

© І.О. Садовенко¹, А.М. Загриценко¹, Н.І. Деревягіна¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ШАХТНОГО ПОЛЯ В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ РІВНІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД

© I. Sadovenko¹, A. Zahrytsenko¹, N. Dereviachina¹¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

JUSTIFICATION OF OPTIONS OF ECOLOGICAL PROTECTION OF MINE FIELD AREAS IN CONDITIONS OF GROUNDWATER LEVEL RECOVERY

Мета. Обґрунтування екологічних заходів захисту зон потенційного підтоплення в умовах ліквідації шахти шляхом адаптації методики прогнозування фільтрації у техногенному середовищі підробленого масиву гірських порід.

Методика дослідження Найбільш універсальним і достовірним методом прогнозування складних та багатофакторних гідродинамічних процесів є математичне моделювання. На чисельній моделі шахтного поля, реалізованій методом кінцевих-різностей, враховується природна та техногенна неоднорідність гірських порід, складна геометрія геологічних утворень, зміна граничних умов в часі, вплив експлуатації суміжних шахт та інші фактори, що мають вирішальне значення для надійних прогнозних оцінок та ефективного інженерного захисту. Методика моделювання включає відтворення на моделі хронології відпрацювання вугільних запасів за періодами (епігноз) та прогнозні розрахунки на всіх стадіях функціонування підприємства.

Результати дослідження. Для природно-техногенного середовища шахтного поля встановлені закономірності зміни у часі фільтраційних та ємнісних параметрів гірського масиву, площі розповсюдження зон підвищеної водопроникності та кількісно оцінені складові водного балансу карбонів та покривної водоносних товщ. Прогнозні гідродинамічні рішення отримані для умов закриття і затоплення шахтного поля. Кількісно оцінені технічні ризики роботи суміжних шахт та екологічні наслідки на поверхні. Встановлено, що період повного відновлення рівня підземних вод відбувається впродовж трьох років з формуванням на поверхні зон потенційного підтоплення і заболочення в заплаві річки Самари.

Наукова новизна. Встановлені фактори формування підвищених притоків води в шахту та закономірності зміни фільтраційних та ємнісних параметрів гірського масиву впродовж всього періоду її експлуатації. Це дозволило довести неефективність використання занурювальних насосів для захисту від підтоплення заплави річки Самари і обґрунтувати найбільш раціональний варіант будівництва водозабору в товщі палеоруслових пісковиків підвищеної проникності.

Практичне значення. Розглянуті варіанти екозахисту шахтного поля шляхом визначення горизонту підтримки водовідливу стаціонарними або занурювальними насосами, їх ефективність, економічність та екологічність. Обґрунтований альтернативний варіант захисту заплави від підтоплення шляхом будівництва водозабору в продуктивній товщі палеоруслових пісковиків підвищеної проникності.

Ключові слова: чисельне моделювання, гідродинаміка шахтного поля, затоплення шахти, підтоплення заплави, екозахист

Вступ. На кожному етапі функціонування вугільного підприємства, починаючи від будівництва та експлуатації і, закінчуючи згортанням гірничих робіт та періодом постексплуатації, питання водорегулювання є одними з основних. Вони визначають як рентабельність роботи підприємства, так і екологічну та технічну безпеку [1-3]. Зокрема, ці питання є найскладнішими за прогнозованістю і керованістю процесів внаслідок інтенсивного техногенного перетворення гірничого масиву. У природному стані існує чітка вертикальна зональність підземної гідросфери за інтенсивністю водообміну. Гідродинамічна зональність порушується при веденні гірничих робіт і зона інтенсивного водообміну занурюється за рахунок обвалення покрівлі виробок. Це призводить до активізації зв'язку між гірничими виробками та водами покривних відкладень, поверхневими водотоками, збільшення шахтного водопритоку та виснаження ресурсів прісних вод.

Відпрацювання запасів неминуче наближає стадію згортання гірничих робіт. Це відбувається в умовах змінених меж водообміну, фільтраційних та ємнісних параметрів масиву, осідання земної поверхні, гідрохімічної інверсії та ін [4]. Внаслідок відновлення рівня підземних вод на підробленій території формуються затоплені безстічні поверхні, а гідравлічний зв'язок між шахтними полями визначає необхідність обґрунтування гідрозахисту суміжних працюючих шахт. В даному випадку дуже важливо мати інструмент для прогнозування та управління зазначеними процесами, а також прийняття ефективних інженерних рішень.

Останні десятиліття використовується ряд різних методів і прийомів для прогнозування затоплення шахт, серед них методи кінцевих різниць [5] і кінцевих елементів [6], метод балансу у вигляді моделі Вох [7].

Кінцево-різницеві чисельні моделі потоку підземних вод протягом повного життєвого циклу шахти з урахуванням стохастичної неоднорідності порушених гірських порід були запропоновані та випробувані в роботі [8].

Крім того, аналітична модель, що вперше представлена в [8], отримала розвиток в роботі [9], що розширило відомий підхід «великого колодязя» [10] з врахуванням нестационарної фільтрації та вертикальної неоднорідності. В цьому випадку модель дозволяє аналізувати відновлення рівня шахтних вод гідравлічно ізольованих шахт, але не можливо змоделювати потік ґрунтових вод у декількох суміжних вугільних полях зі складною геометрією видобутого простору.

Дотепер широко застосовується та вважається найнадійнішим методом прогнозних оцінок затоплення декількох гідравлічно пов'язаних вугільних полів - це кінцево-різницьке моделювання, яке враховує неоднорідність гірських порід та складну геометрію геологічних утворень, зміну граничних умов в часі та інші фактори, що мають вирішальне значення для надійних оцінок та конструкції інженерного захисту [11, 12].

У Західному Донбасі питання майбутнього закриття шахт набувають особливої актуальності в зв'язку з виникаючими ризиками щодо безпеки роботи суміжних підприємств. Крім того, близько 75% вугільних запасів регіону залягає в знижених частинах рельєфу і заплавах річок, а гідрогеологічні умови відрізняються особливою складністю.

Програмою гірничих робіт компанії ДТЕК до 2021 року планується згортання гірничих робіт на полі однієї з найбільш обводнених шахт в Україні, водовідлив якої істотно впливає на гідродинамічну обстановку суміжних шахтних полів і рівень водоносних горизонтів покривних відкладень. У зв'язку з цим розглянуто питання раціоналізації режиму затоплення шахти ім. М.І. Сташкова, який економічно буде найменш витратним і найбільш ефективним з точки зору відновлення природної гідродинамічної ситуації.

Метою дослідження є обґрунтування екологічних заходів захисту зон потенційного підтоплення в умовах ліквідації шахти шляхом адаптації методики прогнозування фільтрації у техногенному середовищі підробленого масиву гірських порід.

Задача досліджень полягає у встановленні закономірностей часових і просторових змін техногенного масиву на основі рішення ідентифікаційних задач з відпрацювання родовища для прогнозування гідрогеологічного впливу закриття шахти та розробки природоохоронних заходів.

Методи. Найбільш універсальним і достовірним методом прогнозування складних та багатофакторних процесів є математичне моделювання гідродинаміки шахтного поля. Його методика включає відтворення на моделі процесу відпрацювання вугільних запасів за періодами (епігноз) та прогнозні розрахунки на всіх стадіях функціонування підприємства.

Модель шахтного поля являє собою аналогію реальному об'єкту за геологічною будовою і реакцією на техногенне втручання, тобто ведення гірничих робіт, експлуатацію ставків накопичувачів, водозаборів, дренажних споруд та ін. Модель пошарово відображає режим руху підземних вод у верхніх покривних відкладах та нижній продуктивній кам'яновугільній товщі в межах шахтопластів, які гідравлічно пов'язані між собою. При такій схематизації умов вирішуються як геоекологічні задачі, так і гірничо-технічні.

Для моделювання геофільтрації шахтного поля використана програма MIF (розробник УкрДГРІ Дніпропетровське відділення), що апробована при вирішенні задач водорегулювання в гірничопромислових регіонах [13, 14].

Розробка і верифікація моделі. Гідродинамічна модель охоплює територію двох шахтних полів «Дніпровська» та ім. М.І. Сташкова, які гідродинамічно пов'язані через бучацький водоносний горизонт, а кам'яновугільна товща розділена тектонічним порушенням (рис. 1). У плані модель являє собою площу розміром $16,6 \times 14$ км, має 80×70 блоків з кроком 200×200 м, де на півночі розташоване поле шахти «Дніпровська», а на півдні – поле шахти ім. М.І. Сташкова

У вертикальному розрізі модель представлена 6-ти шаровою товщею. Перший розрахунковий шар відображає водоносний комплекс бучацьких відкладень, а нижні - вугільні пласти з кутом падіння $2-5^\circ$, що вже відпрацьовані або відпрацьовуються, і породи зони водопровідних тріщин (рис. 1).

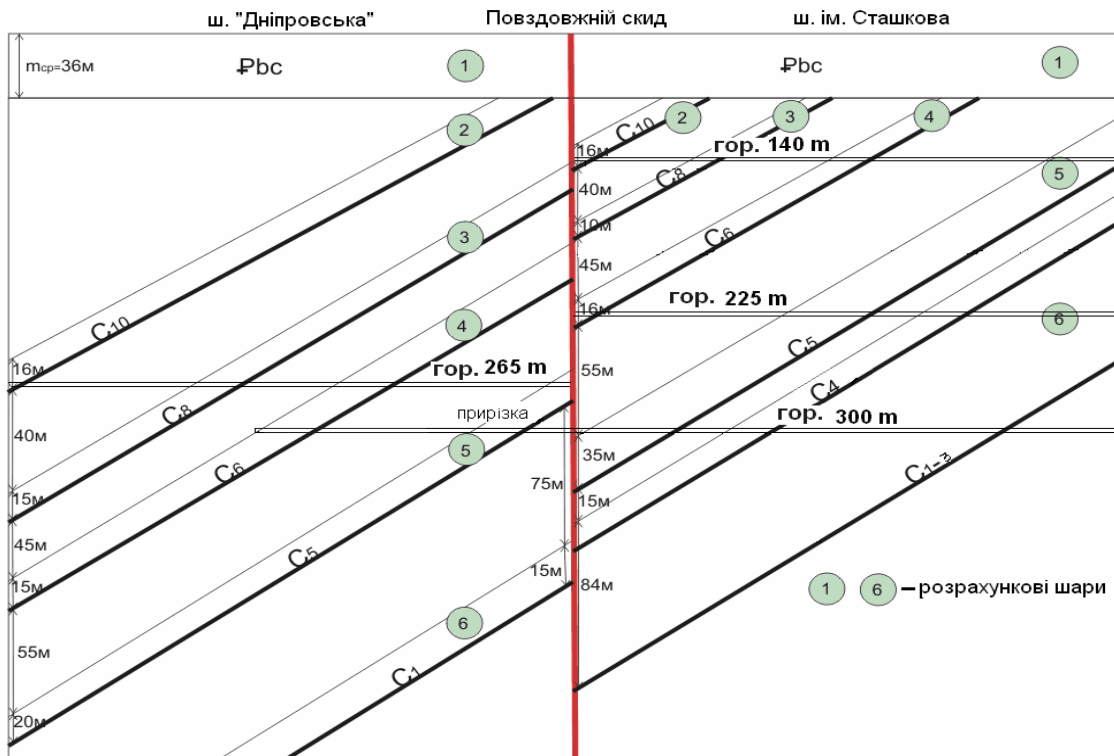


Рис. 1. Схематичний розріз моделі

Етап верифікації моделі передбачає вирішення комплексу епігнозних задач у природній та порушеній гірничими роботами гідродинамічній обстановці. В результаті їх вирішення за положенням в плані і розрізі рівнів підземних вод і величинам водопритоків уточнені граничні умови, фільтраційні і ємнісні параметри гірського масиву.

Остаточна оцінка результатів ідентифікації виконана за даними експлуатації об'єкта, тобто на моделі задані контури дренажу згідно з планами гірничих робіт в періоди, де зафіксовані характерні зміни величин водопритоків (рис.2), а також є дані режимних спостережень за рівнем підземних вод.

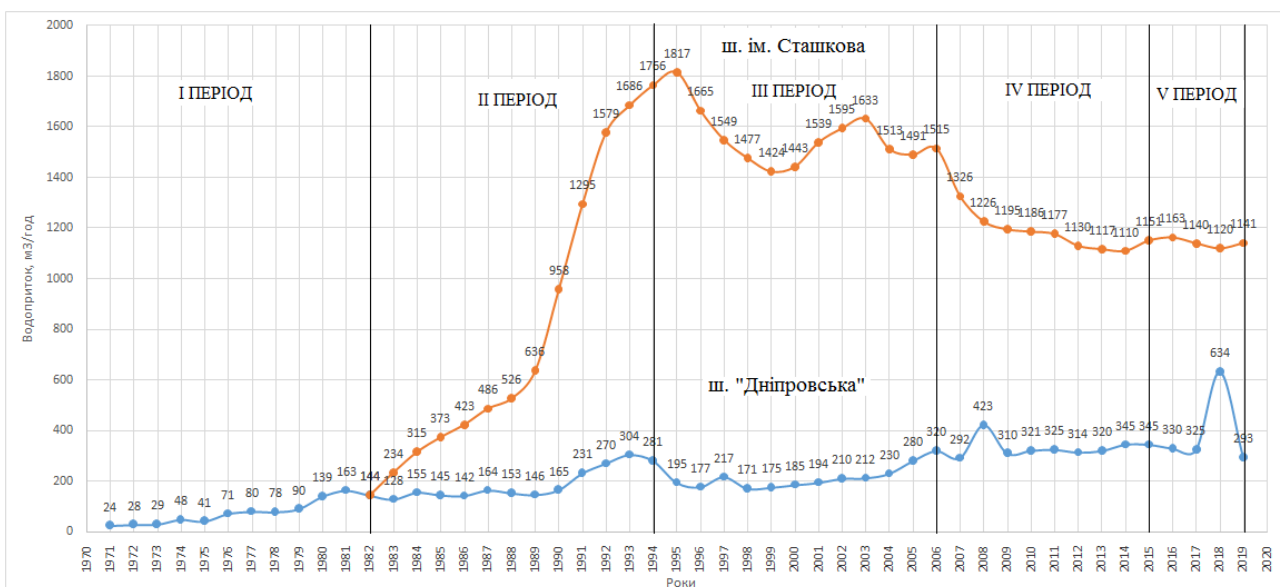


Рис. 2. Динаміка формування шахтних водопритоків у часі

Аналіз динаміки формування водопритоків в період відпрацювання запасів з використанням комп'ютерної гідродинамічної моделі шахтного поля дозволяє зробити наступні висновки.

1. При природній водопровідності вугільних пластів 0,5-1,5 м²/доб досягнення фактичних величин водопритоків можливе тільки за наявності транзитних зон підвищеної проникності. На полі шахти вони представлені товщами пісковиків потужністю 30-50 м і водопровідністю до 30 м²/доб, які залягають в покрівлі вугільних пластів С₅ і мають вихід під обводнені покривні відкладення. Згідно літолого-фаціального аналізу це алювіальні пісковики палеорусел раннього карбону і закономірності їх розповсюдження за площею відповідають зонам підвищених водопроявів при веденні гірничих робіт.

2. Приток води в шахту на 70% забезпечується ресурсами, що залучаються з мезо-кайнозойських відкладень, і на 30% – ємнісними запасами кам'яно-вугільної товщі. Наслідком цього є формування воронки депресії до 30 м в бучацькому водоносному горизонті і зміна напрямку руху фільтраційних потоків біля р. Самари. У порушених умовах річка із зони розвантаження перетворюється в зону живлення покривних відкладів і відповідно надає додатковий ресурс обводнення гірничих виробок.

3. Переміщення воронки депресії бучацького горизонту відбувається синхронно введенню в експлуатацію нових вугільних пластів в напрямку до зони виходу під покривні відкладення.

4. Максимальне залучення річкового стоку р. Самари в шахтний водо-відлив зафіксовано при відпрацюванні вугільного пласта С₅ в заплаві річки (в 200-х метрах від русла) і наближенні до границь безпечного ведення гірничих робіт. Так максимальний водоприток по пласту (822 м³/год) на 69% (570 м³/год) був обумовлений перетіканням річкових вод. При віддаленні гірничих робіт від зони виходу вугільного пласта під бучацько-київські відкладення і зменшення потужності підруслових пісковиків в східній частині шахтного поля цей показник зменшується до 9% (63 м³/год, табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка формування водопритоку пласта С₅

Приток до гірничих виробок (в тому числі додатковий ресурс бучацького водоносного горизонту за рахунок фільтрації річкових вод), м ³ /год	Роки				
	1994	1998	2006	2015	2019
	822 (570)	463 (250)	590 (159)	452 (76)	655 (63)

5. Величина притоку води в шахту гідродинамічно відкритого типу не корелює зі збільшенням площі гірничих робіт. На відпрацьованих з обваленням покрівлі площах проникність карбонової товщі є величиною змінною в часі, значення якої збільшується в 10-15 разів при зрушенні гірських порід та зменшується в два рази через 5-10 років, а через 15-20 років наближається до природних значень.

Згідно з планом гірничих робіт в останньому періоді на горизонті 300 м пройдені квершлагги між шахтними полями через зону тектонічного порушення з амплітудою зміщення до 40 м. Водопроявів при перетині зони тектонічно порушених порід не зафіксовано. Водоприток на моделі в очисні виробки в основному полі і прирізці становить $564 \text{ м}^3/\text{год}$ (фактичний $551 \text{ м}^3/\text{год}$).

Отримана під час калібрування збіжність модельного положення рівневої поверхні бучацького водоносного горизонту з даними багаторічних режимних спостережень, а також відповідність за величинами водопритоків до 88% за шахтопластами дозволили перейти до вирішення прогностичних задач затоплення шахти за різними варіантами.

Варіант 1. Повне затоплення шахти ім. М.І. Сташкова при збереженні міжшахтних ціликів. Моделювання процесу здійснюється шляхом відключення граничної умови першого роду в усіх розрахункових шарах. Динаміка затоплення масиву гірських порід і відновлення рівня в стовбурі шахти дещо відрізняються. Гірський масив в межах очисних виробок пластів C_{10} , C_8 , C_6 затоплюється протягом першого року, оскільки їх відпрацювання давно завершено і рівні частково відновлені. Затоплення столів і відновлення рівня по пластах C_5 , C_4 відбувається протягом трьох років.

Відновлення рівня підземних вод кам'яновугільних відкладень по пласту C_5 відбувається як в основному полі, так і в прирізаній частини пласта. Через 1 місяць після початку затоплення гравітаційна ємність в прирізаній частини заповнюється і відбувається відновлення рівня в режимі пружної фільтрації протягом 3-х років (рис. 3). При цьому на кінцевий період затоплення тут зберігається депресійна воронка за рахунок роботи пласта C_{10} і C_8 шахти «Дніпровська».

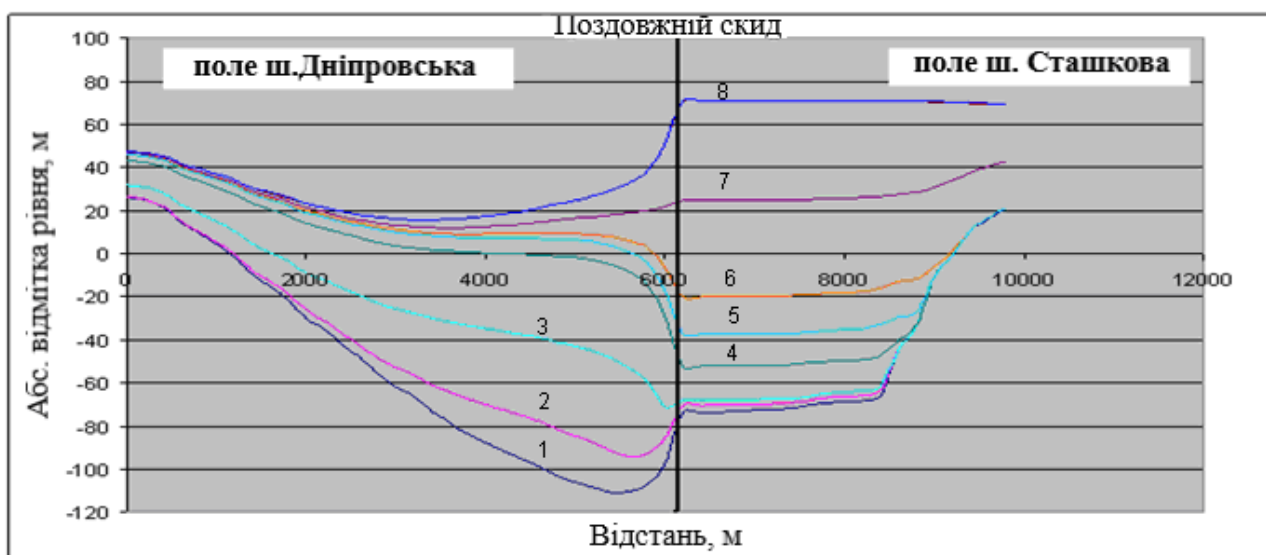


Рис. 3. Відновлення рівня підземних вод по пласту C_5 в основному полі та прирізці на момент часу: 1 – до відключення водовідливу; 2 – 10 діб; 3 – 1 місяць; 4 – 3 місяці; 5 – 6 місяців; 6 – 1 рік; 7 – 2 роки; 8 – 4 роки

Реакція бучацького водоносного горизонту на відключення водовідливів на шахті ім. М.І. Сташкова проявляється у відновленні рівня протягом трьох років з формуванням зон підтоплення уздовж русла річки Самари. Слід зазначити, що воронка депресії зміщується на поле ш. «Дніпровська» з величиною зниження до 11,3 м.

Вплив відновлення рівнів підземних вод в межах шахти ім. М.І.Сташкова проявляється у збільшенні водотоку на ш. «Дніпровська» на 50 м³/год.

Зоною потенційного підтоплення і заболочення залишається, як і в доексплуатаційному періоді, заплава річки Самара площею близько 9,75 км², де абсолютні позначки поверхні землі менше +75 м (рис. 4). Слід відзначити, що ці ділянки не підроблялися і розташовані поза зоною геомеханічного впливу гірничих робіт.



Рис. 4. Фрагмент ділянки шахтного поля: 1, 2, 3 – проєкції пласта С₅ на денну поверхню, відповідно, плаского дна, контуру пласта та зони впливу; 4 – межа зони потенційного підтоплення; 5 – зона розташування водазбірних свердловин

Варіант 2. Затоплення шахти ім. М.І. Сташкова при збереженні існуючого підземного комплексу головного водовідливу

Збереження водовідливного комплексу на горизонті 225 м (абс.позн. -115 м) дозволяє знизити рівень підземних вод покривних відкладень в зоні потенційного (доексплуатаційного) підтоплення на 4 м. Проте розглянутий варіант передбачає у довгостроковій перспективі збереження існуючої схеми відкачки мінералізованої шахтної води та подальше її відведення у р. Самара в кількості 5869,2 тис. м³ на рік, що слід визнати екологічно недоцільним.

Варіант 3. Ліквідація шахти з підтриманням водовідливного режиму за рахунок обладнання допоміжного створу заанурювальними насосами

Для управління екологічною безпекою приповерхневого водоносного комплексу (попередження підтоплення, зміни якості підземних і поверхневих вод), необхідно підтримувати відмітки рівня шахтних вод нижче підосви покривних відкладів в межах площі гірничих робіт.

Для підтримки рівня шахтних вод (підземних вод карбонатних відкладів) в межах зон підробки на абсолютній позначці +20 м (мінімальна позначка підосви покривних відкладів) відкачка занурювальними насосами розглядається за наступними підваріантами.

Абсолютна позначка рівня шахтних вод в стовбурі:

- +10м з дебітом від 350 м³/год до 300 м³/год;
- -10м з дебітом відкачки від 350 м³/год і до 300 м³/год;
- -30 м з дебітом від 350 м³/год і до 300 м³/год.

Реакція водоносного горизонту покривних відкладень на роботу занурювальних насосів показує, що радіус впливу відкачки значно менший, ніж за варіантом 2, а зниження рівня в зоні потенційного підтоплення складає від 0,1 до 1,2 м. В цьому випадку площі потенційного підтоплення зменшуються лише на 15%.

Використання занурювальних насосів з рівнем відкачування відповідно горизонту 225 (-115м) або 300 (-190 м) потребує вільного перепуску води з горизонтів, що розташовані вище. При використанні цих варіантів водовідливу в заплаві річки Самари зберігається ситуація, що склалась на 2020 р, тобто зі зниженими рівнями відносно доексплуатаційного періоду. Але це передбачає довгострокову відкачку і відведення у р. Самара мінералізованої шахтної води.

Варіант 4 Альтернативний варіант захисту заплави від підтоплення шляхом будівництва водозабору в продуктивній товщі палеоруслових пісковиків підвищеної проникності

Обґрунтування варіанту та місця розташування водозабірної свердловини визначається за результатами рішення ідентифікаційних задач та досвідом відпрацювання пласта С₅ в безпосередній близькості до виходу пласта під покривні відклади та до русла річки Самара. В період 1994-1995 рр зафіксовані аномально високі водопритоки в шахту (1817 м³/год, з них 649 м³/год по пласту С₅), а зниження рівня бучацьких відкладів сягнуло 30 метрів (підосви пласта). В цьому випадку додатковою зоною транзиту підземних вод покривних відкладень слугували палеоруслові пісковики в основній покривлі пласта С₅ потужністю 14-22м.

Встановлення причин та факторів прояву аномальних водопритоків дозволяє використовувати порушену зону підруслових пісковиків в діапазоні абсолютних відміток (-55м)... (-50 м) для зниження природних площ підтоплення після ліквідації шахти. Місце розташування свердловини в плані показано на рис. 4.

Достатнє зниження рівня в зоні потенційного підтоплення (до 2 м) фіксується при роботі свердловин з сумарним дебітом 150 м³/год або 3600м³/добу. У відповідності до динаміки затоплення шахтного поля введення її в експлуатацію необхідно передбачити через 6 місяців з початку затоплення шахтного поля. Середня мінералізація вод, що відкачуватимуться, становитиме близько 2 г/дм³.

Цей варіант є найбільш доцільним з синхронною організацією моніторингу рівневого режиму та поступовим нарощуванням водовідливної потужності згідно графіком на рис. 5, що дозволить використовувати технічну воду для внутрішніх потреб шахтоуправління та збільшити площі осушених земель в діапазоні від 80 до 90 %.

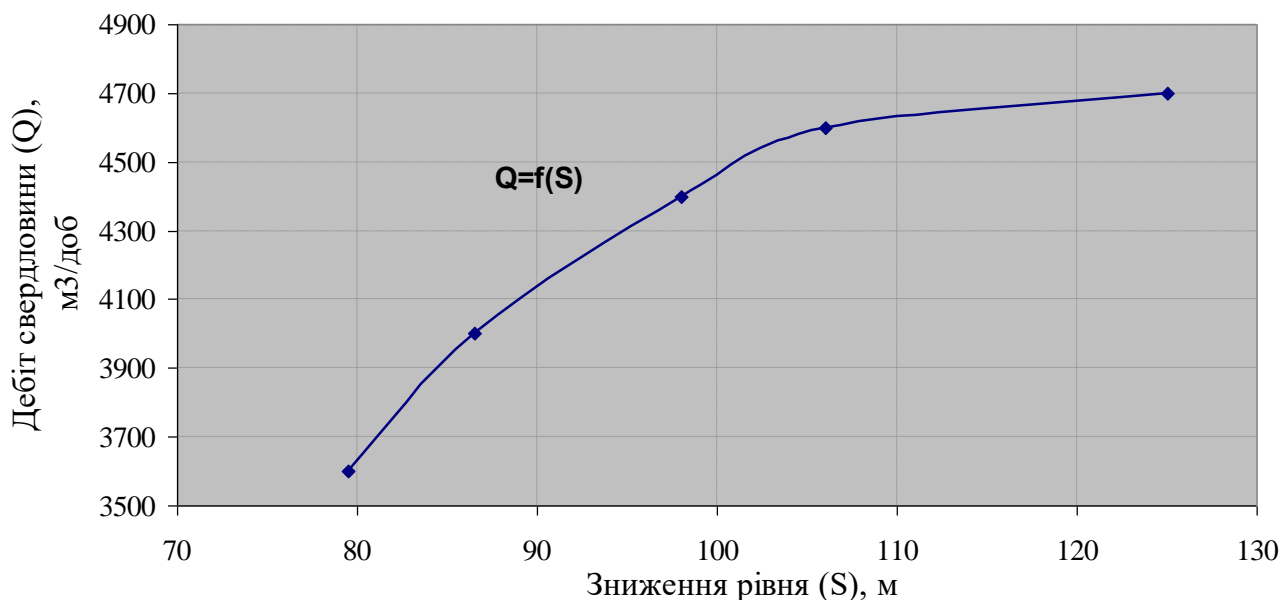


Рис. 5 Залежність дебіту відкачки від зниження води в свердловині

Висновки і рекомендації В роботі досліджені часові та просторові закономірності зміни гідрогеологічного режиму підземних вод на прикладі найбільш обводненої шахти в Україні (ім. М.І. Сташкова, Західний Донбас) для оптимізації екологічних та інженерних заходів періоду її затоплення та постексплуатації.

За прогнозними розрахунками при відновленні рівня підземних вод карбонатних і покривних відкладень формуються площі потенційного підтоплення і заболочення в заплаві річки Самари, що існували і в доексплуатаційний період, бо вони не підроблялися і знаходяться поза зоною геомеханічного впливу гірничих робіт.

В якості інженерних заходів захисту заплави річки від підтоплення оцінені три варіанти підтримки водовідливого режиму шахти. Використання занурювальних насосів для відкачки води зі ствола шахти вище горизонту 140 м має низьку ефективність з точки зору зменшення площ підтоплення, бо вони знаходяться на периферії шахтного поля. Підтримка водовідливу на горизонті 225 м дозволяє наблизитися до гідрогеологічної ситуації, характерної на період відпрацювання родовища, проте передбачає довгострокову відкачку мінералізованої шахтної води та її скид у річку Самару.

Обґрунтування зони будівництва водозабору стало можливим за результатами рішення епігнозних задач на період аномально високих притоків води в шахту. Це дозволяє використовувати продуктивну товщу палеоруслових пісковиків в покрівлі пласта С₅ як транзитну зону підвищеної проникності для захисту

заплави від підтоплення.

Отримані результати прогнозних гідродинамічних рішень щодо наслідків затоплення шахти є основою для розробки проекту її ліквідації.

Вдячність Дослідження виконані за фінансової підтримки ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» та ВСП «Шахтоуправління Дніпровське». Автори вдячні компанії за сприяння в проведенні досліджень і впровадження їх результатів.

Перелік посилань

1. Wolkersdorfer, C., & Bowell, R. (2004). Contemporary Reviews of Mine Water Studies in Europe, Part 1. *Mine Water and the Environment*, 23(4), 162–182.
<https://doi.org/10.1007/s10230-004-0060-0>
2. Sadovenko, I., Zagrytsenko, A., Podvigina, O., & Dereviagina, N. (2016). Assessment of environmental and technical risks in the process of mining on the basis of numerical simulation of geofiltration. *Mining of Mineral Deposits*, 10 (1), 37-43.
<http://dx.doi.org/10.15407/mining10.01.037>
3. Younger, P.L., Jenkins, D.A., Rees, B., Robinson, J., Jarvis, A.P., Ralph, J., Johnston, D.N., & Coulton, R.H. (2004). Mine waters in Wales: pollution, risk management and remediation. *Urban Geology in Wales, National Museum of Wales Geological Series*, (23).
4. Mine closure and post-mining management. International state-the-art (2008). *International Commission on Mine Closure. International Society for Rock Mechanics. ISRM*.
5. Babu D.K., & Pinder G.F.(1984) A finite element-finite difference alternating direction algorithm for three dimensional groundwater transport. *Finite Elements in Water Resources*. Springer
https://doi.org/10.1007/978-3-662-11744-6_15
6. Quiros, A. G., & Fernández-Álvarez, J. P. (2019). Conceptualization and finite element groundwater flow modeling of a flooded underground mine reservoir in the Asturian Coal Basin, Spain. *Journal of Hydrology*, 578, 124036.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124036>
7. DMT GmbH & Co. KG (2011). *BoxModel Concept: ReacFlow3D*, Program description accompanying BoxModel documentation, Germany.
8. Sadovenko, I., & Rudakov, D. (2010). *Dynamics of groundwater flow mass transfer during active and closing mining operations*. National Mining University.
9. Westermann, S., Rudakov, D., Reker, B., & Melchers, C. (2019). Ein neuer Blick auf Grubenwasseranstiegsprozesse – ausgewählte Beispiele aus dem deutschen Steinkohlenbergbau. *Marktscheidewesen*, 126(1), 30-38.
10. Banks, D. (2001). A variable-volume, head-dependent mine water filling model. *Ground Water*, 39(3), 362-365.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2001.tb02319.x>
11. Sadovenko, I., Zahrytsenko, A., Podvigina, O., Dereviagina, N., & Brzeźniak, S. (2018). Methodical and Applied Aspects of Hydrodynamic Modeling of Options of Mining Operation Curtailment. In *Solid State Phenomena* (Vol. 277, pp. 36-43). Trans Tech Publications Ltd.,
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.36>
12. Norvatov, Y. A., Petrova, I. B., Kotlov, D. I., & Saveliev, D. I. (2010). Scientific and methodological principles of the analysis and prediction of hydrogeological conditions of mine abandonment. In *International mining conference* (pp. 597-600).
13. Zahrytsenko, A., Podvigina, O., & Dereviagina, N. (2018). Scientific and methodological foundations to develop numerical hydrodynamical models of mine fields in Donbas. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 60, p. 00034). EDP Sciences.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000034>

14. Sadovenko, I., Rudakov, D., & Podvigina, O. (2010). Analysis of hydrogeodynamics in a mining region during exploitation till closure of coal mines. *New Techniques and Technologies in Mining: School of Underground Mining 2010*, 61-69.
<https://doi.org/10.1201/b11329-12>

АННОТАЦИЯ

Цель. Обоснование экологических мер защиты зон потенциального подтопления в условиях ликвидации шахты путем адаптации методики прогнозирования фильтрации в техногенной среде подработанного массива горных пород.

Методика исследования. Наиболее универсальным и достоверным методом прогнозирования сложных и многофакторных гидродинамических процессов является математическое моделирование. На численной модели шахтного поля, реализованной методом конечных-разностей, учитывается естественная и техногенная неоднородность горных пород, сложная геометрия геологических тел, изменение граничных условий во времени, влияние эксплуатации смежных шахт и другие факторы, имеющие решающее значение для надежных прогнозных оценок и эффективной инженерной защиты. Методика моделирования включает воспроизведение на модели хронологии отработки угольных запасов (эпигноз) и прогнозные расчеты на всех стадиях функционирования предприятия.

Результаты исследования. Для природно-техногенной среды шахтного поля установлены закономерности изменения во времени фильтрационных и емкостных параметров горного массива, площади распространения зон повышенной водопроницаемости и количественно оценены составляющие водного баланса карбоновой и покровной водоносных толщ. Прогнозные гидродинамические решения получены для условий закрытия и затопления шахтного поля. Количественно оценены технические риски работы смежных шахт и экологические последствия на поверхности. Установлено, что период полного восстановления уровня подземных вод происходит в течение трех лет с формированием на поверхности зон потенциального подтопления и заболачивания в пойме реки Самары.

Научная новизна. Установлены факторы формирования повышенных притоков воды в шахту и закономерности изменения фильтрационных и емкостных параметров горного массива на протяжении всего периода ее эксплуатации. Это позволило доказать неэффективность использования погружных насосов для защиты от подтопления поймы реки Самары и обосновать наиболее рациональный вариант строительства водозабора в толще палеорусловых песчаников повышенной проницаемости.

Практическое значение. Рассмотрены варианты экозащиты шахтного поля путем определения горизонта поддержки водоотлива стационарными или погружными насосами, их эффективность, экономичность и экологичность. Обоснован альтернативный вариант защиты поймы от подтопления путем строительства водозабора в продуктивной толще палеорусловых песчаников повышенной проницаемости.

Ключевые слова: численное моделирование, гидродинамика шахтного поля, затопление шахты, подтопления поймы, экозащита

ABSTRACT

Purpose. Justification of protective ecological measures for potential underflooding zones in conditions of mine liquidation through adaptation of a method of predicting the filtration in a technogenic environment of undermined rock massif.

Methodology of research. The most universal and reliable method of predicting complex and multifactor hydrodynamic processes is mathematical modelling. Natural and technogenic inhomogeneity of mine rocks, complex geometry of geological formations, change of boundary conditions in time, influence of operation of adjacent mines, and other factors are considered on a numerical model of the mine field realized by the finite-difference method. These factors are crucial for reliable predictive estimates and effective engineering protection. Modelling methodology includes simulation on a model of coal reserves extraction chronology by periods (epignosis) and predictive calculations at all stages of enterprise operation.

Findings. The patterns of change of filtration and capacitive parameters of the massif, the area of distribution of increased water permeability zones in time are established and components of water balance of the Carboniferous and cover aquifers are quantitatively estimated for the natural-technogenic environment of the mine field. Predictive hydrodynamic solutions are obtained for the conditions of mine field closure and flooding. Technical risks of operation of adjacent mines and ecological consequences on the surface are quantitatively estimated. It is established that the period of complete groundwater level recovery occurs within three years with a formation of potential underflooding and waterlogging zones on the surface in a floodplain of the Samara River.

Scientific novelty. The factors of formation of increased water inflows into the mine and patterns of change of filtration and capacitive parameters of a rock massif during the entire period of mine operation are established. This allows establishing the use inefficiency of submersible pumps to protect against flooding in a floodplain of the Samara River and to justify the most rational option for construction of a water intake in the stratum of paleochannel sandstones of high permeability.

Practical significance. Options of the mine field eco-protection through determining the level of drainage by stationary or submersible pumps, their efficiency, economy and environmental friendliness are considered. The alternative option to protect the floodplain from underflooding by building a water intake in the productive stratum of paleochannel sandstones of high permeability is recommended.

Keywords: *numerical modelling, mine field hydrodynamics, mine flooding, floodplain underflooding, eco-protection*