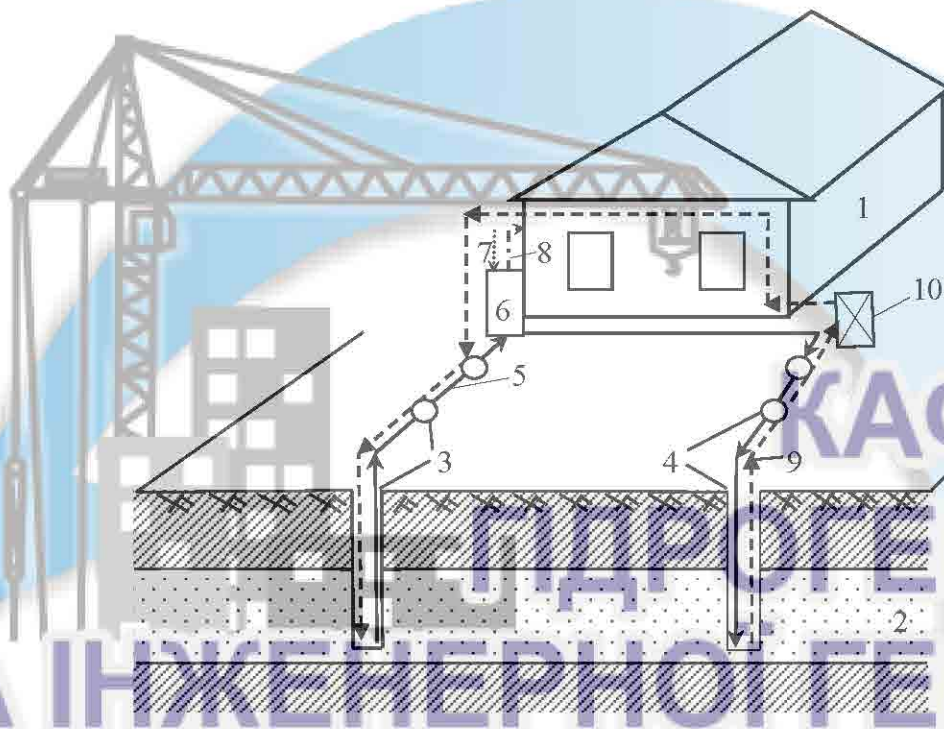


Рисунок 1.2 – Схема тепло- та холодопостачання будівель за допомогою системи підземного акумулювання теплової енергії: 1 – будівля; 2 – водоносний колектор; 3, 4 – «холодні» і «теплі» свердловини; 5 – шлях руху води з «холодної» свердловини влітку; 6 – система кондиціонування повітря; 7, 8 – зовнішнє і охолоджене повітря; 9 – шлях руху води з «теплої» свердловини взимку; 10 – тепловий насос

Розробкою і впровадженням систем підземного акумулювання теплової енергії у водоносних пластах активно займається Міністерство енергетики США, що здійснює фінансування пілотних проєктів. Головною організацією в даному напрямку є Pacific Northwest Lab (м. Річланд, штат Вашингтон), яка спільно з геологічною службою, університетами Обурні і Міннесоти проводить експериментальні роботи по зберіганню тепла на більш ніж 74 дослідно-промислових ділянках [10]. Проведені дослідження показали, що техніко-економічні показники геоциркуляційних систем оцінюються як дуже перспективні і збільшуються зі знижен-

ням глибини і вартості свердловин, а також із зростанням їх теплової потужності (табл. 1.2).

Крім США широкомасштабними дослідженнями в галузі створення та експлуатації акумулюючих геосистем займається і ряд інших країн. У Франції комісаріатом з атомної енергетики і компанією Eif Agnitaine в Тівєрваль-Гріньон (поблизу м. Версаль) була створена дослідна система тепlopостачання, що використовує як сховище теплової енергії водоносний горизонт, що залягає на глибині 500 м і обмежений в розрізі слабопрониклими сланцевими породами [12]. За результатами випробувань встановлено, що коефіцієнт акумуляції тепла (відношення витягнутої теплової енергії до закачаної) зростає з 50 % у першому сезоні до 70 % у третьому. Виробнича тепла потужність системи складає 50 МВт, а вироблена енергія – 324 тис. ГДж/рік.

Таблиця 1.2 – Питома вартість 1 МВт теплової енергії, одержуваної з акумулюючих геосистем в доларах США

Температура води, °С	Глибина свд., м	Вартість свд., долл./п.м	Теплова потужність геосистеми, МВт		
			1	10	100
100	50	150	8,37	1,62	0,97
		300	8,63	1,65	0,98
	300	150	10,38	2,31	1,78
		300	12,03	2,31	1,91
90	50	150	9,23	2,66	2,04
		300	9,50	2,71	2,09
	300	150	11,89	4,81	4,29
		300	13,65	5,16	4,62

У Китаї сезонне зберігання теплоти у водоносних колекторах розглядається в якості важливої складової економічно раціонального використання енергоресурсів [12]. Тут окрім опалення будівель акумулюючі геосистеми в 10 містах країни активно використовуються для їх кондиціонування в літній час. Більше того, за-

стосовувані системи крім регулювання температури повітря можуть змінювати і його вологість.

Радою з досліджень в Швеції було встановлено, що створення підземних ємкостей для гарячої води в порівнянні з накопиченням тепла в наземних сховищах має крім техніко-економічних ще й ряд екологічних переваг [13]. При цьому нетрадиційними джерелами тепла, необхідними для нагріву теплоносіїв, які подаються у водоносні пласти, може служити сонячна енергія, тепло промислових підприємств і поверхневих водотоків. На сьогоднішній день в країні діє понад 20 акумулюючих геосистем, що використовують як колектори залягаючі на невеликій глибині флювіогляціальні відкладення, розташовані в рр. Ландскруна, Стідсвіг, Ломма, Кліппан, Транос, Нікепінг і Содертельє.

Найбільш широке поширення установки підземного акумулювання тепла і холоду у водоносних пластах отримали в Нідерландах [14]. Ще в 1987 р. там було розроблено районування території країни по можливості зберігання теплоносіїв із температурою до і більше 50 °С в геологічних структурах. Історія розвитку і впровадження установок показала тенденцію переходу від простих схем накопичення тепла до комплексно-багатофункціональних технологій, пов'язаних з нетрадиційними джерелами енергії. В даний час в країні реалізовані і успішно функціонують більш сотні геоциркуляційних систем, призначення більшості з яких - зберігання зимового холоду для охолодження промислових і цивільних об'єктів в літній період. Потужність реалізованих проектів у середньому становить 500 – 1000 кВт, при цьому майже 60 % установок одночасно використовуються для накопичення тепла і холоду, що дозволяє скоротити викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу. Споживачами виробленої теплової енергії більш ніж в 40 % випадків є великі офісні будівлі (лікарні, торгові центри, виставкові зали, термінали аеропортів, промислові та сільськогосподарські об'єкти) з площею від 10 до 100 тис. м<sup>2</sup> (табл. 1.3).

У Данії актуалізація використання водоносних колекторів для накопичення тепла була визначена високою вартістю природних енергоносіїв. Виконані науково-дослідні роботи та пілотні проекти дозволили не тільки довести рентабельність цієї технології, але і сформулювати основні вимоги до гідрогеологічних умов за-

діяних ділянок: потужність водоносних пластів не менше 15 м, наявність слабопроникних порід покрівлі і підшви, низька швидкість фільтрації підземних вод і відсутність свердловин питного водопостачання. Також було встановлено норми теплоспоживання, згідно з якими використовувана теплова енергія не повинна перевищувати 0,4 ТДж/рік на 10 тис. м<sup>2</sup> водоносного горизонту.

Таблиця 1.3 – Показники роботи Нідерландських систем акумулювання теплової енергії у водоносних пластах

Найменування об'єкта, місто	Рік введення	Холодильна потужність, КВт	Частка накопичуваної енергії в		Річна економія		скорочення викидів, CO <sub>2</sub> , т/рік
			холододопостачанні, %	теплопостачанні, %	електрики, кВт·ч	газу, м <sup>3</sup>	
Офісна будівля, Амстелвен	1997	830	81	19	37500	100000	200
Лікарня, Гауда	1992	600	60	–	100000	81000	200
Офіс ANOVA, Амерсфорт	1996	2000	80	20	43000	228000	430
Виставковий центр, Утрехт	1993	10000	100	0	720000	0	450
Критий стадіон, Арнем	1998	2880	0	100	–	150000	265
Завод, Харденберг	1996	5200	100	0	3700000	0	2100
Торговий центр, Даувен	1999	930	100	0	29800	0	19

Порівняння теоретичних та експериментальних досліджень показало, що при проектуванні систем відбору та закачування тепла в підземний колектор не-



припустимо використання аналітичних рішень зважаючи на складність опису нестационарного теплопереносу, пов'язаного з сукупною дією його кондуктивної і конвективної складових, а також нелінійною зміною фізичних властивостей порід і граничних умов.

На закінчення необхідно відзначити що, незважаючи на досить великий позитивний досвід застосування теплових геодинамічних систем в затоплених гірничих виробках і обводнених породах, на сьогоднішній момент ще не існує чітких технологічних регламентів їх роботи в різних гірничо-геологічних умовах. Це свідчить про необхідність пошуку на території України водоносних колекторів та ліквідованих вугледобувних підприємств, здатних акумулювати значні обсяги теплової енергії, а також розробки адаптованих до них чисельних моделей фільтрації та теплопереносу, що відображають просторово-часову динаміку руху і зміни фізико-хімічних властивостей використовуваних теплоносіїв. За допомогою розроблених і протестованих моделей представляється можливим обґрунтувати технологічний регламент і термодинамічні параметри роботи акумулюючих геосистем у виділених геологічних структурах, що дозволить знизити споживання природних енергоносіїв для теплопостачання будівель та екологічне навантаження у вугледобувних регіонах.

Серед теплових ресурсів Донбасу, що сформувалися в результаті проведення гірничодобувних робіт, необхідно виділити ті, що виникають після закриття і мокрої консервації шахт. У затоплених виробках зосереджені техногенні запаси теплової енергії, до яких відносяться - геотермальна енергія, накопичена в шахтних водах, і некондиційні і малопотужні вугільні пласти, залишені після відпрацювання шахтного поля. Кількість невикористаного вугілля може досягати 30 – 50 % розвіданих запасів шахти (кілька млн тонн), а температура підземних вод, що заповнюють обсяг виробленого простору (десятки млн м<sup>3</sup>), доходить до 33 – 35 °С. При цьому кількість планованих до закриття вугільних підприємств у відповідності з різними реструктуризаційними програмами постійно збільшується. Якщо початковою постановою Кабінету Міністрів України № 280 від 28 березня 1997 р. в списку призупиняємих нараховувалося 76 шахт, з яких до 2001 р. 72

шахти були прийняті до ліквідації (найбільш великі – ім. Ілліча, «Кочегарка», «Червоногвардійська»), то в 2002 р. державним підприємством «Укрвуглереструктуризація» цей список був доповнений ще 29 вугледобувними підприємствами («Чорноморська», «Радянська», «Україна», «Сніжнянська» тощо). Наступні документи і нормативи уряду («Порядок ліквідації збиткових вугледобувних підприємств», «Про запобігання кризовим явищам у вугільній галузі», «Вугілля України») були спрямовані на подальшу консервацію нерентабельних шахт. На початок 2014 р. була повністю ліквідована 61 шахта, з яких за останні 3 роки – 34, що підтверджує активізацію процесу їх закриття (рис. 1.3).

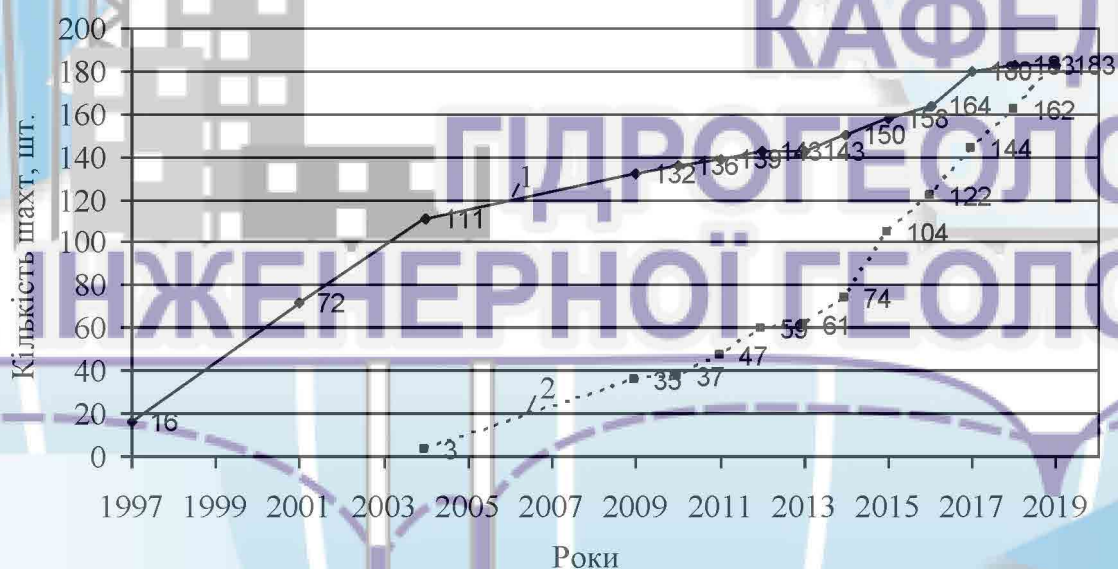


Рисунок 1.3 – Реальна і прогнозна динаміка закриття шахт в Україні:  
1 – прийнятих до ліквідації; 2 – повністю закритих

В даний час у стадії консервації знаходяться 82 вугільних підприємства, на етапі підготовки до закриття – 12, ще 29 шахт визнані глибоко збитковими і в подальшому також будуть ліквідовані [12]. Таким чином, у найближчому майбутньому (до 2020 року) на території Донбасу з'являться 183 закриті шахти, що постійно вимагають великих фінансових витрат (3,69 млрд грн) на свою безпечну гідродинамічну експлуатацію (рис. 1.4). Разом з тим, ліквідовані вугільні підприємства є сховищем величезних ресурсів теплової енергії, які, незважаючи на позитивні

вний світовий науково-практичний досвід розробки, в даний час практично не використовуються в Україні.

Крім ресурсів рідких і газоподібних теплоносіїв енергетично важливою складовою техногенно-природного середовища Донбасу є пласти-колектори, що мають добрі фільтраційно-ємнісні і герметичні властивості. До них відносяться водовміщуючі породи, що залягають в безпосередній близькості від земної поверхні і придатні для зберігання літнього тепла і зимового холоду, а також більш глибокі водоносні горизонти, здатні акумулювати газоподібні вуглеводні. Згідно геолого-гідрологічних умов [6] і фізико-механічних властивостей порід, найкращі колекторські параметри для періодичного накопичення та відбору газу мають пермсько-тріасові пісковики, поширені в Дніпровсько-Донецькій западині, Бахмутської та Кальміус-Горецькій улоговинах. Для виділеної товщі характерна добра обводненість, висока мінералізація ( $3 - 15 \text{ г/дм}^3$ ) і сульфатно-хлоридно-натрієво-кальцієвий склад. Її коефіцієнти фільтрації змінюються від 0,3 до 0,9 м/добу, а витрати свердловин складають  $1,9 - 5 \text{ дм}^3/\text{с}$  при зниженні 1 – 3 м. Пермсько-тріасовий водоносний горизонт має напір, збільшується по мірі його занурення під вищезалягаючий пласт слабопроникних глин. Потужність відкладів змінюється від 170 до 750 м і розділяється двома свитами.

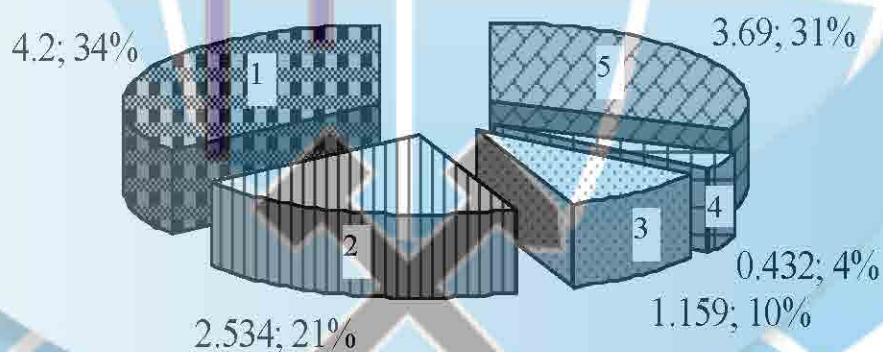


Рисунок 1.4 – Співвідношення витрат (млрд грн) при ліквідації 82 українських шахт: 1 – демонтажні роботи; 2 – побутове паливо; 3 – подолання соціально-економічних наслідків; 4 – інші витрати; 5 – утримання після закриття шахт

## 2. ГРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ, ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННІ УМОВИ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Тектоніка району визначається його положенням на стику двох структур Дніпровсько-Донецької западини і Українського кристалічного щита. В структурній будові району виділяється три поверхи – жорсткий докембрійський фундамент, товща моноклінально залягаючих палеозойських та мезозойських порід з пологим  $1-4^\circ$  падінням у північно-східному напрямку до осі западини і горизонтально залягаюча товща відкладів кайнозою. Поверхня докембрія також погрузається до осі западини під кутом  $1-3^\circ$ .

В межах площі поширення докайнозойських порід широко розвинуті розломи, найбільш великі із них: Центральний, Павлоградський і Добровольський. Центральний скид – один із крупних розломів. Амплітуда скиду зменшується з південного сходу на північний захід, змінюючись від 300 до 100м. Від центрального скиду відгалужується ряд другорядних скидів – апофіз.

Простягання скидів переважно північно-західне, падіння північно-східне під кутом  $45-50^\circ$ , рідше  $70-75^\circ$ . Виникнення скидів відноситься до кінця пермського періоду, коли єдиний масив розчленився на глибові структури. В умовах цього рельєфу відбулось накопичення тріасових опадів. Починаючи з юрського до середньосарматського часу включно на території відбувались неодноразові трансгресії і регресії. Кінець неогену – час закладання сучасної гідрографічної мережі.

У четвертинному періоді розпочався ерозійно-аккумулятивний цикл в континентальних умовах, хід якого визначився настанням і відставанням льодовиків (дніпровського і валдайського). Під час цього циклу були сформовані основні риси сучасного рельєфу і гідрографічної мережі і відбулось накопичення покривної товщі еолових, алювіальних, делювіальних і елювіальних відкладів.

В геоструктурному відношенні район робіт відноситься до зони зчленування Дніпровсько-Донецької западини з Українським кристалічним щитом, північна його частина належить до південно-західного борту Дніпровсько-Донецької западини, південна – до Українського кристалічного щита.

Найбільш давніми відкладами в районі є кристалічні породи докембрію, повсюдно перекриті піщано – глинистою осадовою товщею. Осадовий комплекс в даному районі, представлений відкладами палеозою (кам'яновугільна і девонська системи), мезозою (тріасова і юрська системи), кайнозою (палеогенова, неогенова і четвертинна системи).

*Докембрійські утворення (AR – PR).*

Мають повсюдне поширення. На півдні території, що описується, вони виходять під неогенові та четвертинні відклади, а убік Дніпровсько-Донецької западини занурюються під осадки кам'яновугільної товщі. Представлені, в основному, піроксенітами, гнейсами, гранітогнейсами, гранітами і дріскою гранітів. Глибина залягання порід коливається від 21.9 до 208.5м. Потужність розкритої товщі складає 52.7м.

*Палеозойські відклади (Pz).*

Палеозойські відклади представлені породами девону і нижнього карбону.

*Девонські відклади (D)* розповсюджені на півдні району і залягають на кристалічних породах докембрію. Представлені сірими аркозовими пісковиками, доломітизованими вапняками і аргілітами. Розкрита потужність досягає 15.95м.

*Кам'яновугільні відклади (C)* мають широке розповсюдження на площі району, що описується. Представлені ярусами – турнейським і візейським.

*Турнейський ярус (C<sub>1t</sub>).* Відклади турнейського ярусу залягають на розмитій поверхні девонських утворень, а ближче до півдня характеризуємої площі – безпосередньо на кристалічних породах докембрію. Представлені світло-сірими, крупнокристалічними, місцями кавернозними вапняками і аргілітами, розкрита потужність яких коливається від 13.75 до 71.9м. Глибина залягання коливається від 30.0 до 126.20 м. Покрівлею вапняків є візейські відклади, а в місцях їх виходу під покривні відклади – піски бучацької світи.

*Візейський ярус (C<sub>1v</sub>)* відкладення візейського ярусу мають широке розповсюдження в межах району. Літологічно вони представлені перешарованою товщею аргілітів, алевролітів, пісковиків, вугілля робочої і неробочої потужності і

рідше вапняків. Глибина залягання коливається від 40.5м на півдні району, до декількох сотень метрів на півночі.

#### *Мезозойські відклади (Mz)*

На даній площі представлені тріасовою та юрською системами, потужність яких складає 320м.

*Тріасові відклади (T)* розповсюджені у північній частині району, за межами ділянки робіт (граф. дод.1). Глибина залягання їх коливається від 52м на південній межі розповсюдження до 280м на півночі району. Тріасові відклади представлені строкатими піщаними глинами, пісковиками, галечниками.

*Юрські відклади (J)* також розповсюджені тільки на півночі району, за межами ділянки. Представлені вони перешарованою товщею сірих глин, пісків, пісковиків, рідше вапняків, загальною потужністю до 140.0м. Глибина залягання коливається від 65.0 до 77,0м.

*Кайнозой (Kz)* осадки кайнозою мають повсюдне розповсюдження на площі району і представлені відкладами палеогенової, неогенової та четвертинної систем.

*Палеогенова система (Pg)* представлена буцацькою, обухівською та межигірською світами.

*Буцацькі відклади (Pg<sub>2bč</sub>)* розвинуті повсюдно, відсутні лише на південно-західній частині – району підняття кристалічного щита. Літологічно вони представлені дрібнозернистими і тонкозернистими, іноді глинистими, темно-сірими з бурватим відтінком пісками, в нижній частині товщі з включеннями гальки. Потужність відкладів досягає 35.0м, глибина залягання коливається від 26,4 до 61.1м.

Буцацькі піски незгідно залягають на відкладах юрської і тріасової систем, а в місцях їх відсутності на більш древніх відкладах карбону та докембрію.

*Обухівські відклади (Pg<sub>2ob</sub>)* розвинуті повсюдно. Вони трансгресивно залягають на пісках буцацької світи на глибині 18.5 – 42.2м. Літологічно вони представлені зеленувато-сірими, кварцево-глауконітовими, тріщинуватими пісковиками з окремими лінзами голубувато-сірого мергелю у покрівлі і лінзами мергелистої глини в підшві пісковиків.

У покрівлі обухівських відкладів залягають сірувато-зелені, тонкозернисті кварцево -глауконітові, сильно глинисті піски межигірської світи. Потужність коливається від 2.0 до 26.95м.

*Межигірські відклади ( $Pg_3mž$ )* розповсюджені повсюдно, відсутні на півдні характеризуємої площі в місцях підняття порід кристалічного щита. Літологічно відклади представлені кварцево-глауконітовими, тонкозернистими, сильно глинистими пісками, потужністю до 20 м.

*Новопетрівська світа неогену ( $N_{1np}$ )* На переважній площі району неогенові відклади відсутні, розповсюджені тільки на схилах долин і вододільних плато. Літологічно представлені строкатими глинами і жовтувато-сірими, тонко і дрібнозернистими глинистими пісками, загальною потужністю 0-15.0м.

*Нерозчленовані відклади неогену і четвертинної систем ( $N_2-Q_1$ )* в межах характеризуємої площі розповсюджені лише на плато і схилах плато. Представлені вони червоно-бурими глинами, рідше суглинками і дрібнозернистими глинистими пісками, загальною потужністю від 0 до 20.0м.

*Відклади четвертинної системи ( $Q_{1-4}$ )* в межах характеризуємої площі представлені верхнім і сучасним відділами. До верхнього відділу відносяться алювіальні відклади I і II терас річки Вовчої.

Представлені сірими різнозернистими, в нижній частині крупнозернистими пісками древнього алювію потужністю 0.50 – 14.20 м. Глибина залягання відкладів коливається від 0.50 до 26.3м.

До сучасного відділу віднесені ґрунтовий покрив, алювіальні і пролювіальні відклади заплави і еолові (кучугурні) відклади. Сучасні алювіальні відклади представлені дрібнозернистими слабкоглинистими і глинистими пісками з лінзами глин і суглинків.

У відповідності до геологічної будови у межах району виділяються такі водоносні горизонти і комплекси:

- водоносний горизонт четвертинних відкладів;
- водоносний горизонт відкладів новопетрівської світи неогену;
- водоносний горизонт відкладів межигірської світи палеогену;

- водоносний горизонт відкладів обухівської світи палеогену;
- водоносний горизонт відкладів бучацької світи палеогену;
- водоносний горизонт юрських відкладів;
- водоносний горизонт тріасових відкладів;
- водоносний комплекс відкладів візейського ярусу кам'яновугільної системи;
- водоносний комплекс відкладів турнейського ярусу кам'яновугільної системи;
- водоносний горизонт девонської системи;
- водоносний горизонт докембрійських утворень.

*Водоносний горизонт четвертинних відкладів.* Води четвертинних відкладів розвинуті повсюдно і пристосовані до алювіальних відкладів I і II терас р. Вовчої.

Водомісткі породи представлені різнозернистими пісками. Потужність обводненої товщі 0.5 – 14.2м.

Водоносний горизонт алювіальних відкладів ґрунтового типу, тільки в окремих місцях, де у покрівлі пісків залягають лінзи суглинків, мають незначний напір до 1.0м, іноді більше (до 9,25 м). Статичні рівні встановлюються на глибині 0.08 – 12.40м від поверхні землі. Напрямок потоку від вододілів убік долин річок і балок. Водоносність алювіальних пісків неоднорідна.

Дебіти свердловин складають 0.28-14.8 дм<sup>3</sup>/с, питомі дебіти – 0.045-12.8 дм<sup>3</sup>/с, коефіцієнти фільтрації – 0.89-107.8 м/добу. Якість вод алювію дуже строката. Мінералізація змінюється в межах від 0.1 до 6.0 г/дм<sup>3</sup>, а жорсткість від 0.05 до 45.4 ммоль/дм<sup>3</sup>. Водоносний горизонт широко розповсюджений в даному районі і є основним джерелом водопостачання населення м. Павлограда.

Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, які інфільтруються найбільш інтенсивно в місцях розвитку кучугурних пісків, а також паводковими водами. Річна амплітуда коливання рівня змінюється від 0.8 до 3.4м.



Запаси цього водоносного горизонту затверджені ДКЗ СРСР у 1959 році в межах всього контуру розповсюдження алювіальних відкладів на території Західного Донбасу в кількості 17.9 тис.м<sup>3</sup>/добу, за категоріями А+В+С<sub>1</sub>, в тому числі по А+В – 13.62 тис. м<sup>3</sup>/добу, С<sub>1</sub> – 4,28 тис.м<sup>3</sup>/добу.

*Водоносний горизонт відкладів новопетрівської світи неогену*

Розповсюджений лише на вододілах та їх схилах. У покрівлі водоносного горизонту залягають червоно-бурі глини, у підшві – піски глинисті межигірської світи, на півдні – породи докембрію. Глибина залягання водоносного горизонту коливається від 18.5 до 27.05м, потужність – 8,0-15,0м.

Водомісткими є глинисті тонко - і дрібнозернисті піски, які обводнені тільки у нижній частині товщі. Водоносний горизонт безнапірний, лише на окремих ділянках – напірний. Глибина залягання рівня води коливається від 20.0 до 30.0м.

Водоносність відкладів низька, внаслідок високого гіпсометричного положення і дренажного впливу долин рік і балок. За межами даного району дебіт свердловин, розкритих неогенові піски, складає 0.015 дм<sup>3</sup>/с, питомий дебіт – 0.0013 дм<sup>3</sup>/с, коефіцієнт фільтрації – 0.0033 м/добу. Мінералізація води складає 0.20 г/дм<sup>3</sup>, жорсткість 1.28 ммоль/дм<sup>3</sup>.

У південно-східній частині району води даного горизонту використовуються дрібними водокористувачами, в цілому по району Західного Донбасу цей горизонт практичного значення для водопостачання не має.

*Водоносний горизонт відкладів межигірської світи палеогену*

Горизонт має повсюдне поширення у межах району. Водомісткими є тонко- та дрібнозернисті глинисті піски. У підшві горизонту частка глинистої складової збільшується – піски характеризуються як сильноглинисті. Глибина залягання відкладів коливається від 8.0 до 73.55м, потужність 6.7 – 19.9м.

Покрівлею служать алювіальні піски у центральній частині району і піски новопетрівської світи у північній і південній (на вододілах), підшвою є пісковики глинисті обухівської світи палеогену і лише на півдні – породи докембрію.

Водоносність пісків низька. Питомі дебіти складають 0.0013– 3.97 дм<sup>3</sup>/с, а коефіцієнти фільтрації коливаються від 0.033 – 23.0 м/добу.

Водоносний горизонт у пісках межигірської світи напірний, величина напору над покрівлею досягає 27.45–35.4м. П'езометричні рівні води у свердловинах встановлюються на глибині 3.65 – 56.6м від поверхні землі.

Мінералізація вод горизонту коливається від 0.2 до 2.0 г/дм<sup>3</sup>, а загальна жорсткість 3.6 – 8.0 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Живлення водоносного горизонту відбувається, в основному, за рахунок атмосферних опадів. Дренується водоносний горизонт долинами річок і крупними балками.

З-за низької водоносності водоносний горизонт, що описується, у даному районі для централізованого водопостачання не придатний.

За межами району, що описується, у південно-східній частині, між темно-зеленими сильноглинистими пісками залягають дрібнозернисті і середньозернисті кварцові піски, води яких використовуються для централізованого водопостачання (Першотравенський водозабір).

*Водоносний горизонт відкладів обухівської світи палеогену*

Водоносний горизонт розвинутий повсюдно. У покрівлі залягають сильноглинисті піски межигірської світи та мергелі обухівської світи, у підшві – бучацькі піски і на самому півдні – породи докембрію. Глибина залягання покрівлі водоносного горизонту складає 18.5-42.2м, потужність водоносного горизонту 2.0-26.95м.

Водомісткими породами є тріщинуваті пісковики.

Водоносний горизонт, приурочений до пісковиків, міжшарового типу, напірний. Висота напору складає 14,96-26.47м. П'езометричні рівні встановлюються на глибинах 0.9- 23.8м від поверхні землі.

Водозбагаченість пісковиків нерівномірна і залежить від ступеню тріщинуватості. Дебіти свердловин коливаються від 0.67 до 5.60 дм<sup>3</sup>/с при зниженні рівня 6.5-11.2м, питомі дебіти – 0.1-0.5 дм<sup>3</sup>/с.

У регіональному плані водоносний горизонт у пісковиках обухівської світи має гідравлічний взаємозв'язок із вищезалягаючими межигірським та алювіальним і нижчезалягаючим бучацьким горизонтами.

Мінералізація вод даного горизонту коливається від 0.17 до 6.41 г/дм<sup>3</sup>, жорсткість- від 0.66 до 51.2 ммоль/дм<sup>3</sup>. На переважній території району води мають мінералізацію до 1.0 г/дм<sup>3</sup>.

Режим водоносного горизонту знаходиться в залежності від гідрометеорологічних умов. Хід рівнів горизонту здебільшого повторює рівні вищезалягаючих водоносних горизонтів і поверхневих вод із запізненням у часі на 3-5 днів, що свідчить про наявність локальних водотривів у покрівлі.

Річна амплітуда коливання рівня коливається від 0.60 до 1.20 м, в залежності його від відстані свердловин до річки.

Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і перепливу вод із нижчезалягаючих горизонтів, розвантаження – в долині річок Самара та Вовча.

Водоносний горизонт у відкладах обухівської світи широко використовується населенням та підприємствами м.Павлограда для водопостачання.

З 2000р. води обухівського водоносного горизонту із свердловини №1е у м. Павлограді використовуються для розливу як столові під назвою “Бірюзова” (ЗАТ “Кришталь”).

Запаси вод обухівських пісковиків і бучацьких пісків затверджені ДКЗ СРСР у 1971р. на Павлоградському водозаборі у кількості 29,0 тис.м<sup>3</sup>/добу за категоріями А+В+С<sub>1</sub>(в тому числі по категоріям А+В – 13,2 тис. м<sup>3</sup>/добу, С<sub>1</sub>-15,8 тис.м<sup>3</sup>/добу).

За природною захищеністю горизонт обухівської світи палеогену характеризується як захищений або умовно захищений від проникнення різних забруднювачів, що обумовлюється наявністю у його покрівлі водонепроникних порід.

*Водоносний горизонт відкладів бучацької світи палеогену у межах території, що описується, розповсюджений повсюдно, за винятком південно-західної частини.*

У покрівлі даного горизонту повсюдно залягають обухівські відклади, у підшві – відклади юри, тріасу, карбону і докембрію (граф. дод.1).

Глибина залягання покрівлі водоносного горизонту 26.4-61.1м, потужність коливається від 14.5 до 32.0м.

Водоносний горизонт, пристосований до бучацьких пісків, напірний, висота напору над покрівлею водоносного горизонту коливається від 26.21 до 37.39м, п'езометричні рівні встановлюються на глибинах +0.3-23.71м від поверхні землі.

Водозбагаченість бучацьких пісків характеризується дебітами свердловин 0.3-4.08 дм<sup>3</sup>/с, питомі дебіти складають 0.01- 0.17 дм<sup>3</sup>/с.

Мінералізація вод в межах району коливається від 0.52 до 19.76 г/дм<sup>3</sup>, жорсткість від 4.71 до 95.17 ммоль/дм<sup>3</sup>. На переважній території району води мають мінералізацію до 1.0-1.5 г/дм<sup>3</sup>.

Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок атмосферних опадів і підтоку вод із водоносних горизонтів, що залягають нижче.

Розвантаження відбувається в долинах річок через водоносні горизонти, що вище залягають.

Режим водоносного горизонту знаходиться в залежності від гідрометеорологічних умов. Коливання рівнів його повторює рівні вищезалягаючих водоносних горизонтів із запізненням у часі на 8-20 днів.

Водоносний горизонт бучацьких відкладів на значній території району є основним для господарсько-питного водопостачання.

Запаси бучацького і обухівського водоносних горизонтів затверджені УкрТКЗ на водозаборах:

- Гніздовському – у кількості 4,1 тис.м<sup>3</sup>/добу по категоріях А+В+С<sub>1</sub>, у т.ч. по А+В – 3,0 тис.м<sup>3</sup>/добу;
- Світлогірському – у кількості 3,8 тис.м<sup>3</sup>/добу по категоріях А+В+С<sub>1</sub>, у т.ч. по А+В - 2,1 тис.м<sup>3</sup>/добу;
- Тимчасовому водозабір шахт 6/42 і 29 у кількості 2,44 тис.м<sup>3</sup>/добу по категоріях А+В.

Сумісно з обухівським водоносним горизонтом води бучацьких відкладів використовуються в Західному Донбасі для централізованого водопостачання м.Павлограда, шахт, робочих селищ і промислових підприємств.

*Водоносний горизонт юрських відкладів* розвинутий тільки на півночі району (граф. дод.1). У покрівлі залягають відклади бучацької світи, у підшві – відклади тріасової системи.

Водомісткими є піски, пісковики і вапняки, глибина залягання яких коливається від 65.0 до 77.0 м, потужність 4.0-30.0 м. Глибина залягання п'езометричного рівня коливається від 4.8 м вище поверхні землі до 53.0 м нижче поверхні. Дебіти свердловин складають 0.64-9.0 дм<sup>3</sup>/с., коефіцієнт фільтрації 0.05-88.0 м/добу. Мінералізація вод в межах району коливається від 2.0 до 46.84 г/дм<sup>3</sup>, жорсткість від 6.0 до 124.5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і переливу вод із вище- і нижче-залягаючих водоносних горизонтів. З-за високої мінералізації води горизонту для водопостачання не придатні.

*Водоносний горизонт тріасових відкладів* розповсюджений у північній частині району. Водомісткими породами є тріщинуваті пісковики і галечники, потужність яких досягає 80.0 м. Глибина залягання покрівлі водоносного горизонту коливається від 68.0 до 215.0 м. Покрівлею водоносного горизонту на південній границі розповсюдження є бучацькі піски, на півночі – юрські глини і піски, підшвою – кам'яновугільні відклади.

Водоносний горизонт міжшарового типу, напірний, висота напору над покрівлею водоносного горизонту складає 78.0-195.0 м. П'езометричний рівень залягає на глибині від 5.0м вище поверхні землі, до 25.0м нижче, в залежності від рельєфу місцевості. Водоносність порід висока, особливо в місцях виходу під палеогенову товщу. Дебіти свердловин коливаються в межах 0.34-45.4 дм<sup>3</sup>/с, питомі дебіти складають 0.008-5.1 дм<sup>3</sup>/с., а коефіцієнт фільтрації коливається від 0.16 до 134.0 м/добу.

Води тріасових відкладів у східній частині родовища, де мінералізація їх дорівнює 1.5 г/дм<sup>3</sup>, можуть бути рекомендовані для водопостачання. На решті території розповсюдження мінералізація і жорсткість вод зростають відповідно 30.0 г/дм<sup>3</sup> і 200 ммоль/дм<sup>3</sup>. Область живлення горизонту знаходиться на північному

сході Дніпровсько-Донецької западини, у долині річки Самари відбувається часткове його розвантаження.

*Водоносний комплекс відкладів візейського ярусу кам'яновугільної системи* на території досліджень розвинутий повсюдно, за винятком південної частини (граф. дод.1). Глибина залягання покрівлі горизонту змінюється від 40.5 м на півдні району до декількох сотень метрів на півночі.

Водомісткими породами є пісковики, вапняки і вугільні шари, сумарна потужність яких складає 20 % від загальної потужності відкладів.

Водоносний горизонт, що пристосований до них, напірний, міжшарового типу, опробований відкачками сумарно. Висота напору над покрівлею водоносного горизонту коливається від 49.93 до 104.65м. П'езометричні рівні встановлюються від +0.15 до 62.6м від поверхні землі.

Водоносність відкладів незначна, дебіти свердловин складають 0.031-1.5 дм<sup>3</sup>/с, питомі дебіти – 0.027-0.25 дм<sup>3</sup>/с, а коефіцієнти фільтрації – 0.0057-0.3 м/добу. Мінералізація вод висока і складає 3.05-45.16 г/дм<sup>3</sup>, жорсткість від – 13.2 до 107.4 ммоль/дм<sup>3</sup>, що зв'язано із утрудненим водообміном, який обумовлений слабкою тріщинуватістю порід і частими фаціальними заміщеннями водопроникних порід водонепроникними. Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок переливу вод із вище- і нижчезалягаючих горизонтів. У зв'язку з високою мінералізацією для водопостачання ці води не придатні.

*Водоносний комплекс відкладів турнейського ярусу кам'яновугільної системи* розповсюджений на півдні району і залягає на глибині 30.0-126.2 м. Покрівлею горизонту у південній частині описуваної території є піски бучацької світи, із зануренням на глибину – породи візейського ярусу, у підшві породи девону, в місцях їх відсутності – докембрійські утворення. Розкрита потужність турнейських відкладів досягає 25.0 м.

Водоносний горизонт, що пристосований до вапняків турнейського ярусу, тріщинувато-шарового типу, напірний, висота напору над покрівлею водоносного горизонту досягає 85.85 м. П'езометричні рівні встановлюються на глибині 1.0 - 45.65 м від поверхні землі.

В межах району водоносність турнейських відкладів незначна – дебіт свердловини, яка опробувала сумісно девонські і турнейські відклади, складає 0.161 дм<sup>3</sup>/с, питомий дебіт – 0.0035 дм<sup>3</sup>/с. Більшу водоносність мають вапняки, розповсюджені на сході району, в межах Першотравенського водозабору, де дебїти свердловин складають 35.0-64.0 дм<sup>3</sup>/с.

Води турнейських вапняків мають підвищену мінералізацію 2.1-6.0 г/дм<sup>3</sup>. В межах Першотравенського водозабору мінералізація складає 1.3-2.84 г/дм<sup>3</sup>, а жорсткість – 10-24 ммоль/дм<sup>3</sup>. Ці води використовуються для централізованого водопостачання м. Першотравенська шляхом розбавлення їх менш мінералізованими водами, що пристосовані до відкладів межигірської світи.

*Водоносний горизонт відкладів девонської системи* розповсюджений на півдні району і залягає безпосередньо на породах докембрію на глибині 70.0-140.0 м, покрівлею є піски бучацької світи. Водомісткими породами є тріщинуваті пісковики і вапняки, розкрита потужність яких складає 8.30 м. Водоносність девонських відкладів, які опробовані разом з турнейськими вапняками, незначна, дебїти свердловин не перевищують 0.161 дм<sup>3</sup>/с., питомі дебїти – 0.0035 дм<sup>3</sup>/с. Мінералізація вод досягає 5.5 г/дм<sup>3</sup>, загальна жорсткість 55.0 ммоль/дм<sup>3</sup>. З-за низької водоносності і невтриманої мінералізації вода даного водоносного горизонту для водопостачання не придатна.

*Водоносний горизонт докембрійських утворень* має повсюдне поширення і пристосований до тріщинуватих порід – гранітів, гнейсів, гранітогнейсів та ін. Глибина залягання водоносного горизонту коливається від 21.9 до 208.5м, потужність випробуваної товщі 11.0 - 52.7м.

Покрівлею кристалічних порід, в місцях відсутності чохла первинних каолінів, служать на півдні четвертинні, неогенові і палеогенові відклади, породи карбону і девону. Водоносний горизонт, пристосований до докембрійських порід, напірний, величина напору над покрівлею водоносного горизонту змінюється від 2.0 до 52.0м. П'єзометричні рівні водоносного горизонту встановлюються на глибині 4.7 - 51.7м. Водоносність порід нерівномірна, що пояснюється різною ступінню тріщинуватості

Дебіти свердловин коливаються від 0.25 до 1.35 дм<sup>3</sup>/с, питомі дебіти від 0.015 до 0.86 дм<sup>3</sup>/с, а коефіцієнти фільтрації – 0.0065-5.09 м/добу. В південній частині характеризуємої площі, де докембрійські відклади виходять під неогенові і четвертинні відклади, води мають невисоку мінералізацію 1.0-2.0 г/дм<sup>3</sup>. В центральній і північній частині району мінералізація досягає 5.5 г/дм<sup>3</sup>, а жорсткість 54.7 ммоль/дм<sup>3</sup>. В місцях відсутності первинних каолінів водоносний горизонт має гідравлічний зв'язок з вищезалягаючими водоносними горизонтами. Живлення відбувається за рахунок атмосферних опадів і підживлення вищезалягаючими водоносними горизонтами.

Область живлення знаходиться на півдні території району, що описується, в місцях виходу кристалічних порід на денну поверхню і під четвертинні відклади. Область розвантаження підземних вод докембрію пристосована до понижених частин кристалічного щита в зоні зчленування з Дніпровсько-Донецькою западиною. З-за низької водоносності і підвищеної мінералізації для водопостачання крупних об'єктів води кристалічних порід докембрію практичного значення не мають.

Територія Західного Донбасу відноситься до зони нестійкого зволоження. Річна кількість опадів складає 350-400 мм. Середньобагаторічна кількість атмосферних опадів за період 1945-2000 рр. складала 464 мм; за період 1952-1982 рр. загальна сума атмосферних опадів змінювалася від 272 мм/рік (1957 р.) до 754,2 мм/рік (1976 р.), в середньому складала 554,3 мм/рік [26]. В останні роки сума атмосферних опадів складала 360-560 мм (рис. 2.1). На протязі року найбільша кількість опадів випадає у червні та липні (61,5 і 52,9 мм), . За період 2001-2005 рр. найбільш опадів випало у серпні 2004 р. – 114,9 мм, найменш – в листопаді 2005 р. – 3 мм. Випаровування з поверхні суші не перевищує 400-420 мм. Випаровування з поверхні водойм перевищує випаровування з поверхні суші й у посушні роки дорівнюється 850-1100 мм. Найбільша величина випаровування спостерігається в липні-серпні, найменша – у грудні-лютому.



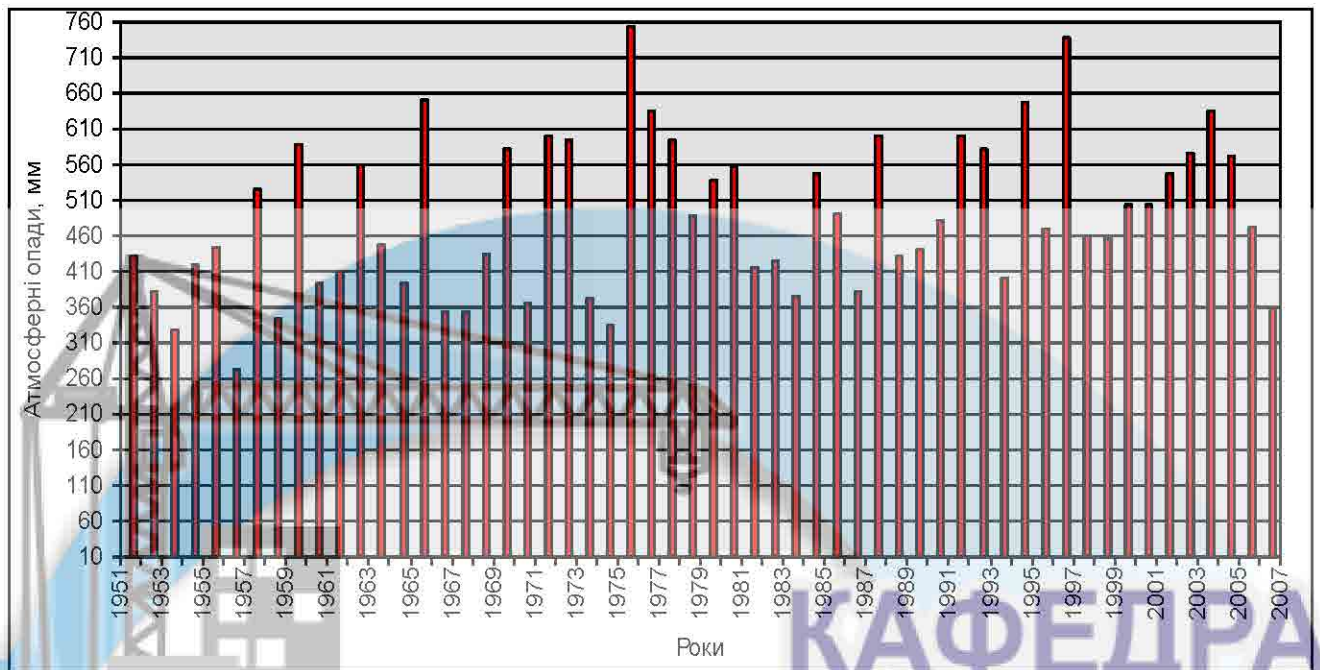


Рис.2.1 – Атмосферні опади, м. Павлоград

На досліджувальній ділянці розташовані річки: Самара, Вовча, Тернівка, Бик, а також велика кількість балок із тимчасовими водотоками. Річки мають рівнинний характер з широкими асиметричними долинами, швидкість течії річок незначна, русла покручені, берега глинисті та низькі, дно мулисте, уклон рік складає 0,02-0,007 м/км [24].

На західному схилі Донецької височини починається *річка Самара*. Абсолютні відмітки рівня води в р. Самара на досліджувальній ділянці змінюються від 51 до 75,7 м. Середньобогаторічний рівень води в районі м. Павлоград складає 61,5 м, середньобогаторічні витрати – 12,8 м<sup>3</sup>/с. Рівень води в р. Самара схильний до різких коливань, які досягають максимуму в районі с. Кочережки – 7,67 м, в районі м. Павлоград – 4,25 м. В повінь ріка заливає заплаву (ширина затоплення досягає 10-15 км). Тривалість весняного стоку складає 35-40 діб [14]. В посушливі роки деякі ділянки ріки пересихають. Річка Самара має невелику глибину і тільки на ділянці від гирла (6 км нижче за м. Дніпропетровськ) до м. Новомосковськ її глибина досягає 6-8 м. Ріка меандрує, постійний водотік простежується тільки нижче за впадіння р. Вовча. Річка має асиметричну долину: лівий кут на-

хилу – 5-7°, правий кут нахилу – до 30°. На лівому схилі р. Самара розташовані заплава та чотири надзаплавних тераси.

*Заплавна тераса* досягає ширини 1,5 км, нерідко заболочена поблизу русла. Багатьма дослідниками виникнення заплави пов'язується з проявою молоді тектоніки.

*Перша надзаплавна тераса* за часом виникнення відноситься до другої стадії валдайського (вюрмського) [23] зледеніння. Її поверхня покрита луками, в багатьох містах вона горбкувата, внаслідок розвитку кочових пісків. Ширина першої надзаплавної тераси 2-8 км, абсолютні відмітки поверхні землі – 56-70 м.

*Друга надзаплавна тераса* за часом виникнення відноситься до першої стадії валдайського (рис-вюрмського) зледеніння. Її ширина досягає 5 км, абсолютні відмітки – 65-80 м. За літологічним складом виділені алювіальні піски, глини, суглинки загальною потужністю 16-20 м.

*Третя надзаплавна тераса* за часом виникнення відноситься до дніпровського (риського) зледеніння. Абсолютні відмітки складають 80-100 м. Уступи тераси порізані ярами.

*Четверта надзаплавна тераса* найбільш давня, відноситься до типу акумулятивних. Складена пісками, глинами й суглинками [32]. Ширина тераси змінюється від 1 до 7 км, абсолютні відмітки – 95-120 м.

За рахунок просідання поверхні землі, що викликано веденням гірничих робіт, у заплаві річки при високих відмітках рівнів підземних вод відбувається затоплення значної площі. Рекультивация ділянок, що просідають, виконувалася по полях шахт Благодатна, Павлоградська, Тернівська, Самарська. До заходів по запобіганню негативного впливу просідання земної поверхні відноситься також використання старого русла р. Самара як горизонтальної дрени. Рекультивация землі насипним ґрунтом призводить до зміни фільтраційних властивостей зони аерації, знижує водопровідність алювіального водоносного горизонту, ускладнює розвантаження ґрунтових вод у річку, створюючи умови підпору підземного потоку. Утворення нового русла р. Самара (з 1978 р. абсолютна відмітка води – більш 63 м) також сприяє підпору підземних вод.

В останні роки значний вплив на гідрохімічний режим річки надають техногенні чинники, головним чином, скидання шахтних вод до ставків-накопичувачів. Скидання шахтних вод призводить до зміни хімічного складу поверхневих вод (збільшення мінералізації та утримання іонів хлору, натрію, сульфат-іонів). Це найбільш помітно під час межені (літо-осінь, зима).

Мінералізація річної води навесні не перевищує  $1,0-1,4 \text{ г/дм}^3$ , а в період літо-осінь вона досягає  $3,0-3,5 \text{ г/дм}^3$ , взимку –  $2,0-2,5 \text{ г/дм}^3$ . За змістом солей р. Самара відноситься до найбільш мінералізованих річок України.

Абсолютні відмітки *річки Вовча* на досліджувальній ділянці змінюються від 58,8 до 63,2 м [18]. Глибина складає 2-8 м, під час межені русло у верхів'ях пересихає. Середня амплітуда коливання рівня води в річці – 4,95 м.

В долинах річок Самара та Вовча спостерігається розвантаження кам'яновугільного й тріас-юрського водоносних горизонтів до верхньочетвертинно-неоген-палеогенового комплексу.

Абсолютні відмітки *річок Сухий Бичок і Бик* на досліджувальній ділянці змінюються, відповідно, 75,3-86 та 74-98 м. Русла рік меандрують, влітку пересихають [25]. Живлення рік відбувається, головним чином, за рахунок атмосферних опадів. Розвантаження підземних вод у річки спостерігається лише на окремих ділянках і тільки під час паводків.

*Річки Велика Тернівка і Мала Тернівка* не мають постійного водотоку. Абсолютні відмітки рік на досліджувальній ділянці змінюються, відповідно, 60,8-69 м та 64,7-74 м. Живлення річок відбувається, головним чином, за рахунок атмосферних опадів. Долини рік протягом усього меженого періоду (7-9 місяців) є зонами розвантаження усіх водоносних горизонтів. Живлення водоносного горизонту за рахунок річок спостерігається тільки в період паводку на окремих ділянках. Річки Велика й Мала Тернівки частково дренують перший від поверхні водоносний комплекс.

Якість річних вод залежить від періоду року: в паводок мінералізація становить  $0,7 \text{ г/дм}^3$ , а в межень збільшується до  $4,1 \text{ г/дм}^3$ . В останні роки під час скидання шахтних вод мінералізація річної води збільшується на  $2 \text{ г/дм}^3$ .

На досліджувальній ділянці пролягає водовод – Дніпро-Західний Донбас.

На території Західного Донбасу виділяються Запорізьська та Полтавська рівнини, межа між якими умовно проходить вздовж р. Самара. Рельєф – слабкогорбиста рівнина, що розчленена річковою та яружно-балковою мережею. Спостерігається загальне зниження абсолютних відміток поверхні землі по напрямку до р. Дніпр. Абсолютні відмітки поверхні землі змінюються від 50 до 180 м. Найменші відмітки пристосовані до заплав, найбільші – до вододілів (рис. 2.1).

В геолого-структурному відношенні Західний Донбас знаходиться в області з'єднання південно-західної частини Дніпровсько-Донецької западини, північно-східного схилу Українського масиву та платформенної частини Донбасу. В геологічній будові приймають участь породи архейського віку, осадові відклади палеозою (кам'яновугільна система), мезозою та кайнозою (палеогенова, неогенова, четвертинна системи). Приуроченість до південного борта Дніпровсько-Донецької западини спричиняє моноклінальне залягання осадових порід, а характер рельєфу кристалічної підстави - їхнє полого падіння на північний схід. Основну роль у тектонічній будові території грають регіональні розлами північно-західного простягання, уздовж яких відбувається східчате опускання окремих брил зі зсувом на південний схід. Кожна із цих брил розсічена багаточисленними скиданнями на блоки другого й третього порядку.



Рис. 2.2 – Об'ємне зображення поверхні землі

### 3. ФІЛЬТРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕНОСНОЇ ТОВЩІ

Кам'яновугільні відклади представлені перешаруванням аргілітів, алевролітів, пісковиків, вапняків та шарів вугілля. Породи анізотропні (водопроникність порід по простяганню і вхрест простягання у кілька разів більше, ніж у перпендикулярному напрямку). Літологічний склад порід і потужність ярусів карбону відрізняються між собою (табл. 3.1).

Водовмісні породи – тріщинуваті вапняки, пісковики. У Павлоградському та Петропавлівському районах потужність й водозбагаченість пісковиків зменшується. В межах Західного Донбасу поширені низкометаморфічні породи і їх водопроникність пов'язана як з тріщинуватістю, так і з пористістю.

Табл. 3.1 – Середній літологічний склад товщі кам'яновугільних порід

Яруси кам'яновугільних порід	Літологічний склад товщі кам'яновугільних порід, %				Потужність, м
	Пісковики	Алевроліти та аргіліти	Вапняки	Вугілля	
Павлоградсько-Петропавлівський район					
Нам'юрський ярус (надвугленосна світа)	25	73	1,2	0,23	160-770
Візейський ярус (самарська вугленосна світа)	15,8-18-20,8	79-81,3-82,2	0,4-0,7	1,5-2-2,5	535-600
Візейський ярус (підвугленосна світа)	16-17	80,6-81	2,1-2,4	0,3-0,4	320-400
Західно-Павлоградський район					
Візейський ярус (самарська вугленосна світа)	26,4	70,9	0,25	2,45	320-425

З глибиною тріщинуватість і пористість порід зменшується, що підтверджено під час ведення гірничих робіт на шахтах Тернівська, Першотравнева, Степова (табл. 3.3, табл. 3.4). Зменшення розкритості тріщин з глибиною пояснюється зімкнутістю стінок під дією геостатичного тиску.

Водозбагаченість візейських відкладів невисока й нерівномірна. Вугільні шари більш водозбагачені, ніж пісковики. Встановлено, що найбільш водозбагачена

верхня тріщинувата зона потужністю до 150 м. Окрім того, підвищення водозбагаченості пристосовано до площі виходу кам'яновугільних порід під буцацькі відклади, а також спостерігається в долині річки Самара. Низький ступінь метаморфізму й переважно глинистий склад кам'яновугільних відкладів призводить до їх розмокання і кольматації тріщин. Через 1-2 місяця після утворення тріщинуватості над гірничими виробками водотривкі властивості піщано-глинистої товщі повністю відновлюються. Пісковики менш водопроникні, ніж вапняки, але у зв'язку з більшою потужністю, вони містять переважну частину запасів підземних вод. Алевроліти й аргіліти – водотривкі й практично безводні породи. Слід відзначити, що вугілля і алевроліти водозбагачені у зоні вивітрювання кам'яновугільних порід й на глибині в зонах тектонічних порушень, які мають відкриті тріщини, або заповнені крупноуламкуватим матеріалом. Так, наприклад у свр. №№ 3939 (б. Космінна), 4026 (Західно-Межівська ділянка № 2), що розкривають зони порушень, коефіцієнт фільтрації досягає 0,8 м/добу. Тріщини в зонах тектонічних порушень, головним чином, заповнені глинистим матеріалом.

Табл. 3.2 – Розкритість тріщин у пісковиках та вугіллі

Інтервали глибин, м	Розкритість тріщин, мм	Число точок	Розкритість тріщин, мм	Число точок
	Пісковики		Вугілля	
200	1,7	27	1,23	111
300	1,1	10	1,03	15
400	0,75	1	0,85	12
500	0,49	2	0,71	3
600	–	–	0,59	4

Коефіцієнти фільтрації кам'яновугільних відкладів змінюються від 0,0006 м/добу до 2,37 м/добу. Водопровідність порід візейського ярусу 0,057-12,73 м<sup>2</sup>/добу. Коефіцієнти фільтрації кам'яновугільних порід з глибиною зменшуються в зв'язку із зменшенням з глибиною розкритості тріщин і пористості порід. На однакових глибинах коефіцієнти фільтрації порід можуть відрізнятися на один-два порядки (табл. 3.4).

Для підвугленосної світи візейського ярусу характерна перевага тонкозернистих алевролітів та аргілітів із значною кількістю вапнякових шарів. Вугільні прошарки мають незначну потужність. Коефіцієнти фільтрації за даними дослідних робіт змінюються від 0,0019 м/добу до 0,0077 м/добу (табл. 3.5). Зведень про коефіцієнти фільтрації безпосередньо підвугленосної світи недостатньо, а ті, що є, характеризують тільки її верхню зону.

Табл. 3.3 – Середні значення величин пористості порід

Інтервал глибин, м	Середнє значення пористості, %	Число точок	Середнє значення пористості, %	Число точок
	Пісковики		Вапняки	
0-100	24	12	–	–
100-200	21,6	105	12,38	3
200-300	17,4	62	4,51	4
300-400	15,5	57	7,8	2
400-500	14,5	51	–	–
500-600	13,1	88	–	–
600-700	12,3	71	7,0	4
700-800	11,9	27		
800-900	11,5	16		
900-1000	10,5	10		
1000-1100	9,9	19		
1100-1200	9,2	5		

Загальна потужність водозбагачених порід візейського ярусу складає 15-20 % від його загальної потужності.

Серед водовмісних порід візейського ярусу найбільш витримані за потужністю й площею розповсюдження пісковики, що розташовані у зоні вугільних шарів С<sub>1</sub>-С<sub>4</sub>. Їх коефіцієнти фільтрації за даними змінюються від 0,192 м/добу до 0,003 м/добу (табл.3.6).

Самарська (вугленосна) світа візейського ярусу відрізняється від підвугленосної високою вугленосністю і незначною потужністю вапнякових шарів. Коефіцієнти фільтрації вугленосної товщі разом з підвугленосною змінюються від

1,12 м/добу до 0,0003 м/добу (табл. 3.7), а тільки вугленосної товщі – від 1,183 м/добу до 0,003 м/добу (табл. 3.8).

Табл. 3.4 – Коефіцієнти фільтрації кам'яновугільних порід за даними поінтервального випробування

№№ свр.	Ділянка	Інтервал випробування*, м		Коефіцієнти фільтрації порід (м/добу) за глибиною (м)						
		від	до	25	50	100	200	300	400	500
3808	Косьминна	8	463	0,24	0,18	0,11	0,04	0,015	0,006	–
3994	Брагіновська – Північна	24	589	0,02 5	0,01 8	0,01 1	0,00 4	0,001 5	0,000 6	0,000 2
5995	Брагіновська	15	624	0,07	0,05	0,03	0,01 2	0,004	0,002	0,000 6
5501	Петропавлівська					0,06		0,009 7	0,006 3	0,004 1
3672	Вербський комплекс							0,013		
3939	Петропавлівська						0,04 3	0,017		
962	Вербський комплекс						0,11	0,028		
3729	Аліферовська							0,065	0,047	0,034
3646	Тернівська Південна						0,00 8			
3746	Аліферовська						0,01 2			

\*інтервал та глибина випробування визначені від покрівлі кам'яновугільних відкладів

Табл. 3.5 – Коефіцієнти фільтрації підвугленосної кам'яновугільної товщі за результатами дослідних робіт

№№ свр.	До глибин від покрівлі кам'яновугільних порід, м	Кф, м/добу
Підвугленосна товща (Павлоградські водозабори)		
3661	46,6	0,0077
3662	83	0,0019- 0,0057



Табл. 3.6 – Коефіцієнти фільтрації пісковиків кам'яновугільної товщі по інтервалах глибин

Інтервал глибин, м	Середньоарифметична величина коефіцієнта фільтрації пісковиків, м/добу
0-200	0,192
200-400	0,047
400-600	0,012
600-800	0,003

Табл. 3.7 – Коефіцієнти фільтрації вугленосної товщі разом з підвугленосною за результатами дослідних робіт

№№ свр.	Глибина від покрівлі кам'яновугільних порід, м	Кф, м/добу
4010	166,6	0,12
4000	127,63	0,0255
3991	128	0,194-0,06
3808	584	0,0003
5758	165,3	0,056-0,044
4007	175,24	0,012
3770	131,4	0,04-0,027
3778	107,5	0,029-0,0024
3779	75,6	0,0052
3756	99,3	0,0038
3781	380,4	1,12-0,109
3994	573,8	0,0036
3706	544,4	0,12-0,011

До відкладів самарської світи пристосована промислова вугленосність. У наближених робочих шарах вугілля зосереджено біля 40 % від усіх його балансових запасів. Глибина залягання водоносного горизонту *самарської світи* від 60-70 м у південній частині і 700-1 000 м й більше – у північній. Знизу і зверху світу обрамляють вапняки, відповідно, С<sub>1</sub> і Д<sub>1</sub>. Фільтраційні властивості вугілля та вміщуючих порід характеризуються значною неоднорідністю. На ділянках шахт значення коефіцієнтів фільтрації складають: шах. ім. Героїв Космосу – 0,0011-1,1 м/добу, шах. Павлоградська – 0,059-0,006 м/добу, шах. Першотравнева, шах. Степова, шах. Ювілейна – 0,067-2,61 м/добу, шах. Західно-Донбаська – 0,0035-0,21 м/добу. Зведення про водовіддачу відсутні.

Абсолютні відмітки рівня підземних вод кам'яновугільних порід на час до експлуатації вугільних шахт змінювалися від 61,4 м до 100 м і більше. Напрямок потоку – від вододілів до річки Самара. Рівень підземних вод зазнає сезонного впливу, максимальна амплітуда – 0,5-0,7 м. Встановлено, що максимальний рівень води в річках в період повені впливає на підземні води із затриманням біля одного місяця. Висота напору в середньому становила 70-100 м.

Табл. 3.8 – Коефіцієнти фільтрації вугленосної кам'яновугільної товщі за результатами дослідних робіт

№№ свр.	Інтервал випробування від покрівлі кам'яновугільних порід, м	Кф, м/добу	№№ свр.	Інтервал випробування від покрівлі кам'яновугільних порід, м	Кф, м/добу
3822	74,14-163,7	0,196	3690	9,06-147,31	0,067-0,084
3739	2,75-103,9	0,1-0,139	3994	14,57-573,78	0,0036
4698	7,83-83,43	0,057-0,069	5799	4,4-336,3	0,0045
3849	0-275,76	0,0057	963	15,2-266,1	0,039
3681	15,63-266,23	0,104-1,183	3622	2,4-88,1	0,3
15	5,8-93,45	0,086-0,108	3654	3,31-74,16	0,003
3692	12,44-385,44	0,21	3654	74,16-180,16	0,003
3944	9,71-43,41	0,46-1,511	3646	2,2-51,85	0,27-0,36
3705	5,3-160,9	0,0037-0,0038	5792	0-494,3	0,0153
3959	11,57-59,27	0,674-1,03	1382	7,28-210,08	0,083-0,38
3706	0-162,9	0,00013	3601	5,81-72,71	0,064-0,075
3706	0-530,4	0,011-0,0115	3601	72,71-186,36	0,012-0,015
1362	0-164,3	0,029-0,065	3787	10,7-129,6	0,0038
1466	2,41-276,217	0,024	3781	24,82-157,22	0,082-0,177
3733	13,26-489,46	0,006	3781	24,82-380,42	0,109-1,121
3610	5,57-208,67	0,041-0,072	3631	0-129,44	0,0089-0,0098
3610	5,57-116,52	0,037-0,065	3631	0-79,04	0,0056
3746	5,87-63,87	0,0036-0,0065	973	109,41-237,9	0,13-0,2

Найбільше зниження рівня водоносного горизонту кам'яновугільних відкладів, що зафіксовано на сьогоднішній день, складає 115,6 м на шахтах східної групи.

Живлення водоносного комплексу відбувається за рахунок перетоку з водоносних горизонтів, що залягають вище або нижче. Розвантаження – перетік до водоносних горизонтів, що залягають вище у долинах річок, і за рахунок водовідливу з шахт.

Сухий залишок підземних вод візейського ярусу становить 1,2-89,8 г/дм<sup>3</sup>. Мінералізація збільшується з південного сходу на північний захід (по простяганню кам'яновугільних порід), а також з півдня на північ – в бік занурення порід. З глибиною мінералізація також збільшується. Води жорсткі, солоні.

Водоносний горизонт для водопостачання не використовується, при веденні гірничих робіт обводнює гірничі виробки.

Надвугленосна товща (намюрський ярус) розповсюджена в північній і північно-східній частинах досліджуваної території і представлена численними вапняковими шарами, вугільними прошарками і глинистими сланцями. Потужність окремих водовмісних пісковиків сягає 50-80 м. Питомі дебіти свердловин змінюються від 0,001 л/с до 0,32 л/с, коефіцієнт фільтрації порід – 0,01-0,86 м/добу (свр. № 3724). Більша водозбагаченість порід намюрського ярусу притаманна до ділянок з активним гідравлічним зв'язком з водоносними горизонтами тріасових і буцацьких порід. Висота напору складає 45-1 300 м. Підземні води в пісковиках високо мінералізовані з сухим залишком 9-60 г/дм<sup>3</sup>.

Обводнення виробок при веденні гірничих робіт формується, головним чином, у зонах “свіжого зрушення”. В обводненні гірничих виробок приймають участь тільки водоносні горизонти кам'яновугільних порід, що потрапляють до зони водопровідних тріщин, яка утворюється після обвалення покрівлі очисних виробок й досягає потужності 30m (m – потужність вугільного пласта, що розроблюється). Низький ступінь метаморфізму й переважно глинистий склад кам'яновугільних відкладів призводить до розмокання й кольматації тріщин. Через 1-2 місяця після утворення тріщинуватості водотривкі властивості порід практично відтворюються.

#### 4. РОЗРОБКА ТА АПРОБАЦІЯ ЧИСЕЛЬНОЇ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ШАХТИ ІМ. СТАШКОВА

Визначення розрахункових значень гідрогеологічних параметрів проводилось за результатами дослідно-експлуатаційної відкачки, проведеної в безперервному режимі за наступними методиками.

Гідрогеологічні параметри обухівського водоносного горизонту, що оцінюється, визначались по даних дослідно-експлуатаційної відкачки за формулами сталого ( $km$ ) та несталого ( $km, a$ ) руху підземних вод. Розрахунки та обґрунтування прийнятого коефіцієнту водопровідності ( $km$ ).

Розрахунки коефіцієнтів водопровідності за несталим рухом підземних вод виконані за даними графіків часового простежування зниження ( $S$ ) та підвищення ( $S^*$ ) рівнів води у свердловинах:  $S = f(\lg t)$  та  $S^* = f(\lg t)$ . Методика розрахунків передбачає використання наступних залежностей, що відображають результати дослідних робіт:

$$km_t = \frac{0,183Q}{C_t},$$

де:  $Q$  - дебіт свердловини, м<sup>3</sup>/добу;  $C_t$  - кутовий коефіцієнт прямолінійної ділянки графіка;

$$C_t = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (8.2)$$

де:  $S_2$  і  $S_1$  – зниження (у процесі відкачки) або підвищення  $S_1^*$  і  $S_2^*$  – рівня (у процесі відновлення) на момент часу  $t_2$  і  $t_1$  (знімається з графіка).

Визначення коефіцієнту водопровідності виконане за результатами простежування рівнів води у центральній (№1е) та спостережній (№2с) свердловинах у початковий період відкачки (при зниженні рівнів води) та по завершенню дослідно-промислової відкачки – при відновленні рівнів води.

В основу розрахунків коефіцієнтів водопровідності за формулами сталого руху враховувались єдиновременні дані (дебіт, зниження) при досягнутій стабілізації дослідів:

а) для центральної свердловини:

$$km = \frac{0,366Q}{S_0} \lg \frac{R_n}{r_0},$$

б) для центральної та спостережної свердловин:

$$km = \frac{0,366Q}{S_0 - S_1} \lg \frac{r_1}{r_0},$$

де:  $Q$  – проектний дебіт свердловини, м<sup>3</sup>/добу;  $R_n$  – приведений радіус впливу на кінець відкачки (т);  $R_n = 1,5\sqrt{at}$ ;  $a$  – коефіцієнт п’єзопровідності, м<sup>2</sup>/добу;  $t$  – тривалість відкачки, діб (45,4);  $r_0$  – радіус свердловини, м;  $r_1$  – відстань між центральною та спостережною свердловинами, м;  $S_0$  – зниження рівня в центральній свердловині на кінець відкачки, м;  $S_1$  – зниження рівня в спостережній свердловині на кінець відкачки, м;  $km$  – коефіцієнт водопровідності, м<sup>2</sup>/добу.

в) по залежності

$$km = A_0q,$$

де:  $A_0$  – емпіричний коефіцієнт (для напірних вод = 130);  $q$  – питомий дебіт, дм<sup>3</sup>/с. Розрахунки коефіцієнтів водопровідності ( $km$ ) за даними дослідних робіт наведені в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків коефіцієнтів водопровідності ( $km$ )

№ свердловини	Стале посування $km$ , м <sup>2</sup> /добу	Нестале посування $km$ , м <sup>2</sup> /добу	
		Часове простежування	
		$S = f(lgt)$	$S^* = f(lgt)$
1e	18,18	13,07	13,07
1e-2c	14,48	-	-
1e	15,6	-	-
2c	-	15,25	15,25

До території досліджень входить Павлоградсько-Петропавлівський та Західно-Павлоградський гірничопромислові райони. Зовнішні границі області фільтрації, що моделюється, просторово співпадають з границями цих районів. Площа області фільтрації, що моделюється, складає 4,173 тис. км<sup>2</sup>. Довжина

дослідної території значно переверщує її ширину. Для скорочення числа ефективних блоків вісь X проведена паралельно довгому боку ділянки. На більшій її частині обраний напрямок вісі X співпадає з переважним напрямком виходу вугільних пластів під покривну товщу. Розбивка області фільтрації – рівномірна, шаг сітки – 500 м. Такий шаг дозволив відобразити безпосередній взаємозв'язок підземних вод кам'яновугільної товщі з водонасиченою вищезалегаючою покривною товщею. Кількість розрахункових блоків –  $214 \times 78$ .

На рівні сучасної вивченості геологічної будови, гідрогеологічних та техногенних умов область фільтрації схематизовано у вигляді 20 розрахункових шарів, які включають наступні водоносні горизонти і комплекси та слабопроникні відклади:

*1-й шар* – водоносні алювіальні відклади (заплава й надзаплавні тераси (aQ2-4, aN) та відклади полтавської, берекської і сарматської свит, (N1s, N1pl, P3br);

*2-й шар* – слабопроникні глинисті піски харківських відкладів (P3hr);

*3-й шар* – водоносні пісковики та дрібно- середньозернисті піски харківських відкладів і тонкозернисті глинисті піски, що залягають у їх низах (P3hr);

*4-й шар* – слабопроникні мергелі київських відкладів у північно-західній частині досліджуваної території та водоносні пісковики на її решті (P2kv);

*5-й шар* – водоносні піски бучацьких відкладів (P2bc);

*6-й шар* – слабопроникні глини юрських відкладів (J1+J2);

*7-й шар* – водоносні пісковики, вапняки, рідше - піски юрських відкладів (J1+J2);

*8-й шар* – слабопроникні глини юрських відкладів (J1);

*9-й шар* – водоносні строкаті піщанисті глини, пісковики, зеленувато-сірі р/з й д/з піски, рідко конгломерати тріасових відкладів (T);

*10-й – 20-й шар* – водоносні кам'яновугільні відклади та кристалічні породи. Ці розрахункові шари кам'яновугільної товщі представлені водоносними комплексами, що складаються з перешарування верств вугілля, піс-

ковиків, вапняків, аргілітів і алевролітів. На окремих ділянках до їх складу входять кристалічні породи архею.

Фільтраційна модель охоплює область живлення, транзиту й розвантаження підземних вод. У зв'язку з регіональним характером досліджень, спорадично розповсюджений водоносний горизонт четвертинних еолово-делювіальних відкладів, що залягає на вододілах понад червоно-бурими глинами, на моделі не відтворювали. Перетік через червоно-бурі глини не залежить від положення рівня водоносного горизонту, що залягає нижче, і тому задавався на моделі у вигляді додаткового інфільтраційного живлення.

Основна проблема при обґрунтуванні границь розрахункових шарів полягала в обґрунтуванні у розрізі границь кам'яновугільної товщі. Ця товща при нахилі на північ і північний захід під кутом 2-5° розбита значною кількістю поперечних та діагональних скидів і до одного розрахункового шару попадають різні за віком верстви. Для обґрунтування числа розрахункових шарів і контурів їх виходу під буцацькі та тріасові відклади, а також для визначення абсолютних відміток їх покрівлі і підшви були вивчені і проаналізовані регіональні геологічні розрізи, карти гіпсометрії робочих вугільних шарів, плани гірничих робіт по 11 шахтах, карта виходу вугільних пластів і вапняків під відклади, що залягають вище. Додатково до розглянутих матеріалів було побудовано 14 розрізів, з яких три розрізи по простяганню порід, а 11 розрізів – по їх падінню (розрізи у робочому вигляді знаходяться в ДВ УкрДГРІ). При визначенні числа розрахункових шарів прагнули до того, щоб у кожному з них знаходився один вугільний пласт робочої потужності чи зближені вугільні пласти. При виділенні границь розрахункових шарів на площині виходу верств кам'яновугільних порід під буцацькі та тріасові відклади (рис. 4.1), і у розрізі прагнули до того, щоб ці границі не перетинали верстви. У водоносній товщі кам'яновугільних відкладів та кристалічних порід було виділено 11 розрахункових шарів. На фрагментах розрахункової схеми видно, як вугільні верстви у розрахункових шарах переходять одна в другу.

Табл. 4.2 – Характеристика розрахункових шарів кам'яновугільної товщі

№№ розрахункових шарів	Абс. відм. підшви, м	Потужність шару, м	Ухил шарів
1	2	3	4
10	-1370÷35	50-500	0,133-0,144
11	-1650÷35	150-250	0,09-0,15
12	-1600÷35	40-50	0,02-0,2
13	-1680÷60	30-80	0,02-0,16
14	-1800÷60	40-100	0,045-0,133
15	-1900÷100	50-100	0,025-0,14
16	-2000÷110	90-100	0,122-0,17
17	-2100÷100	100-120	0,06-0,28
18	-2300÷85	120-250	0,13
19	-2450÷80	150-200	0,025-0,12
20		100	

*Зовнішні границі моделі.* На заході границя моделі збігається з границею Західно-Павлоградського ГПР і проходить уздовж лінії селищ Меліоративне, Всесвятське (на річці Самара) і Попасне, на сході вона збігається з границею Красноармійського вугленосного району і проходить уздовж лінії – селище Іванівка, ст. Межова і селище Калініно. На півночі границю обрано за межами перспективних вугленосних ділянок Павлоградсько-Петропавлівського та Західно-Павлоградського ГПР уздовж лінії – верхів'я річки В'язівок, селище Варварівка (на річці М. Тернівка) і селище Слав'янка (на річці Бик). На півдні границю обрано за контуром виклинювання кам'яновугільних, бучацьких і київських відкладів по виходах кристалічних порід архею на поверхню чи під харківські відклади уздовж лінії – с. Майське, с. Воскресіньвка (на річці Вовча) і с. Гаврилівка (на річці Кам'янка). На зовнішніх границях задаються умови II ( $Q = 0$  – лінія току) і III роду (приплив, відтік підземних вод до розрахункових шарів, взаємозв'язок підземних вод з поверхневими водами).



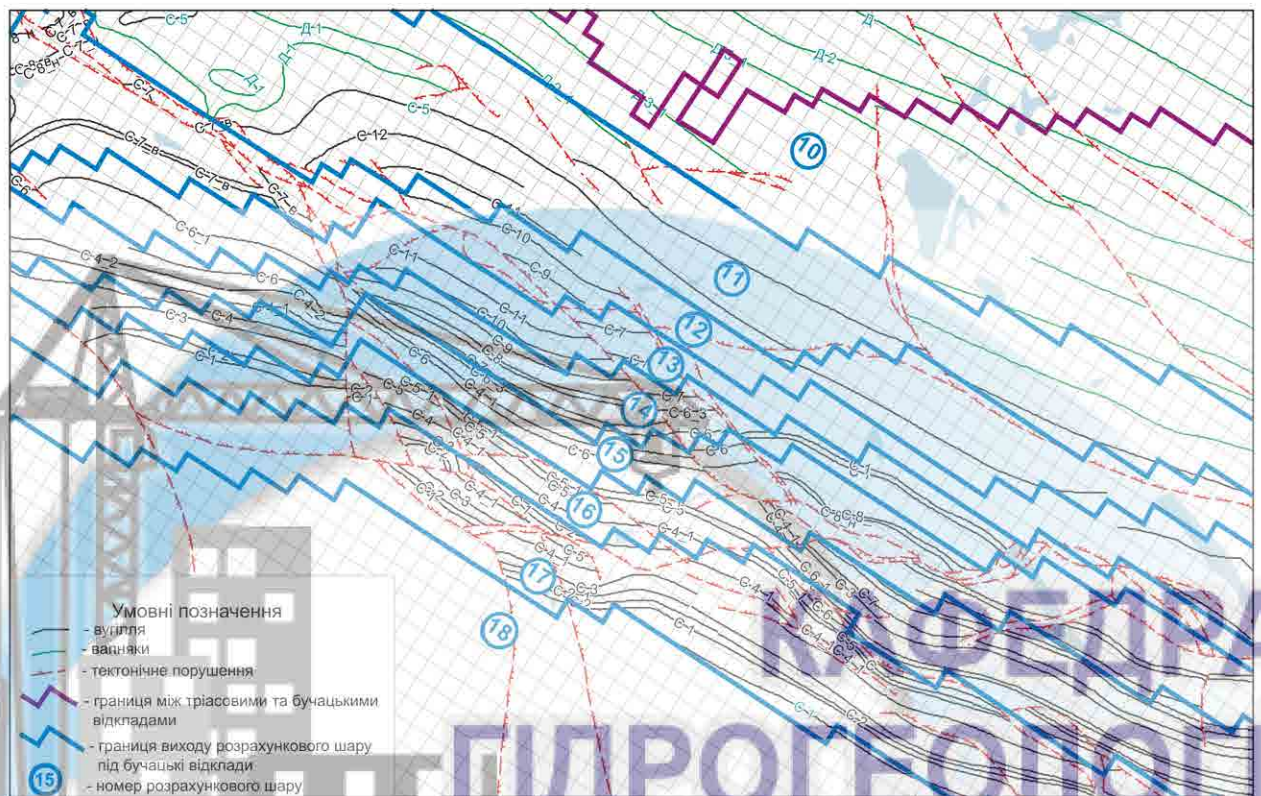


Рис. 4.1 – Апроксимовані границі та площі виходу розрахункових шарів під покривні відклади (фрагмент розрахункової схеми)

*Внутрішні границі* на епігнозний період – поверхневі водотоки, інфільтраційне живлення, шахти і водозабори, що експлуатуються, і на прогностичний період можливо задати шахти на перспективних вугленосних ділянках та розвідані водозабори. Внутрішні границі відображаються умовами II ( $Q = \text{const}$  – інфільтрація атмосферних опадів, техногенні витоки і водозабори) і III роду (взаємозв'язок підземних вод з поверхневими водами і гірничими виробками).

Зовнішні контури розрахункових шарів не співпадають між собою, але в програмному комплексі “MODFLOW”, на базі якого створюється модель, не передбачено можливості виклинювання шарів, і тому розрахункові шари умовно були розповсюджені в межах всієї області фільтрації. Кожний розрахунковий шар за межами фактичного контура виклинювання послідовно представлено верхніми частинами шарів, які розташовані нижче.

Потужність кожного розрахункового шару на умовній площі їх розповсюдження дорівнювала приблизно 0,2 м, а в межах ділянок з нерівностями підосви тріасових і бучацьких відкладів її значення досягало до 0,5 м. До складу розрахункових шарів, починаючи з 12, входять і кристалічні породи, але тільки у 20-му шарі вони мають переважне поширення.

Відповідно вимогам програмного забезпечення модель по розрахункових шарах представляється масивами вихідної інформації.

Для створення масивів вихідної інформації були використані: карта гіпсометрії поверхні землі, геоморфологічна карта, абсолютні відмітки поверхневих вод, зведення про глибину залягання рівнів ґрунтових вод, гідрогеологічні розрізи, дані про фільтраційні параметри порід з урахуванням анізотропних особливостей порід, абсолютні відмітки про покрівлю і підосву розрахункових шарів, відомості про водовідбір на водозаборах та з поодиноких свердловин, плани ведення гірничих робіт, абсолютні відмітки горизонтів ведення гірничих робіт, водоприплив до шахт і горизонтів, зведення про режимні спостереження рівнів підземних вод.

*Масив поверхні землі* складено на основі топографічної карти М 1: 200 000. Абсолютні відмітки поверхні землі в природних умовах змінюються від 40 м до 200 м. Загальне зниження – в напрямку до рік та балок. Самі низькі відмітки поверхні задані уздовж річок Самара і Вовча.

*Масиви абсолютних відміток покрівлі й підосви водоносних горизонтів.* При їх створенні було використано відомості про геологічну будову дослідної ділянки: регіональні розрізи та розрізи свердловин, що надані ДВ УкрДГРІ Придніпровською гідрогеологічною партією при виконанні роботи, а також матеріали до оцінки запасів прісних підземних вод в західній частині Донбасу у межах Дніпропетровської та Харківської областей й звіти про вивчення режиму підземних вод.

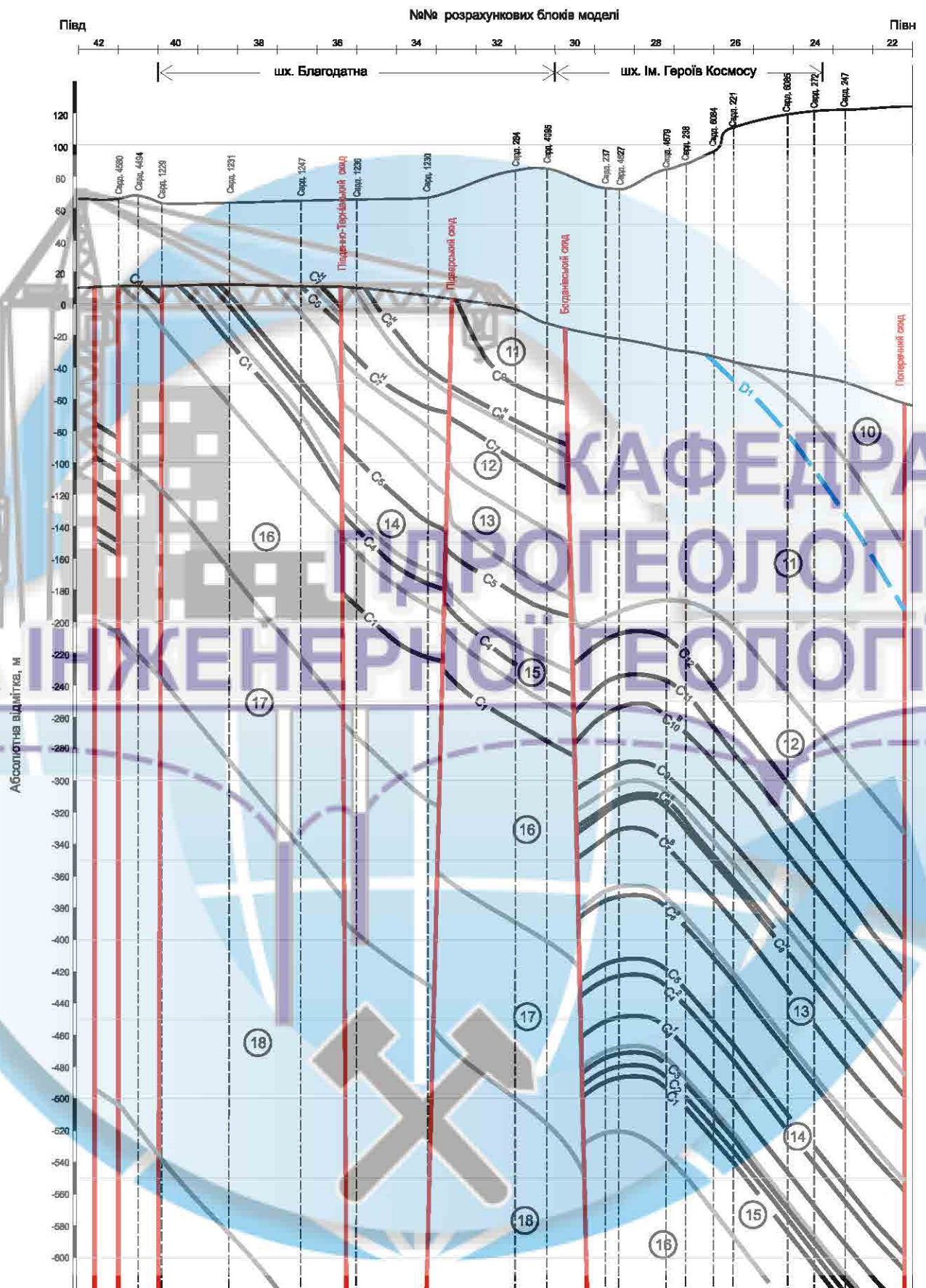


Рис. 4.2 – Фрагмент розрахункової схеми по лінії розрізу І-І



Рис. 4.3– Гіпсометрія поверхні землі

При побудові структурних карт виникло ряд труднощів:

- місцезнаходження деяких свердловин за різними джерелами інформації відрізняється між собою до 500-1 000 м;
- по деяких свердловинах абсолютні відмітки підповерхви структурних елементів значно відрізняються від абсолютних відміток за свердловинами, що розташовані поблизу;
- недостатньо було даних для побудови структурних карт юрських та тріасових відкладів;
- у східній частині моделі недостатньо даних для побудови структурних карт за усіма геологічними елементами;
- невідоме точне місцезнаходження наступних свердловин: західна частина – №№ 5230, 83г, 6196, 5917, 2пр, 15601, 22д, 120; центральна частина – №№ А-7821, 14758, 3662, 6647, 13 642, 3662, 8738, 8743, 8666, 125пр, 6638а, 12534, 12533, 13562; східна частина – №№ 15594, 14729, 23430, 24430.

На структурних картах абсолютні відмітки підповерхви водоносного горизонту алювіальних відкладів та відкладів полтавської й берекської світ змінюються від 40 до 130 м (мінімальні відмітки пристосовані до долин річок, максимальні – до вододілів); харківських відкладів – 10-120 м, київських відкладів – 0-80 м, бучацьких відкладів – від мінус 20 до 70 м; юрських відкладів – від мінус 230 до 40 м; тріасових відкладів – від мінус 330 до 70 м.

Масиви вихідної інформації, які відтворювали структурні особливості розрахункових шарів, використовували:

- при розрахунках потужності і середніх значеннях коефіцієнтів фільтрації водоносних горизонтів та поділяючих шарів;
- при визначенні випаровування, височування та глибини залягання підземних вод;
- при відтворенні на моделі гірничих горизонтів шахт.

*Масив природного й техногенного інфільтраційного живлення підземних вод надано у вигляді зон, які визначалися на підставі карт геоморфологічної будови, літологічного складу порід зони аерації, наявності лісових насаджень, глибини залягання рівня ґрунтових вод й місцезнаходження джерел техногенного навантаження (міста, села, заводи). За даними Павлоградської ГРЕ величина живлення ґрунтових вод за рахунок атмосферних опадів складає від декількох одиниць до 416 мм на ділянках з потужністю зони аерації 0-4 м і від 5,2 мм і до 133,5 мм на ділянках з потужністю зони аерації більш 4 м. З жовтня 1985 р. по жовтень 1986 р., при атмосферних опадах 531,6 мм, живлення ґрунтових вод на глибинах 1,5 м; 2,5 м; 6 м складало, відповідно, 335 мм; 72,2 мм; 29,4 мм тобто 63 %; 13,6 %; 5,5 % від суми опадів. Величина інфільтраційного живлення за площею на моделі початково змінюється від 7 до 150 мм/рік. Мінімальні значення пристосовані до ділянок, де породи зони аерації надані глинами та відсутнє техногенне навантаження (зони вододілів на сході та півночі моделі). Максимальні – по площі розташування підприємств м. Павлограда. На ділянках, де відсутні джерела техногенного навантаження, величина інфільтраційного живлення початково прийнята у розмірі: глини – 7 мм/рік, суглинки – 15 мм/рік, піски – 50 мм/рік.*

У зонах, де розташовано водоносний горизонт в еолово-делювіальних суглинках, що формується на червоно-бурих глинах, величина інфільтраційного живлення прийнята 20 мм/добу.

Величина інфільтраційного живлення змінюється та корегується під час рішення оберненої нестационарної задачі відповідно етапів вирішення. У зв'язку з тим, що задача регіональна, величина інфільтраційного живлення за рахунок ат-

мосферних опадів на моделі задавалася середньобагаторічною, тобто водність окремих років не враховувалася. Для переоцінки експлуатаційних ресурсів підземних вод необхідно розділити інфільтраційне живлення за рахунок природних та техногенних факторів й виконувати при умові 85 % та 50 % забезпеченості.

*Масив випаровування з поверхні землі, евапотранспірації та височування.* На моделі ця величина початково умовно задана в розмірі 200 мм/рік для всієї області фільтрації; критична глибина до води, нижче за яку випаровування не враховується, дорівнює 3 м. У блоках, де розташовані водотоки й водойми значення випаровування дорівнює нулю.

За даними Павлоградської ГРЕ випаровування на глибинах 1,5 м; 2,5 м; 5 м за 1986-1987 рр. при атмосферних опадах 531,6 мм складає, відповідно, 88 мм, 87 мм; 46 мм.

*Масив коефіцієнта фільтрації* було сформовано за даними про коефіцієнти фільтрації, що наведені в звітах. Масив коефіцієнтів фільтрації водоносних горизонтів та комплексів побудовано у вигляді зон. Для товщі порід, що залягає вище кам'яновугільних відкладів з урахуванням даних досліджень були визначені зони з близькими значеннями коефіцієнту фільтрації.

У кожній зоні коефіцієнт фільтрації надано по осям X, Y, Z. Для першого розрахункового шару (алювіальні відклади й відклади полтавської і берекської світ) було сформовано зони на основі відомостей про літологічний склад порід з оглядом на геоморфологічні ознаки території: у долинах рік 1-5 м/добу (т/з, с/з піски, суглинки, супісі) ÷ 70-100 м/добу (в/з піски з гравієм); на вододілах – 0,5 м/добу.

За даними попереднього моделювання для другого розрахункового шару (глинисті піски харківського віку) початкове значення коефіцієнту фільтрації прийнято рівним 0,01 м/добу для усієї ділянки, що моделюється.

Для третього розрахункового шару (піски й пісковики харківської світи) зони виділені за даними ДФР та літологічним складом порід. Початкове значення – 0,1-100 м/добу. У західній частині досліджуваної ділянки, в залежності від ступеня тріщинуватості пісковиків, значення коефіцієнтів фільтрації змінюються від

0,1 м/добу до 100 м/добу. У центрі та східній частині коефіцієнти фільтрації складають 0,1-70 м/добу (переважно до 10 м/добу) – м/з та р/з піски.

Більшість параметрів за даними ДФР було визначено для єдиної товщі київсько-бучацьких відкладів, тому в центральній і східній частині області коефіцієнти фільтрації четвертого (пісковики) та п'ятого (піски) шарів прийняти однаковими й складають 0,5-60 м/добу. На заході дослідної території у четвертому шарі (мергелі) коефіцієнт фільтрації складає початкове  $10^{-5}$  м/добу, у п'ятому (піски) – 1-5 м/добу. Проникність мергелів під річкою Самара прийнята на 1-2 порядку вище, ніж на іншій території (за досвідом моделювання ДДВ).

Прийняті початкові значення коефіцієнту фільтрації для шостого розрахункового шару (юрські глини) –  $10^{-3}$  м/добу, для сьомого розрахункового шару (пісковики юрських відкладів) – 2-10 м/добу, для восьмого розрахункового шару (юрські глини) –  $10^{-3}$  м/добу, для дев'ятого розрахункового шару (пісковики тріасових відкладів) – 0,8-20 м/добу. У зоні, де водоносний горизонт юрських відкладів є єдиним з водоносним горизонтом бучацьких відкладів коефіцієнт фільтрації сьомого розрахункового шару задано у розмірі 20 м/добу. Найбільші величини коефіцієнту фільтрації дев'ятого розрахункового шару (пісковики тріасових відкладів) пристосовані до ділянки, де водоносний горизонт тріасових відкладів є єдиним з водоносним горизонтом бучацьких відкладів.

Величини коефіцієнтів фільтрації кам'яновугільних порід залежать від типу порід (аргіліти, алевроліти, пісковики, вапняки та шари вугілля) і співвідношення відповідних їх потужностей в інтервалі випробування, тріщинуватості, пористості, анізотропних властивостей порід, глибини їх залягання і розміру інтервалу випробування.

Нестационарну задачу вирішували на період 1955-2007 рр.

В програмному засобі “MODFLOW” кожен етап вирішення оберненої задачі, що включає зміни техногенних умов, є окремою задачею. Задачі вирішуються не в абсолютних датах, а в умовних часах. Початковий час рішення дорівнювали нулю.

Коли при вирішенні нестационарної задачі виникала необхідність змін фільтраційних параметрів чи природних граничних умов на окремих ділянках, то рішення задачі повторювали кожен раз, починаючи із стаціонарних умов. Це забирало кількість часу. Зміни параметрів та граничних умов, що спричинені техногенним впливом, вносили до моделі при рішенні нестационарної задачі.

Нестационарну задачу вирішували за періодами (8 етапів), в межах яких граничні умови прийняті постійними.

Розподіл водопритоку до горизонтів гірничих робіт під час вирішення кожного етапу виконували відносно фактичних даних. По шахтах, що відпрацьовують вугільні шари відкритого типу (Степова, Першотравнева, Ювілейна, ім. Сташкова), максимальний водовідлив зосереджували в блоках поблизу виходу вугільних шарів під водонасичені бучацькі піски. По шахтах, що відпрацьовують вугільні шари закритого типу, існуючий водовідлив розподілявся по блоках моделі з гірничо-капітальними та видобувними виробками рівномірно. В блоках, де вже були закінчені видобувні роботи, водовідлив не задавали.

На моделі відтворювали роботу водозаборів (табл. 4.3). Завдяки можливостям програмного забезпечення зміни водовідбору вносили і упродовж етапу.

Етап розв'язання епігнозної нестационарної задачі на період 01.1955-01.1968 рр. У депресійних воронках від роботи шахт перепад рівнів підземних вод у межах одного розрахункового блоку (500×500 м) за фактичними даними складав від 1 до 20 м.



Табл. 4.3 – Стан гірничих робіт, який відображали на моделі (за періодами моделювання)

№ п/п	Шахти	Початок водовідл. пуск	ПЕРІОДИ (роки)															
			1955-1968		1968-1975		1975-1978		1978-1987		1987-1990		1990-1995		1995-2000		2000-2006	
			Розр. шари	Стан робіт	Розр. шари	Стан робіт	Розр. шари	Стан робіт	Розр. шари	Стан робіт	Розр. шари	Стан робіт	Розр. шари	Стан робіт	Розр. шари	Стан робіт	Розр. шари	Стан робіт
1	Тернівська (скид шахтних вод у б. Глиняна до 1968, потім у б. Свідовок)	1957 1962	1-16 13-15 13-14	Стволи ГК ВР (1964)	13-15	ВР	13-15	ВР	11 11-15	ГК ВР	11-15	ВР	11-15	ВР	11-15	ВР	11-14	ВР
			ВОДОВІДЛИВ, м³/добу	1051	1150-1690	1530	5580	5568- 6408	6072- 7440	6600- 7272		9960						
2	Першотравнева (скид шахтних вод у б. Косьмінна)	1960 1963	1-16 17 17	Стволи ГК ВР (1963)	17	ВР	17	ВР	17	ВР	17	ВР	17	ВР	17	ВР (до 1997)	05.2005 – мокра конс	
			ВОДОВІДЛИВ, м³/добу	6103	11136	9792	8352	8110	10200- 11688	12720- 13392		9840- 11760						
3	Степова (скид шахтних вод у б. Косьмінна)	1960 1965	1-16 15-16 15-16	Стволи ГК ВР (1965)	15-16	ВР	1-16 15-16 15-16	Ствол ГК ВР	15-16	ВР	15-16	ВР	15-16	ВР	15-16	ВР	15-16	ВР
			ВОДОВІДЛИВ, м³/добу	9720	27432	27240	20760	19970	20688- 21192	20904- 22320		20976- 22416						
4	Павлоградська (скид шахтних вод у б. Ніколіна)	1963 1968	1-16 12	Стволи ГК	12 11-12	ГК ВР (1970)	11-12	ВР	14 11-14	ГК ВР	11 13-14 12	ГК ВР	11 13-14	ВР ВР	11 13-14	ВР ВР (к)	15-16 13-14	ГК ВР (2005)
			ВОДОВІДЛИВ, м³/добу	530	3900	4450	5790-7590	7490	6624- 9974	4940- 7800		5280-6480						
5	Ювілейна (скид шахтних вод у б. Косьмінна)	1965 1970	1-16 15-16	Стволи ГК	15-16	ВР	15-16 15-16	ГК ВР	15-16	ВР	15-16	ВР	15-16 15-16	ГК ВР	15-16	ВР	15-16	ВР
			ВОДОВІДЛИВ, м³/добу	792-1656	13824	15624	23160	20520- 22660	20712- 25056	19272- 25128		17070- 21216						
6	Благодатна (скид шахтних вод у б. Ніколіна, до 1968, потім у б. Свідовок)	1966 1971	1-12 11-12	Стволи ГК	13-16 11-12 11-12	Стволи ГК ВР (1972)	11-12	ВР	14 12-15 11	ГК ВР ВР (1985)	12-14 16	ВР ВР	12-14 16	ВР ВР	12 14-16	ВР (к) ВР	14,16 15	ВР ВР (до 2004)
			ВОДОВІДЛИВ, м³/добу	770	1930	2200- 2520	2976	4930	7608- 7992	5688- 5880		5304-5784						
7	Самарська (скид шахтних вод у б. Таранова)	1965 1973	1-12 15-16	Стволи ГК	15-16	ВР (1973)	15-16	ВР	15-16	ВР	15-16	ВР	14-16	ВР	14-16	ВР	14,16 15	ВР ВР (до 2004)
			ВОДОВІДЛИВ, м³/добу	410-1236	1010	1890	4440	6860	8730	8544- 10992		10032- 13008						

Етап розв'язання оберненої нестационарної задачі на період 10.1990-01.1995 рр. Стан гірничих робіт і водовідбір, які задані на моделі. На цьому етапі відсутні контрольні дані. Однак, відомо, що під вплив шахти ім. Сташкова потрапили водозабори Самарський й Світлогірський. Зниження рівня на водозаборі Самарський складало к 1992 р. біля 20 м в бучацьких відкладах та 1,7 м – в харківських. При моделюванні більшість часу було присвячено корегуванню параметрів розрахункових шарів для отримання розподілу рівнів підземних вод на цій ділянці.

Етап розв'язання оберненої нестационарної задачі на період 01.1995-01.2000 рр. Стан гірничих робіт і водовідбір, які задані на моделі. Збіжність результатів моделювання на початок 2000 р. з даними режимних спостережень за рівнями (напорами) підземних вод знаходилася у межах припустимої помилки за винятком деяких свердловин.

На даному етапі модель вимагала коригування рівнів підземних вод на ділянках *шахт Степова, Першотравнева, Ювілейна та ім. Сташкова.*

Етап розв'язання оберненої нестационарної задачі на період 01.2000-01.2006 рр. Стан гірничих робіт і водовідбір, які задані на моделі. Збіжність результатів моделювання на початок 2006 р. з даними режимних спостережень за рівнями (напорами) підземних вод знаходилася у межах припустимої помилки за винятком деяких свердловин.

*Першотравенський водозабір.* На моделі рівні підземних вод на ділянці Першотравенського водозабору знаходяться на 0,5-5 м нижче за спостережливі. Збільшення інфільтраційного живлення по б. Суха Чаплинка та коефіцієнта фільтрації харківських відкладів у центрі водозабору на підвищення рівнів підземних вод практично не впливало. За цим водозабором немає даних по розподілу витрат за експлуатаційними свердловинами – це ускладнювало корегування моделі.

*Водозабори механічного заводу та бази будіндустрії.* За даними спостережень у 2005 р. рівень підземних вод у київських відкладах (свр. № 4008а) складав 74,0 м, а в бучацьких відкладах (свр. № 4 009а) – 61,8 м. На моделі водоносні горизонти київських та бучацьких відкладів єдині. В розрахунковому блоці із свр. №№ 4 008а і 4 009а, рівень підземних вод, що отримано на моделі складав 65,8 м.

*Водозабір Гніздівський.* На моделі рівні підземних вод у розрахунковому блоці зі свр. № 15 872 (алювіальні відклади) на 3,5 м вище за спостережливі, а у розрахунковому блоці зі свр. № 15 219 (харківські відклади) – на 3,8 м.

*Водозабір міський незатверджений.* На моделі рівні підземних вод у розрахунковому блоці із свр. № 7362 (харківські відклади) на 6,6 м нижче за спостережні. Відсутність даних по розподілу витрат поміж експлуатаційними свердловинами утрудняє коригування моделі.

*Вербський водозабір.* На моделі безпосередньо на ділянці водозабору рівні підземних вод у розрахунковому блоці із свр. № 22 917 (кам'яновугільні відклади) на 4 м нижче за спостережні.

*Шахти Павлоградська, Тернівська.* Між шахтами в блоці із свр. № 6 647а (бучацькі відклади) абсолютна відмітка рівня підземних вод на моделі нижче за фактичну на 5 м.

*Шх. Самарська.* Збіжність рівнів на моделі й об'єкті у межах шахтного поля – до 5 м. У блоці зі свр. № 944 (харківські відклади) рівень підземних вод на моделі на 10 м нижче за фактичний.

*Шх. ім. Сташкова.* За свр. № 14 986 (харківські відклади), що розташована на північній границі шахтного поля рівень підземних вод на моделі нижче за фактичні на 15,8 м. У блоці зі свр. № 3 756b (бучацькі відклади, південна границя шахтного поля) рівень води на моделі перевищує фактичний на 10,7 м.

*Шахти Степова, Першотравнева, Ювілейна.* Рівень підземних вод у бучацьких відкладах (свр. № 6 378, південна границя поля шх. Першотравнева) нижче за фактичний на 8 м. За 500 м на північ від шахтного поля (у блоці зі свр. № 120) – вище за фактичний на 1,6 м. У бучацьких відкладах незбіжність рівнів підземних вод за результатами моделювання і фактичними в центрі депресійної воронки складає 10,9 м (свр. № 6 772). На заході від центру воронки (свр. № 15238а) рівень води на моделі отримано вище за фактичний на 3,3 м; на півдні від центру воронки (свр. № 14 750) рівень води на моделі нижче за фактичний на 4,8 м.

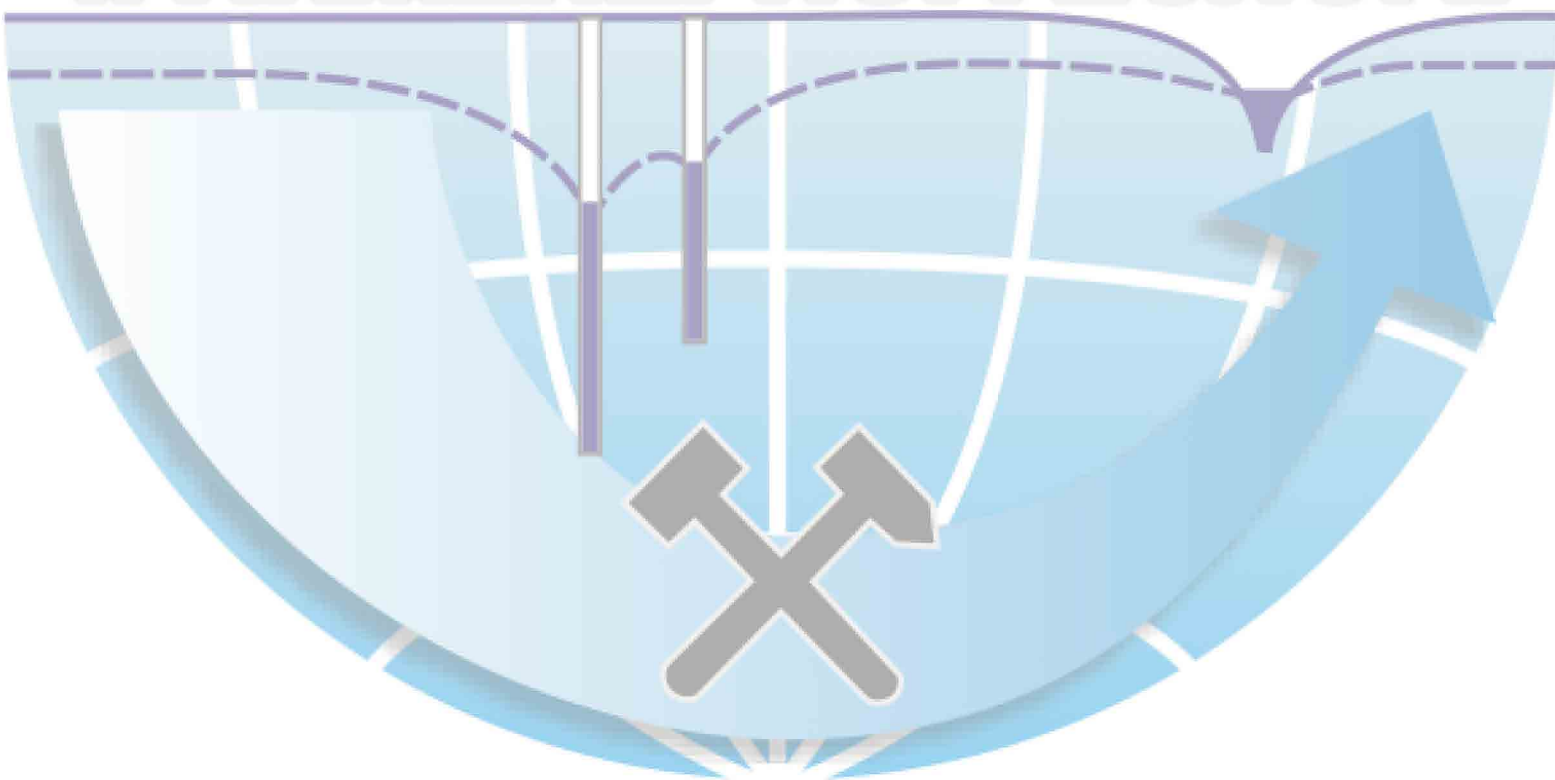
У київських відкладах на півночі (свр. № 5 510а ) рівні на моделі (76,3 м) і об'єкті (75,6 м) близькі. Однак, незбіжність рівнів підземних вод у блоці із свр. №

6 782 складає мінус 11 м (модель – 57,1 м; об'єкт – 69,1 м). На цей же час у бучацьких відкладах (№ 6 781) різниця між рівнями на моделі й об'єкті складає 3 м. У свр. № 14 751а рівні на моделі й об'єкті близькі, відповідно, 59,4 м і 61,5 м.

У харківських відкладах у південній частині поля шх. Ювілейна (свр. № 22 202) рівень підземних вод на моделі нижче за фактичний на 6,7 м.

На водоносний горизонт алювіальних відкладів на цей період існує тільки одна спостережна свердловина № 6 380, що розташована на півдні шахтного поля. Рівень підземних вод на моделі в блоці с цією свердловиною нижче за фактичний на 11,1 м. У свердловинах № 23 653 та № 23 654 спостереження проводяться за рівнями підземних вод еолово-делювіальних відкладів. Цей водоносний горизонт не відображали на моделі.

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## 5. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОСВОЄННЯ ТЕПЛООВОГО РЕСУРСУ

### ШАХТНИХ ВОД

Виконані в 3 главі, за допомогою математичного моделювання, розрахунки дозволили кількісно оцінити водоприток в гірничі виробки, розташовані на різних горизонтах шахти ім. М.І. Сташкова. Однак після її закриття та відключення водовідливу відпрацьований простір з часом буде затоплено, що створить загрозу стрімкого підйому рівня шахтних вод і підтоплення денної поверхні. Крім того, безліч прилеглих населених пунктів, на тлі постійно зростаючих цін на енергоносії, стануть відчувати гострий брак в тепловій енергії. Промислові та цивільні будівлі в холодну пору року залишаться без опалення та гарячого водопостачання [33]. Разом з тим, в затоплених гірничих виробках будуть зосереджені значні ресурси техногенної теплової енергії, представлені підземними водами з температурою до 20°C, які в даний час практично не використовуються.

Закордонний науково-практичний досвід споживання тепла шахтних вод показує можливість застосування цієї енергії і рентабельність її використання. В даний час здійснюється багато невеликих проектів, в яких тепло води із затоплених шахт використовується для обігріву одно-двоповерхових будівель (Німеччина, Франція, Англія). Найбільш масштабним вважається голландський проект, який отримав назву MinewaterProject. У шахтарському містечку Херлен вода шахти, що простояла затопленою близько 30-ти років, зараз обігріває район - близько 350 будівель, з яких понад 200 - житлові будинки. Разом з тим, відбір теплих шахтних вод пов'язаний з технічними проблемами. Вони пов'язані, перш за все, з високою мінералізацією вод, що досягає 5 г/дм<sup>3</sup> і наявністю в них різних речовин, що вимагає застосування спеціального устаткування і організації екологічно безпечного циклу використання води.

Рентабельність застосування теплих шахтних вод для опалення та гарячого водопостачання різко зростає при використанні теплових насосів. Так, на шахті

«Благодатна» «ДТЕК Павлоградвугілля» відбір шахтних вод в кількості 200 м<sup>3</sup>/год з коефіцієнтом перетворення тепла 3,5 дозволив досягти річної економії близько 60 000 доларів США [35]. При цьому робота насоса не створює шкідливих викидів в навколишнє середовище, що особливо важливо для вугледобувних регіонів. Однак, застосування теплових насосів на шахтах не набуло широкого поширення через великі капітальні витрати на їх установку і обслуговування. У зв'язку з чим, метою даного розділу є обґрунтування економічно ефективної технологічної схеми освоєння теплового ресурсу шахти «Сташкова» після її закриття, що забезпечує підтримання сприятливого енергетичного і еколого-гідрогеологічного режиму в регіоні.

При розробці технологічної схеми з використання шахтних вод необхідно мати на увазі, що після закриття шахти і її затоплення фільтраційні потоки в породному масиві будуть характеризуватися збільшенням швидкості і виполювання рівнів поблизу природних русел за рахунок багаторазового збільшення проникності порушених гірських порід. Це призведе до підтоплення і просідання денної поверхні. Природними руслами дренуються потоки низькопотенційного тепла з техногенного водоносного горизонту, що містить екологічно шкідливі компоненти. У зв'язку з чим, доцільно проводити відбір тепла в поєднанні з технологіями очищення води, які економічно ефективніші саме при наявності бросового низькопотенційного тепла.

Основні елементи технологічної схеми представлені на рис. 5.1, виходячи з якої, для запобігання підтоплення території навколо шахти необхідний систематичний відбір підземних вод із затоплених гірничих виробок різних горизонтів за допомогою водозабірних свердловин. При цьому максимальна ефективність роботи свердловин досягається шляхом суміщення їх стовбурів з магістральними виробками. Підйом вод на денну поверхню здійснюється за допомогою електродвигунних насосів (General Electric, Centrilift, Новомет та ін.), застосування яких обумовлено їх безвідмовною роботою в агресивних рідинах з розчиненими солями, газами і механічними домішками. Крім того, насоси даного типу характеризуються простотою наземного обладнання, тривалим міжремонтним періодом

експлуатації (2 - 3 роки), великою глибиною відбору (до 4 км) і значним дебітом (до 10000 м<sup>3</sup>/добу).

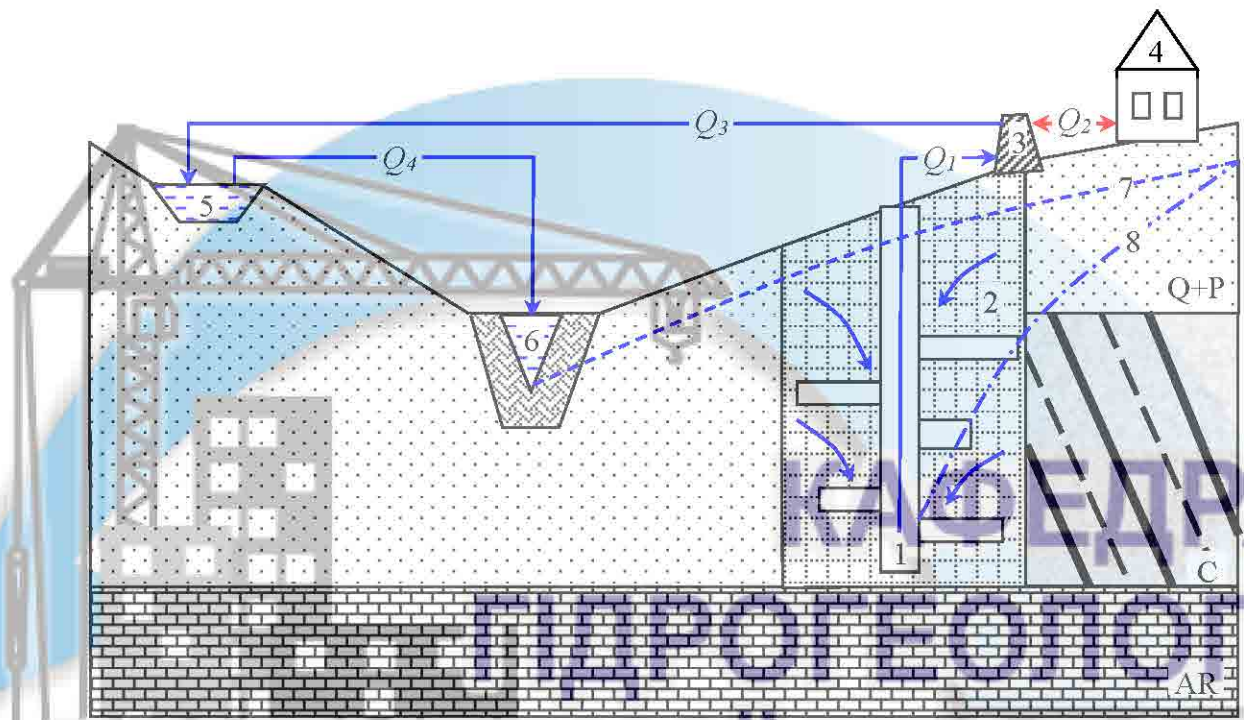


Рисунок 5.1 – Технологічна схема геомодуля з освоєння тепла шахтних вод: 1 – гірничі виробки; 2 – відпрацьований вугільний масив; 3 – тепловий насос; 4 – будівля; 5 – ставок-накопичувач; 6 – поверхневий водотік; 7, 8 – рівень шахтних вод до і після їх відкачування на денну поверхню;  $Q_1 - Q_4$  – відповідно потік (витрата) шахтних вод з виробок, теплоносія з насоса, відпрацьованих вод в ставок-відстійник і вод, що відстоялись в річку

Після надходження вод на денну поверхню вони направляються в міжтрубний простір випарника теплового насоса, де використовуються в якості низькопотенційного джерела теплової енергії і охолоджуються за рахунок кипіння в трубному просторі випарника хладону (робочого тіла, яким є низькокиплячі фторхлорвмісні вуглеводні, т.зв. фреони). Пари хладону з випарника постійно відсмоктуються компресором і, проходячи регенеративний теплообмінник, підігріваються внаслідок теплообміну з протікаючим всередині труб теплообмінника рідким хладоном. Компресор стискає підігріті пари хладону до тиску конденсації і направляє їх в міжтрубний простір конденсатора. У трубний простір конденсатора подається

вода, що нагрівається з тепломережі. На зовнішній поверхні труб в міжтрубному просторі конденсатора пари хладону охолоджуються і конденсуються, перетворюючись на рідину, яка потім надходить в переохолоджувач рідкого хладону, де охолоджується за рахунок теплообміну зі зворотною водою тепломережі. Далі рідкий хладон проходить всередині труб регенеративного теплообмінника, охолоджуючись додатково за рахунок теплообміну з парами хладону, і дроселюється в регулюючому пристрої, знижуючи свій тиск і, відповідно, температуру до тиску і температури в випарнику. Парорідинна суміш, що утворюється внаслідок дроселювання, кипить у випарнику, одержуючи тепло через стінки труб з шахтною водою. Пари хладону, що утворюються, відсмоктуються компресором, цикл робочого тіла теплового насоса замикається.

Таким чином, хладон постійно циркулює в замкнутому контурі насоса, зазнаючи зміни агрегатного стану в його апаратах і переносячи тепло від відновлюваного джерела шахтних вод до споживача теплоти середнього потенціалу за рахунок витрати енергії високого потенціалу в компресорі. При цьому для роботи відцентрового і теплового насоса витрачається електроенергія, кількість якої пропорційна потужності теплового потоку, що йде на обігрів будівель.

Охолоджені, в результаті віддачі теплової енергії випарнику насоса, шахтні води надходять у ставки-накопичувачі, розташовані в балках Косьміна, Свідовок і Таранова, звідки вони скидаються в р. Самара. Необхідно відзначити, що для зниження впливу шахтних вод на якість води в річці їх скидання повинно проводитися порційно в залежності від гідрогеологічного режиму річки.

Запропонована технологічна схема використання шахтних вод має ряд очевидних екологічних (запобігання підтопленню території, зниження впливу на навколишнє середовище) і енергетичних (опалення будівель) переваг. Однак для її впровадження у виробництво необхідно виконати техніко-економічне обґрунтування ефективності роботи схеми, завдання якого полягають у наступному:

- оцінити максимально можливий тепловий потік, що виникає при відборі підземних вод з різних горизонтів шахти;



- визначити коефіцієнт перетворення теплових насосів в залежності від температури шахтних вод;

- виконати порівняльний аналіз використання шахтних вод в теплових насосах з іншими видами природних низькопотенційних джерел теплової енергії;

- шляхом визначення витрат електроенергії на роботу відцентрового і теплового насоса, а також вартості вироблюваного ними тепла, встановити прибуток, що отримується від роботи запропонованого геомодуля;

- кількісно оцінити запобігання викидів  $CO_2$  за рахунок застосування теплових насосів і параметрів регулювання скидання шахтних вод, що забезпечують їх мінімальний вплив на поверхневі водотоки.

Для вирішення поставлених завдань необхідно визначити температуру вод, зосереджених в гірничих виробках різних горизонтів шахти «Сташкова». При цьому в першому наближенні можна прийняти, що гідродинамічні параметри шарів не залежать від процесів теплопереносу [38], а температура води і температура скелета порід збігаються в кожній точці. Вважаємо, що в межах шахтного поля рух шахтних вод здійснюється по затоплених виробках, теплообмін в розрахунковій площині відсутній [39], вісь  $H$  спрямована вниз. Знизу, з глибини, в обводнені гірничі виробки надходить тепловий потік  $q$ , викликаний виділенням тепла в земних надрах. Зверху, нижче 10 м від денної поверхні, залягає нейтральний шар порід, температура якого постійна і дорівнює середньорічній температурі в регіоні (+ 9 °C). За даних умов диференціальне рівняння теплопровідності щодо осі  $H$  з урахуванням конвекції має вигляд

$$\frac{\partial^2 T}{\partial H^2} - \frac{V}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial H} = 0, \quad (5.1)$$

при наступних граничних умовах

$$T = T_1 \text{ при } H = H_1;$$

$$q = -\lambda \partial T / \partial H \text{ при } H = H_2.$$

Загальне рішення рівняння (5.1) при заданих граничних умовах має вигляд

$$T = T_1 + \frac{q}{\lambda B} [\exp B(H - H_2) - \exp B(H_1 - H_2)]; B = \frac{V}{a}. \quad (5.2)$$

При цьому тепловий потік шахтних вод, що містяться в затоплених виробках, визначається з виразу

$$Q = CQ_1(T - T_{отр}) \quad (5.3)$$

де  $T_1, H_1$  – температура і відстань до нейтрального шару;

$H$  – глибина залягання;

$a, \lambda$  – температуропровідність и теплопровідність водонасичених порід;

$V$  – вертикальна швидкість фільтрації;

$q$  – тепловий потік з земних надр;

$C, T, T_{отр}$  – об'ємна теплоємність і температура шахтних вод до і після використання відповідно.

У табл. 5.1 показана розрахована за формулами (5.2) - (5.3) температура і природний тепловий потенціал шахтних вод, що знаходяться в гірничих виробках. Згідно з отриманими даними, тепловий потік зростає зі збільшенням глибини залягання пластів і кількості води, що відбирається. При цьому сумарний тепловий потенціал шахти «Сташкова» становить 1,72 ТДж/доб. Необхідно відзначити, що при виконанні розрахунків, для дотримання гідродинамічної рівноваги в відпрацьованому вуглепородному масиві, витрата шахтних вод приймалася рівною прогнозованому водопритоку за певним вугільним шаром. Глибина залягання пласта приймалася як середнє значення інтервалу його розробки. Теплофізичні властивості гірських порід приймалися характерними для умов Західного Донбасу:  $q = 54$  Дж/доб·м<sup>2</sup>;  $C_v = 4187$  кДж/м<sup>3</sup>;  $\lambda_{cp} = 245$  кДж/м·доб·°С;  $a_{cp} = 0,05$  м<sup>2</sup>/доб;  $T_1 = 9$  °С;  $T_{отр} = 5$  °С;  $H_1 = 10$  м.

Таблиця 5.1 – Температура і тепловий потенціал вод, що знаходяться в гірських виробках шахти «Сташкова»

Пласт	Середня глибина залягання, м	Водоприток, м <sup>3</sup> /доб	Температура шахтних вод, °С	Тепловий потік, ТДж/доб
<i>C<sub>10</sub><sup>е</sup></i>	125	9600	12,45	0,30
<i>C<sub>8</sub><sup>е</sup></i>	175	4800	13,95	0,18
<i>C<sub>6</sub><sup>н</sup></i>	240	3240	15,90	0,15
<i>C<sub>5</sub></i>	270	22000	16,80	1,09

При оцінці ефективності роботи запропонованого геомодуля необхідно виконати розрахунок коефіцієнта перетворення теплового насоса при використанні шахтних вод. Даний показник являє собою відношення його теплопродуктивності до споживаної ним електроенергії і визначається з наступного виразу

$$K_T = h \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_3}, \quad (5.4)$$

де  $h$  – коефіцієнт термодинамічної досконалості насоса;

$T_2, T_3$  – температура конденсації (споживача тепла) і випаровування холодоагенту (джерела низькопотенційної енергії), К.

Для визначення за формулою (5.4)  $K_T$  теплового насоса, що використовує в якості низькопотенційного джерела теплової енергії шахтну воду з певного горизонту, необхідно задатися її температурою (табл. 5.1), коефіцієнтом термодинамічної досконалості насоса (що приймається рівним 0,6) і температурою споживача тепла (температура гарячої води, що надходить в систему тепlopостачання, від 50 до 70 °С в залежності від зовнішнього повітря). Науково-практичний інтерес викликає також виконання порівняльного аналізу використання шахтних вод в теплових насосах з іншими видами низькопотенційних джерел теплової енергії (грунтових вод і природних водних потоків). Для цього в програмному комплексі Mathcad були побудовані графіки (рис. 5.2) зміни  $K_T$  залежно від виду джерела і температури споживача тепла. У виконаних розрахунках були прийняті наступні

параметри - в опалювальний період температура ґрунту і водоїм дорівнює 9 і 5 °С.

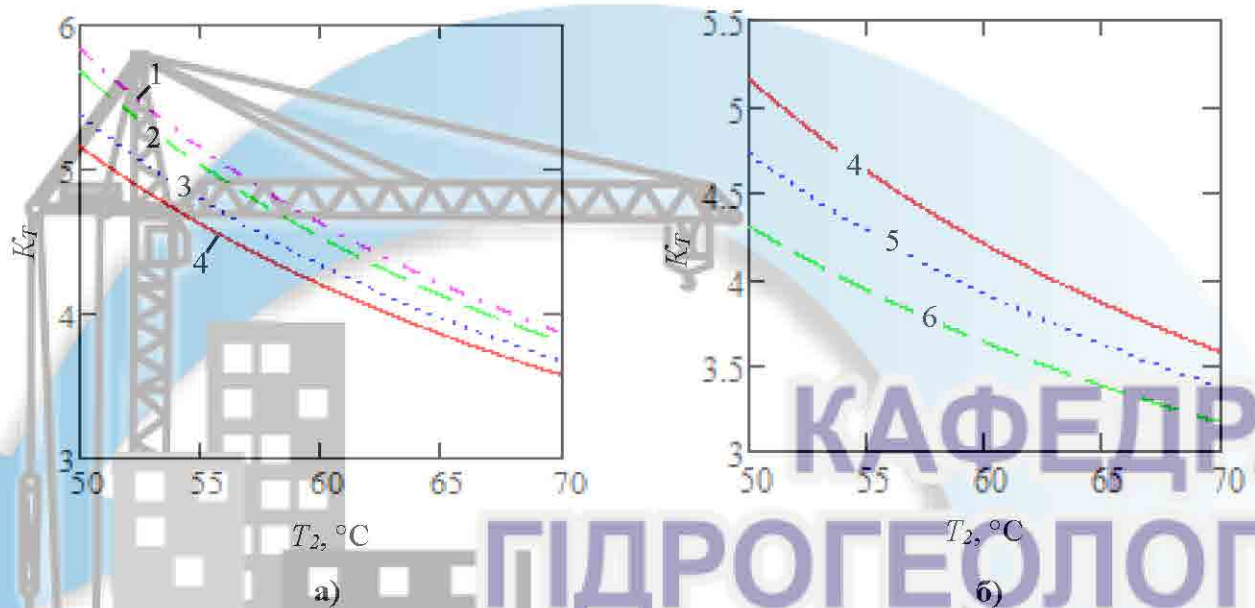


Рисунок 5.2 – Зіставлення коефіцієнта перетворення теплового насоса при використанні в якості низькопотенційного джерела енергії: 1 - 6 відповідно шахтних вод пласта  $C_5$ ,  $C_6^n$ ,  $C_8^e$ ,  $C_{10}^e$ , ґрунту і поверхневих водоїм

Аналіз отриманих даних показує збільшення коефіцієнта перетворення теплового насоса з ростом глибини відбору шахтних вод, а також його зменшення зі збільшенням температури, що подається споживачеві теплоносія. Це свідчить про підвищення  $K_T$  при скороченні різниці температур джерела і споживача тепла ( $T_2 - T_3$ ), і відповідно його зменшення при збільшенні цієї різниці. Дана обставина однозначно підтверджує право використання шахтних вод в теплових насосах в порівнянні з іншими природними джерелами низькопотенційної енергії.

## 6. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ

### ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

З метою встановлення техніко-економічної ефективності роботи теплового насоса для опалення будівель, крім визначення коефіцієнта перетворення, необхідно обчислити витрату споживаної ним електроенергії, а також її вартості. Для цього можуть бути використані наступні вирази

$$N_{т.н.} = \frac{Q_2}{K_T}; S_{т.н.} = N_{т.н.} \cdot T_э \quad (6.1)$$

де  $N_{т.н.}$ ,  $S_{т.н.}$  – електроенергія, що використовується для привода теплового насоса та її вартість;

$T_э$  – діючий тариф на електроенергію для підприємств (1 кВт·год = 1,76 грн).

На рис. 5.1 наведені результати розрахунків за формулами (5.1). Їх аналіз показує, що кількість електроенергії, споживаної тепловим насосом, збільшується зі зростанням різниці температур джерела і споживача тепла, а також з кількістю використовуваних шахтних вод.

До витратної частини геомодуля слід також віднести електроенергію, споживану відцентровим насосом для відбору шахтних вод з гірничих виробок. При цьому для визначення її кількості може бути використано наступний вираз [11]

$$N = \kappa_z \frac{gQ_1 H \rho_v}{\eta_n \eta_p}, \quad (6.2)$$

де  $\kappa_z$  – коефіцієнт запаса, що приймається в залежності від двигуна насосу;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$Q_1$  – дебіт свердловини;

$H$  – глибина залягання пласта;

$\rho_v$  – щільність води;

$\eta_n$ ,  $\eta_p$  – ККД насосу і передачі теплоносія.

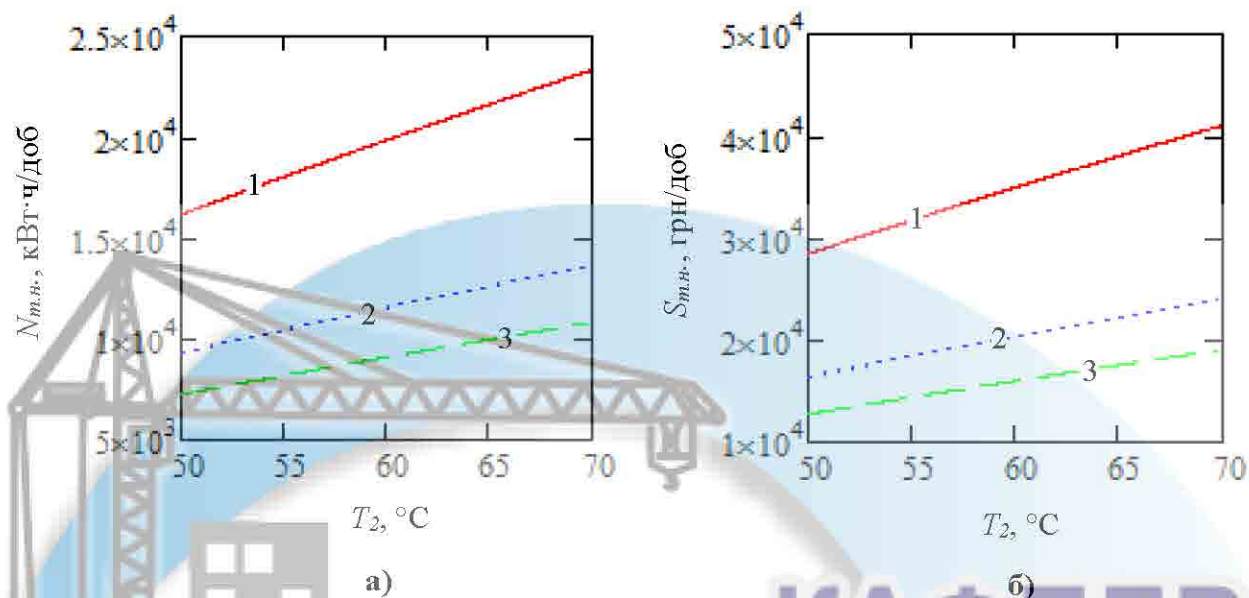


Рисунок 6.1 – Витрата електроенергії (а) і її вартість (б) споживаної тепло-  
вим насосом при використанні: 1 - 3 відповідно шахтних вод пластів  $C_{10}^g$ ,  $C_8^g$  і  $C_6^n$

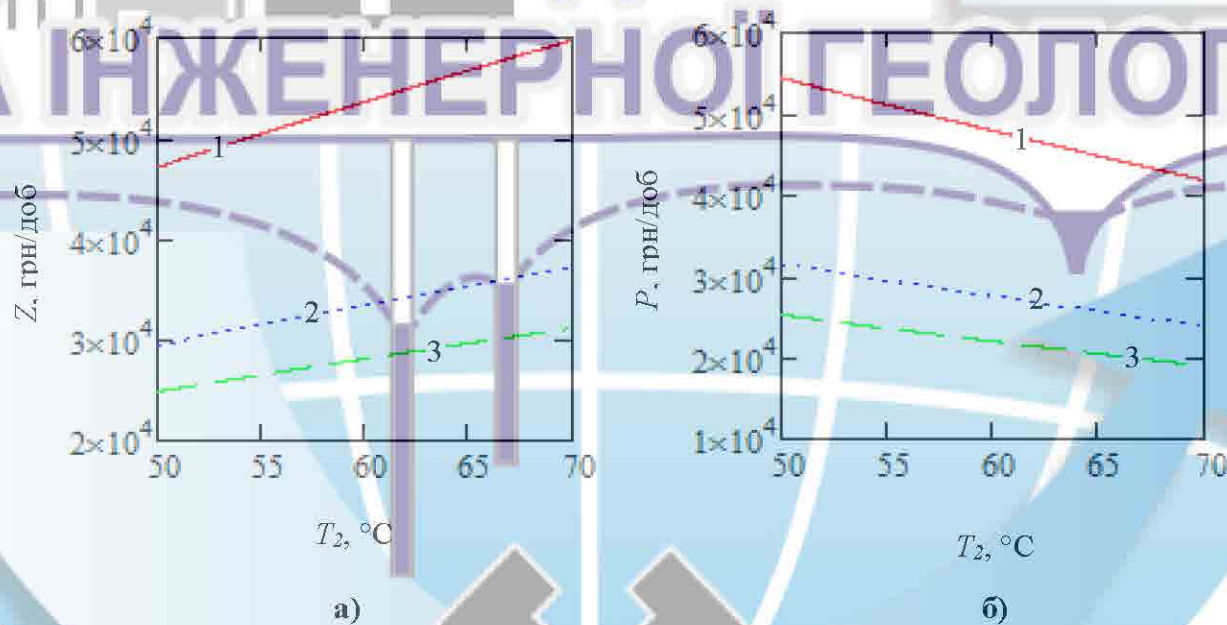


Рисунок 6.2 – Сумарні витрати на електроенергію (а), що забезпечує роботу  
геомодуля і прибуток (б), що отримується від його роботи. Позначення див.  
рис. 5.1

Необхідно відзначити, що витрати на роботу геомодуля ( $Z$ ) визначаються як  
сума вартості електроенергії, що забезпечує роботу центробіжного і теплового на-  
соса, а прибуток ( $P$ ) - як різниця між вартістю теплової енергії, що виробляється

геомодулем і електричної, що витрачається насосами. На рис. 6.2 наведені значення цих показників. При виконанні розрахунків приймалися діючі в даний час в Україні тарифи на теплову енергію ( $4,18 \text{ ГДж} \approx 1416 \text{ грн}$ ).

Як видно з отриманих результатів, прибуток від роботи геомодуля оцінюється величиною десятки тисяч гривень на добу, що дуже ефективно в сучасних реаліях України. Однак необхідно мати на увазі, що отримані результати носять орієнтовний характер і не враховують початкові капітальні витрати на буріння свердловин (в умовах їх відсутності на шахтному полі) і промислове устаткування (центробіжні і теплові насоси, системи теплопостачання тощо). Разом з тим, вони можуть бути використані при складанні інвестиційних проектів та бізнес-планів, спрямованих на альтернативні системи теплопостачання будівель.

Науково-практичний і економічний інтерес представляє побудова комплексних графіків величини прогнозованого прибутку, при роботі запропонованого геомодуля. Для цього, на рис. 6.3, наведено зміни цього параметра в залежності від кількості шахтних вод, що відбираються з глибини 200 м і температури споживача тепла, а на рис. 6.4 значення цього ж показника в залежності від глибини відбору і температури споживача при дебіті свердловини  $5000 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

Згідно позначених в даному розділі завданням, крім економічних показників запропонованого геомодуля, необхідно визначити екологічну доцільність його застосування. Це може бути виконано шляхом встановлення запобігання викидів  $\text{CO}_2$  при використанні для опалення будівель теплових насосів замість традиційних енергоносіїв (вугілля, нафтопродукти і природний газ). Для вирішення поставленого завдання, скористаємося методикою розрахунків викидів парникових газів [22], згідно з якою розрахунок викидів  $\text{CO}_2$  (т/добу) для кожного виду палива здійснюється за формулою

$$E = Q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (6.3)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт окислення вуглецю в паливі (вугілля – 0,98, нафтопродукти – 0,99, газ – 0,995);  $K_2$  – коефіцієнт викидів вуглецю (вугілля – 25,58 т/Дж, нафтопродукти – 20,84 т/Дж, газ – 15,04 т/Дж);  $K_3$  – коефіцієнт перерахунку вуглецю в вуглекислий газ (3,66).

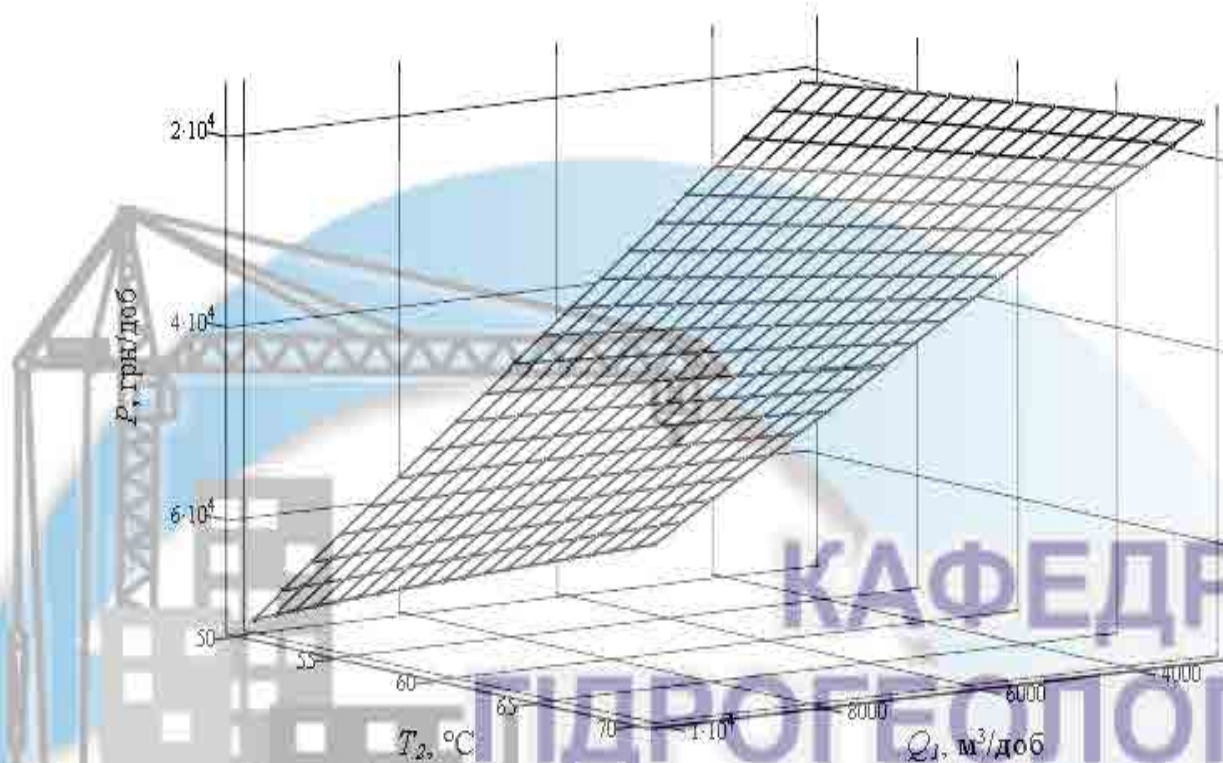


Рисунок 6.3 – Прогнозований прибуток від роботи геомодуля в залежності від кількості відкачуваних шахтних вод і температури споживача тепла

На рис. 6.5 наведені результати розрахунків, виконаних за формулою (6.3). При цьому скорочення викидів  $CO_2$  визначено як для добового періоду часу (а) так і для всього опалювального сезону (б, листопад - березень  $\approx 150$  діб). Аналіз отриманих даних показує, що кількість скорочення викидів  $CO_2$  в значній мірі залежить від витрати шахтних вод і прийнятого в якості альтернативи джерела тепlopостачання. В середньому, при роботі геомодуля на шахті «Сташкова» на повну потужність (при використанні для опалення шахтних вод зі всіх 4 пластів), ця величина становитиме 120 т/добу, що відповідає запобіганню надходження в атмосферу 18000 тонн  $CO_2$  протягом опалювального сезону і однозначно свідчить про екологічну доцільність запропонованої геотехнології.



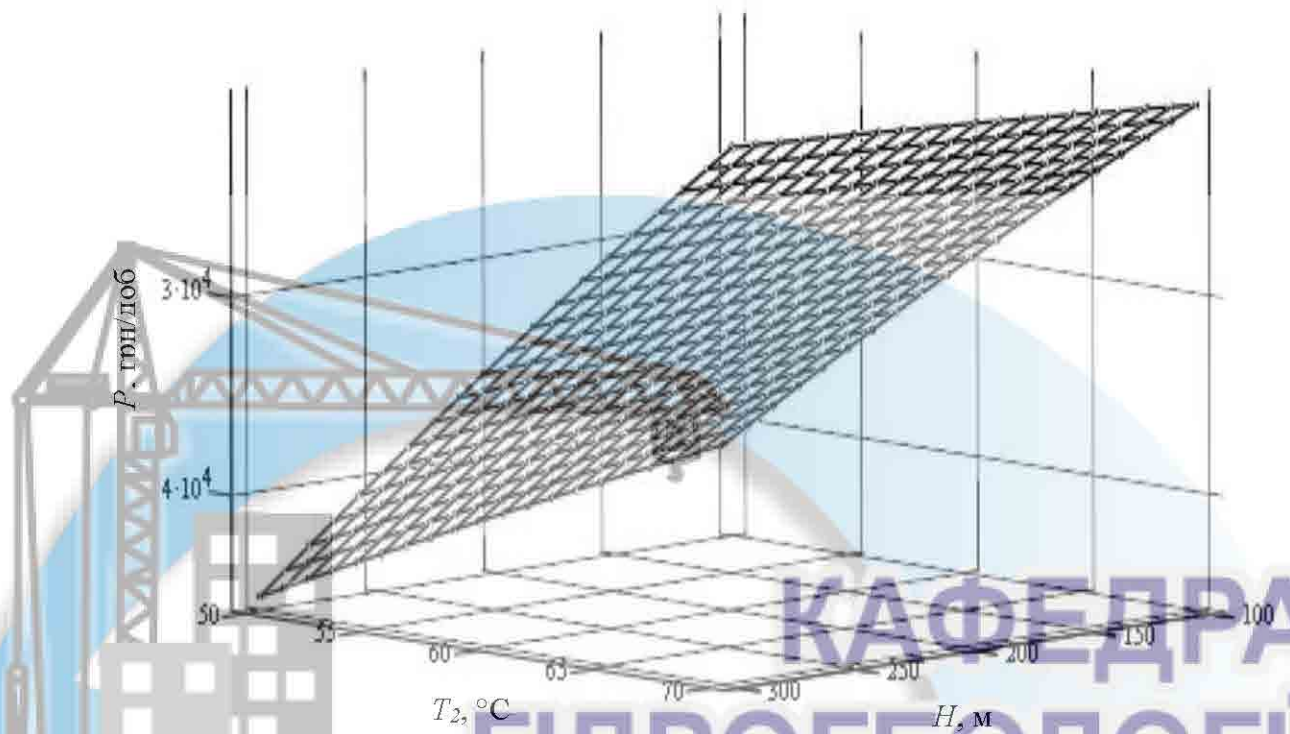


Рисунок 6.4 – Прогнозований прибуток від роботи геомодуля в залежності від глибини відбору шахтних вод і температури споживача тепла

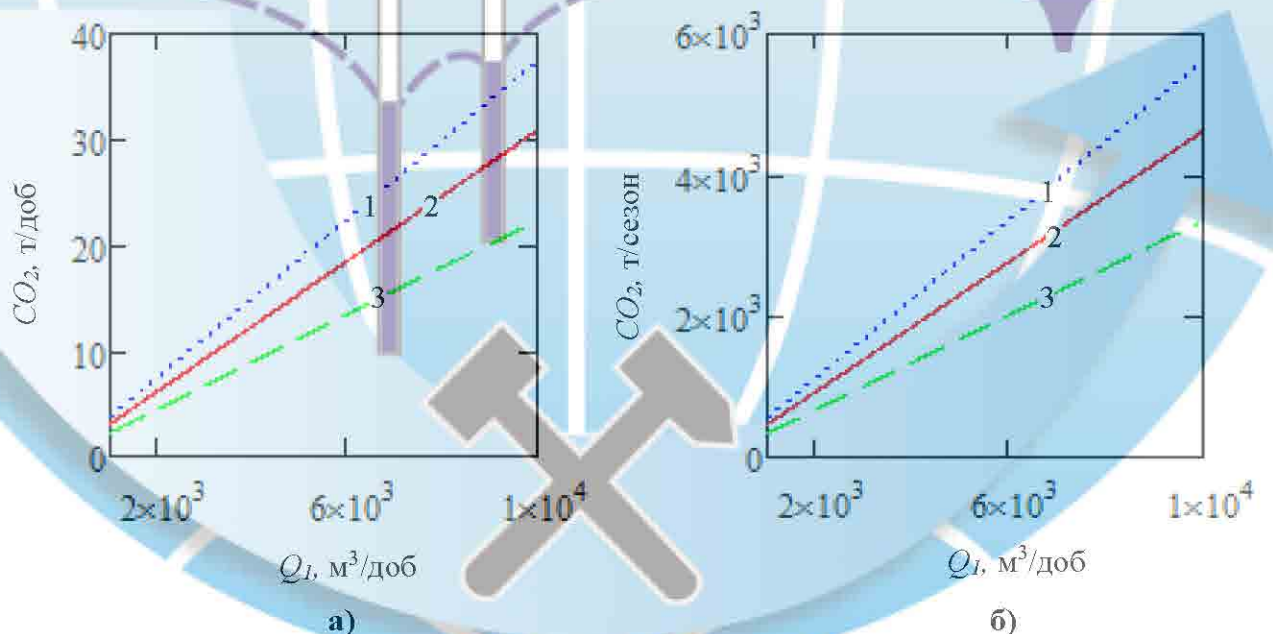


Рисунок 6.5 – Запобігання викидів  $CO_2$  в добу (а) і сезон (б) при роботі геомодуля в порівнянні з іншими альтернативними варіантами теплопостачання: 1 - 3 - вугіллям, нафтопродуктами і природним газом

## ВИСНОВКИ

Одним з кардинальних напрямків реструктуризації вугільної галузі України є консервація нерентабельних шахт. Так, велика частина намічених до ліквідації вугільних підприємств, вже закрита. Завдяки цьому безліч шахтарських міст на фоні постійно зростаючих цін на енергоносії стали відчувати гостру нестачу в тепловій енергії. В той же час, світовий науково-практичний досвід показує можливість рентабельного використання низько потенційного тепла води із затоплених шахт для обігріву одно-двоповерхових будівель. При цьому підігрів шахтних вод до кондиційного стану (60 – 70 °С) може здійснюватися як за допомогою теплових насосів.

Виконаний з метою встановлення можливості використання шахтних вод для опалення будівель аналіз гідрогеологічних умов Західного Донбасу показав, що даний регіон відноситься до зони нестійкого зволоження. В гідрогеологічному відношенні він знаходиться в межах двох гідрогеологічних зон. Північна та північно-східна частини відносяться до Донецького басейну пластово-блокових напірних вод, південна та південно-східна частини до Українського басейну напірних тріщинно-жильних вод. За хімічним складом води змішані, переважно сульфатно-хлоридні натрієво-магнієві з мінералізацією 1,5-5 г/дм<sup>3</sup>. Гідрогеологічна структура Західного Донбасу – це система водоносних горизонтів й комплексів, що охоплюють усю товщу осадових порід та верхню частину тріщинуватої зони кристалічних порід. Загальний напрямок потоку в природних умовах – до долин рр. Самара, Дніпро. У порушених умовах на напрямок потоку підземних вод впливає шахтний водовідлив та експлуатація водозаборів.

На прикладі шахт Східної групи обґрунтовані перспективні вугільні запаси, доцільні до відпрацювання технологією підземного спалювання. Встановлено, що в даних умовах, запропонована технологія не тільки дозволить вирішити проблему зольності вугілля, що видобувається, і продовжити термін служби підприємств, але й поліпшить екологічну обстановку в регіоні. За результатами комплексної оцінки гірничо-геологічних умов Західного Донбасу встановлено, що 50,4%

вугільних запасів доцільно відпрацьовувати застосовуючи технологію підземного спалювання.

Постійно діюча гідродинамічна модель шахти ім. М.І. Сташкова дозволила встановити стан динаміки водопритоків, а також оцінювати технічні рішення по водоподавленню і прогнозувати водопрояви на ділянках шахтного поля, які входять в поточну програму гірничих робіт. Ця модель в перспективі повинна бути складовою частиною геофільтраційної моделі регіону Західного Донбасу для вирішення поточних завдань водорегулювання і екологічно коректного процесу неминучого згорання гірничих робіт. В якості контрольних даних використані дані про величини водопритоків в гірничі виробки шахти, дані режимних спостережень, дані гідродинамічної зйомки і дані про зміну положення рівня підземних вод в бучакських відкладах.

Виконані, за допомогою математичного моделювання, розрахунки дозволили кількісно оцінити водоприток в гірничі виробки, розташовані на різних горизонтах шахти ім. М.І. Сташкова. Однак після її закриття та відключення водовідливу відпрацьований простір з часом буде затоплено, що створить загрозу стрімкого підйому рівня шахтних вод і підтоплення денної поверхні. Крім того, безліч прилеглих населених пунктів, на тлі постійно зростаючих цін на енергоносії, стануть відчувати гострий брак в тепловій енергії. Промислові та цивільні будівлі в холодну пору року залишаться без опалення та гарячого водопостачання. Разом з тим, в затоплених гірничих виробках будуть зосереджені значні ресурси техногенної теплової енергії, представленої підземними водами з температурою до 20°C, які в даний час практично не використовуються.

З метою комплексного використання теплового ресурсу вод із затоплених гірничих виробок в роботі обґрунтована геотехнологічна схема, що дозволяє економічно доцільно стабілізувати енергоспоживання і екологічну ситуацію в вугледобувних регіонах шляхом комбінації в єдиному модулі технологій з вироблення теплової енергії, дренажу шахт, регулювання водного режиму та очищення шахтних вод. Відповідно до проведених в програмному комплексі Mathcad розрахунків використання шахтних вод як джерела низькопотенційної енергії в теплових насосах в порівнянні з іншими альтернативними варіантами (грунтові води і

поверхневі водотоки) дасть більш великі коефіцієнти перетворення (5,2 – 5,8 при  $T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  и 3,2 – 3,9 при  $T_2 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Для розрахунку природного теплового потенціалу шахти можна прийняти, що гідродинамічні параметри шарів не залежать від процесів теплопереносу, а температура води і скелета порід збігаються в кожній точці. Вважаємо, що в межах шахтного поля рух вод здійснюється по затоплених виробках і теплообмін в розрахунковій площині відсутня. Знизу, з глибини, в обводнені гірничі виробки надходить тепловий потік  $q$ , викликаний виділенням тепла в земних надрах. Зверху, нижче 6 - 7 м від денної поверхні, залягає нейтральний шар, температура якого постійна. Необхідно відзначити, що загальна кількість теплової енергії, акумульованої шахтними водами, в середньому становить 1300 ТДж.

Оцінка економічної ефективності запропонованої геотехнологічної схеми була виконана шляхом визначення прибутку від її експлуатації. Даний показник розраховувався як різниця між вартістю вироблюваної геомодулем теплової енергії і споживаної електричної (відцентровим і тепловим насосом). Встановлено, що прибуток від роботи геомодуля, в залежності від горизонту відбору шахтних вод і температури споживача тепла, змінюється від 20 до 55 тис. грн на добу. Крім того, використання даного геомодуля для опалення будівель замість традиційних енергоносіїв (вугілля, нафтопродукти і природний газ) дозволить істотно скоротити викиди  $\text{CO}_2$  в атмосферу (до 120 т/добу при використанні для опалення шахтних вод зі всіх пластів).

При використанні шахтних вод необхідно мати на увазі, що після закриття шахти і її затоплення фільтраційні потоки в породному масиві будуть характеризуватися збільшенням швидкості і виполажування рівнів поблизу природних русел за рахунок багаторазового збільшення проникності порушених гірських порід. Це призведе до підтоплення і просідання денної поверхні. Природними руслами дренуються потоки низькопотенційного тепла з техногенного водоносного горизонту, що містить екологічно шкідливі компоненти. У зв'язку з чим, доцільно проводити відбір тепла в поєднанні з технологіями очищення води, які економічно ефективніші саме при наявності бросового низькопотенційного тепла.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гидрогеология СССР. Т. 6. Донбасс / [Белов Ф.А., Месяц И.А., Панасенко Г.П. и др.]; под ред. Д.И. Щеголева. – М.: Недра, 1971. – 480 с.
2. Осипенко А.Б. Исследование экологического состояния подземных вод каменноугольных отложений Донбасса: автореф. магистр. раб.: спец. 7.070706 «Экологическая геология» / А.Б. Осипенко – Донецк, 2002. – 12 с.
3. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса / Забигаило В.Е., Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Сахневич Н.В. – К.: Наукова думка, 1994. – 150 с.
3. Заключение о результатах работы «Прогноз изменения эколого-гидрогеологических условий в границах горных отводов шахты № 2 «Новгородская», которая ликвидируется, ликвидированной шахты «Селидовская» и шахты им. Д.С. Коротченко, которая подлежит ликвидации, а также смежных с ними действующих шахт: отчет о НИР / Артемовская гидрогеологическая партия; рук. Н.А. Красно польский. – Артемовск, 2006. – 130 с.
4. Тригуб Н.Г. Каталоги гидрогеологических скважин Красноармейского углепромышленного района с 1939 по 1978 гг. / Н.Г. Тригуб, Л.И. Ковалева // Труды «Артемгеология». – Артемовск, 1978. – 215 с.
5. Рубан С.А. Ґрунтові води України / С.А. Рубан, А.В. Ніколішина. – Д.: ДВ УкрДГРІ, 2005. – 426 с.
6. Отчет о комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1: 50 000 в зоне II очереди канала Днепр-Донбасс [ПГО «Донбасгеология»]. – Артемовск, 1986. – 157 с.
7. Садовенко И.А. Синтезирование численных моделей при решении задач управления геофильтрационным состоянием горного массива / И.А. Садовенко // Известия вузов. Геология и разведка. – 1991. – № 12. – С. 19 – 22.

8. Рудаков Д.В. Прогнозування гідродинамічного режиму при відпрацюванні й затопленні шахтного поля / Д.В. Рудаков, І.О. Садовенко // Вісник ЖДТУ. – 2006. – № 1 (36). – С. 151 – 157.

9. Wena X.H. A program to create permeability fields that honor single-phase flow rate and pressure data / X.H. Wena, J.E.Capilla, C.V.Deutsch, J.J. Gomez-Hernandez // Computers & Geosciences. – 1999. – Vol. 25, Iss. 3, – P. 217 – 230.

10. Spizzichino K. Numerical Groundwater Modeling / K. Spizzichino, W.C. Walton. – CRC Press, 1989. – 272 p.

11. Рудаков Д.В. Моделирование гидродинамических процессов в окрестности шахтного ствола / Д.В. Рудаков, И.А. Садовенко // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 8. – С. 9 – 13.

12. Калыгин П.В. Анализ материалов по гидрогеологии и химизму глубоких горизонтов юго-западной части Донбасса / П.В. Калыгин, Л.А. Лисянская // Тр. «Артемгеология». – 1976. – С. 24 – 32.

13. Геологический отчет о переоценке запасов каменных углей поля шахты им. Д.С. Коротченко (ПО «Красноармейскуголь»): отчет о НИР / ПО «Укруглегеология», Н.В. Степаненко, Г.В. Виноградова. – Донецк, 1981. – 193 с.

14. Садовенко И.А. Прогнозирование процесса затопления шахт в условиях перетекания между водоносными горизонтами / И.А. Садовенко, Д.В. Рудаков, А.Н. Загриценко // Матеріали українсько-польського Форуму гірників (Ялта, Крим, 9 – 13 вересня 2004 р.). – Д.: НГУ, 2004. – С. 533 – 539.

15. Ромм Е.С. Структурные модели порового пространства горных пород / Е.С. Ромм – М.: Недра, 1985. – 240 с.

16. Лукнер Л. Моделирование миграции подземных вод / Л. Лукнер, В.М. Шестков. – М.: Недра, 1986. – 208 с.

17. Oldenburg C.M. Mixing with first-order decay in variable-velocity porous media flow / C.M. Oldenburg, K. Pruess // Transport in Porous media. – 1996. – Vol. 22. – P. 161 – 180.

18. Yeh T.C. Numerical simulation of the wicking effect in liner systems / T.C. Yeh, A. Guzman, R. Srivatsava // Ground Water. – 2012. – Vol. 32. – P. 2 – 11.

19. Експертно-аналітична оцінка формування водопритоків до проектної шахти «Любельська»: звіт про НДР (пром.ж.) / Державний ВНЗ «НГУ»; кер. І.О. Садовенко, викон. О.В. Інкін [та ін.]. – Д., 2013. – 85 с.

20. Morris C.E. Parametric study of unsaturated drainage layers in a capillary barrier / C.E. Morris, J.C. Stormont // J. of geotechnical and geoenvironmental engineering. – 1999. – Vol. 125 (12). – P.1057 – 1065.

21. Vassolo S. Determination of a well head protection zone by stochastic inverse modelling / S. Vassolo, W. Kinzelbach, W. Schäfer // J. of Hydrology. 1998.– Vol. 206. – P. 268 – 280.

21. Садовенко И.А. Моделирование процесса затопления шахты № 2 «Новгородовская» с учетом дальнейшего использования ее теплового ресурса / И.А. Садовенко, А.В. Инкин, Д.В. Рудаков // Известия Уральского гос. горного ун-та. – 2014. – Вып.1 (33). – С. 29 – 37.

22. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейдлин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 417 с.

23. Щербань А.Н. Руководство по регулированию теплового режима шахт / А.Н. Щербань, О.А. Кремнев, В.А. Журавленко. – М.: Недра, 1977. – 359 с.

24. Инкин А.В. Термогидродинамическая оценка эффективности теплового модуля в пределах затопленной шахты / А.В. Инкин // Вестник академии наук Чеченской республики. – 2013. – № 4 (21). – С. 97 – 104.

25. Садовенко И.А. Обоснование параметров отбора тепловой энергии в условиях затопленной шахты / И.А. Садовенко, А.В. Инкин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 82 – 90.

26. Сучков Б.М. Темп работающих скважин и тепловые методы добычи нефти / Б.М. Сучков. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. – 406 с.

27. Инкин А.В. Актуализация применения шахтных вод для тепло- и холодоснабжения зданий / А.В. Инкин // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов (Сер. Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве). – 2014. – Вып. 76. – С. 137 – 142.

28. Оптимізація параметрів гідро- та термодинамічних процесів в теплонасосних установках для утилізації геотермального тепла гірничих підприємств: звіт

про НДР (заключн.) / Державний ВНЗ «НГУ»; кер. В.І. Самуся, викон. І.О. Садовенко, Ю.І. Оксень, О.В. Інкін [та ін.]. – Дніпропетровськ, 2014. – 152 с. № ДР 0113U000409.

29. Черных В.А. Гидрогеомеханика нефтегазодобычи / В.А. Черных. – М.: ВНИИГаз, 2001. – 277 с.

30. Швидлер М.И. Статистическая гидродинамика пористых сред / М.И. Швидлер. – М.: Недра, 1985. – 288 с.

31. Тер-Саркисов Р.М. Разработка месторождений природных газов / Р.М. Тер-Саркисов. – М.: Недра, 1999. – 659 с.

32. Шаймуратов Р.В. Гидродинамика нефтяного трещиноватого пласта / Р.В. Шаймуратов. – М.: Недра, 1980. – 223 с.

33. Greenkorn R.A. Flow phenomena in porous media / R.A. Greenkorn. – N.-Y., Basel: M. Dekker, Inc., 1983. – 550 p.

34. Katz D.L. Natural gas Engineering, Production and Storage / D.L. Katz, R.L. Lee. – McGraw Hill, 1990.

35. Хейфоц Л.И. Многофазные процессы в пористых средах / Л.И. Хейфоц, А.В. Неймарк. – М.: Химия, 1982. – 319 с.

36. Пирвердян А.М. Физика и гидравлика нефтяного пласта / А.М. Пирвердян. – М.: Недра, 1982. – 192 с.

37. Калинин А.Г. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ / А.Г. Калинин, А.З. Левицкий, Б.А. Никитин. – М.: Недра, 1998. – 433 с.

38. Тагиров К.М. Бурение скважин и вскрытие нефтегазовых пластов на депрессии / К.М. Тагиров, В.И. Нифантов. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2003. – 160 с.

39. Техногенные процессы в подземных водах (биосферный подход, диагностика и управление) / [под. ред. И.К. Гавич]. – М.: Научный мир, 2003. – 248 с.



## ВІДЗИВ

наукового керівника на кваліфікаційну роботу ступеня магістр  
НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності 103 «Науки про Землю»,  
студентки гр. 103м-19-2 Огійченко Вікторії Вікторівни  
«Гідрогеологічні передумови і динаміка формування теплового ресурсу шахтних  
полів Західного Донбасу на основі моделювання»

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. Займаючи 0,45 % загальносвітової поверхні суші, Україна за  
обсягами гірничодобувних робіт, які тривають понад 200 років і супроводжують-  
ся значним впливом на навколишнє середовище, входить до першої десятки країн  
світу. Для старих вугледобувних регіонів характерна суттєва техногенна перебу-  
дова геологічних структур і критична екологічна ситуація, що з урахуванням іс-  
нуючої гострої проблеми нестачі та несинхронності споживання енергоносіїв сві-  
дчить про технологічне відставання країни у використанні природно-техногенних  
ресурсів зосереджених на відпрацьованих ділянках. До цих ресурсів відносяться  
залишені після відпрацювання шахтних полів залишкові та некондиційні запаси  
вугілля, підземні води, які знаходяться в затоплених гірничих виробках. Крім то-  
го, змінений в результаті гірничих робіт масив містить потужний ємнісний ре-  
сурс, здатний акумулювати рідкі енергоносії в обсязі, достатньому для згладжу-  
вання сезонних коливань їх споживання. Тому для визначення умов формування  
та потенціалу техногенних гідротермальних родовищ, технологічного обґрунту-  
вання комплексного освоєння енерго-ємнісного ліквідованих гірничодобувних  
підприємств, здатного на сучасному рівні економічної ефективності задовольнити  
потреби ринку країни у тепловій енергії, необхідні відповідні кількісні оцінки.

Відповідність змісту стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК. Зміст  
роботи повністю відповідає стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК. Ро-  
бота складається зі вступу, 6 розділів, висновку, переліку посилань, та додатків.

Інноваційність отриманих рішень. Досягнення поставленої у магістерської  
роботі мети здійснювалось автором шляхом аналізу мирового досвіду викорис-

тання шахтних вод для опалення та охолодження будівель; вивчення гірничо-геологічні умов ліквідованої шахти; розробці моделі теплопереносу в затопленому гірничому масиві; обґрунтування параметрів експлуатації геотехнологічного модуля та оцінки його енергетичної ефективності; виконання економічної оцінки використання шахтних вод для опалення та охолодження будівель.

За результатами роботи досліджений механізм теплопереносу в затопленому гірничому масиві ліквідованої шахти, що супроводжується періодичним закачуванням та відбором шахтних вод різних горизонтів, а також їх нагріванням природним геотермічним теплом і підземним спалюванням залишкових запасів вугілля.

Практичне значення результатів. Запропоновані технічні рішення, спрямовані на освоєння енергетичного й ємнісного ресурсів геологічних структур, які розробляються.

Недоліки. В роботі відсутня перевірка точності використовуваної математичної моделі переносу тепла в ліквідованої шахті.

Ступінь самостійності виконання. Студентка Огійченко В.В. виконала 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 Огійченко Вікторії Вікторівни відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми «Науки про Землю» і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Огійченко В.В. – 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»,  
студентки гр. 103м-19-2 Огійченко Вікторії Вікторівни  
«Гідрогеологічні передумови і динаміка формування теплового ресурсу шахтних  
полів Західного Донбасу на основі моделювання»

У магістерській роботі Огійченко В.В. досліджений нерівномірний характер фільтрації та водопритоку у виробленому вугільному масиві залежно від його геологічної будови й обсягів. Запропонована і протестована на основі оберненої задачі чисельна модель геофільтрації у програмі ModFlow дозволила встановити динаміку зниження напору підземних вод та відновлення їх рівня після відключення водовідливу.

Обґрунтований геотермальний модуль, який забезпечує ефективне освоєння теплового ресурсу затопленої шахти за рахунок відбору та закачування вод різних горизонтів для тепло- і холодопостачання будівель у відповідності з температурою зовнішнього повітря, а також його періодичну активізацію шляхом підземного спалювання залишкових вугільних запасів. На прикладі шахти ім. Сташкова встановлено, що тепловий потік (500 – 580 ГДж/добу), який утворюється при відкачуванні нагрітих вод, практично повністю покриває теплові потреби найближчого населеного пункту з населенням у 15 тис. чел. під час опалювального періоду. Використання шахтних вод з природною температурою (26 – 28 °С) формує потік тепла 120 – 160 ГДж/добу, який можна використовувати як джерело низькопотенційної енергії в теплових насосах і системах опалення «тепла підлога».

Дипломна робота магістра Огійченко В.В. заслуговує оцінки «Відмінно».

Доцент каф. геології та розвідки родовищ корисних копалин,

К.Г.-М.Н.

В.В. Ішков

## Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра

студентки групи 103М-19-2  
(шифр групи)

Огійченко Вікторії Вікторівни  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи : «Гідрогеологічні передумови і динаміка формування теплового ресурсу шахтних полів Західного Донбасу на основі моделювання»

Науковий керівник проф. Інкін О.В.  
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	Unicheck	
	Оригінальність	74
	Схожість	26

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 і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і 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. Загриценко А.М.

Зав. кафедри

проф. Рудаков Д.В.

\_\_\_\_\_  
(дата)