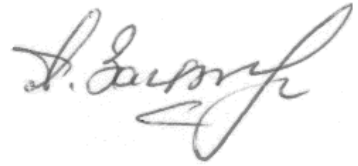


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**ЗАГРИЦЕНКО АЛІНА МИКОЛАЇВНА**

**УДК 622.841:622.847:622.838.5**

**НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ОСНОВИ РЕГУЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЇ В  
МАСИВАХ ШАХТНИХ ПОЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ЧИСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ**

**Спеціальність: 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук**

**Дніпро – 2021**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**САДОВЕНКО Іван Олександрович**,  
професор кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Офіційні опоненти:** член-кореспондент Національної академії наук України,  
доктор технічних наук, професор  
**БЛЮСС Борис Олександрович**,  
завідувач відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (м. Дніпро);

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**КАЛУГІНА Надія Олександрівна**,  
учений секретар Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України (м. Дніпро);

доктор технічних наук, професор  
**МАРТИНЮК Петро Миколайович**,  
директор Навчально-наукового інституту автоматичної, кібернетики та обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України (м. Рівне).

Захист дисертації відбудеться « 24 » вересня 2021 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Автореферат розісланий « 20 » серпня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої  
ради



О.В. Солодянкін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На кожному етапі функціонування гірничо добувного підприємства, від будівництва та експлуатації, до згортання гірничих робіт та періоду постексплуатації, питання водорегулювання є одними з основних. Вони визначають як рентабельність роботи підприємства, так і екологічну та технічну безпеку. Зокрема, ці питання є найскладнішими за прогнозованістю і керованістю процесів внаслідок інтенсивного техногенного перетворення гірського масиву. Так, інтенсивність видобутку за останні десятиріччя збільшилася вдвічі, глибина ведення гірничих робіт сягнула 600...1500 м, а радіус впливу та об'єми шахтного водовідливу визначили виснаження водоносних порід на площах в десятки квадратних кілометрів і погіршення якості підземних та поверхневих вод, що використовуються для водопостачання.

Природна вертикальна зональність підземної гідросфери за інтенсивністю водообміну порушується при веденні гірничих робіт за рахунок обвалення покрівлі виробок і зона інтенсивного водообміну занурюється. Це призводить до активізації зв'язку між гірничими виробками та водами покривних відкладень, поверхневими водотоками, збільшення водопритоку та виснаження ресурсів прісних вод.

Наближення стадії згортання гірничих робіт відбувається в умовах змінених меж водообміну, фільтраційних і ємнісних параметрів масиву, осідання земної поверхні, гідрохімічної інверсії та ін. Внаслідок відновлення рівня підземних вод при закритті шахти на підробленій території формуються затоплені безстічні поверхні, а гідравлічний зв'язок між шахтними полями визначає необхідність обґрунтування гідрозахисту суміжних працюючих шахт. В таких умовах дуже важливо мати інструмент для прогнозування та управління зазначеними процесами, а також оцінки ефективності інженерних рішень.

Результати аналітичних прогнозних розрахунків суттєво відрізняються від фактичних, а найбільш універсальним і достовірним методом є математичне моделювання гідродинаміки шахтного поля. Проте, використання математичних моделей геофільтрації, в загально прийнятому уявленні, некоректне до умов динамічно порушеного породного масиву шахтних полів без обґрунтувань та адаптації методики та програмних алгоритмів.

Тому в роботі сформульована та вирішена актуальна **науково-прикладна проблема** управління геофільтрацією техногенного середовища шахтних полів шляхом адаптації методики чисельного моделювання гідродинамічних процесів у гірничих виробках різного призначення з врахуванням постійних змін фільтраційних та ємнісних параметрів порушеного гірського масиву для досягнення безпеки гірничих робіт і екобезпеки приповерхневих територій як на етапі експлуатації, так і в період ліквідації шахт.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Напрямок дисертаційних досліджень узгоджується з концепцією реформування та розвитку вугільної промисловості на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 травня 2017 р. № 733-р.), відповідає «Енергетичній стратегії України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №1071-р.) та «Загальнодержавній програмі розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року № 3268-VI).

Тематика дисертаційної роботи пов'язана з дослідженнями, проведеними на кафедрі гідрогеології та інженерної геології НТУ «Дніпровська політехніка», в рамках держбюджетних та господарських договірних робіт, в яких авторка брала участь як виконавець: ГП-443 «Геолого-гідрогеологічне та геофізичне обґрунтування параметрів експлуатації і акумуляції теплової енергії техногенних газогідротермальних родовищ Донбасу» (№ ДР 0111U002813, 2011-2013), ГП-492 «Термогідродинамічна і геотехнологічна параметризація геогідротермальних ресурсів України у техногенному геологічному середовищі» (№ ДР 0117U001130, 2017-2019), «Обґрунтування безпечних параметрів гідрогеомеханічного впливу на дегазаційну свердловину Д-62П при розробці 126, 128, 130-ї лав ш. «Ювілейна» і 175-ї лави ш. «Степова»» (№040834/377-ПУ-ШУПт, 2016), «Оцінка можливості безпечного ведення гірничих робіт на шахтах «Ювілейна» та «Степова» з урахуванням нормативних розмірів цілика в зоні гідрогеомеханічного впливу на дегазаційну свердловину Д-62П» (№ 040837-18/800-ПУ-ШУПт, 2018); «Обґрунтування параметрів бар'єрного цілика від прориву води біля затопленої 1 південної лави пласту I<sub>2</sub><sup>1</sup> південного похилу гор. 450 м шахти «Добропільська»» (№ 072104-18/803-ДУ-ШУД, 2018); та відповідальний виконавець: «Розробка заходів зниження водопритоку в ш. ім. Сташкова шляхом гідроізоляції водопроникних зон» (№12-11/3354-У/0408241, 2013); «Розробка ефективних гідродинамічних схем прогнозування та управління фільтрацією підземних і поверхневих вод в межах шахт «Самарська» і «Західно-Донбаська» на основі гідродинамічних моделей» (№040827/14-29/92-У, 2014); «Визначення можливості закачування концентрату в водоносний горизонт палеогенових відкладів шляхом побудови математичної моделі фільтрації та міграції концентрату» (№ 040828, 2014); «Обґрунтування раціональних технічних рішень згортання гірничих робіт на полі шахти ім. М.І. Сташкова за гідродинамічним фактором» (№040831/113-ПУ-ШУД, 2015); «Розробка гідродинамічної моделі ш. «Дніпровська» для оптимізації водовідливів і гірничих робіт в зв'язку з закриттям ш. ім. М.І. Сташкова (№ 040832/114-ПУ-ШУД, 2015); «Формування природно-техногенного режиму підземних вод в зоні впливу кар'єру Новосілівського родовища вапняків на основі створення комп'ютерної моделі геофільтрації» (№ 070380, 2017); «Актуалізація гідрогеологічного висновку щодо прогнозу режиму затоплення поля шахти ім. М.І. Сташкова» (№ 040841-19/1228-ПУ-ШУД, 2020).

**Метою роботи** є створення системного науково-методичного підходу до рішення задач управління геофільтрацією техногенного середовища шахтних полів з використанням сучасних чисельних моделей для досягнення безпеки гірничих робіт при гідрогеодинамічних зрушеннях продуктивних масивів та приповерхневих територій як на етапі експлуатації, так і в період ліквідації гірничих підприємств.

Для досягнення мети, як розв'язку поставленої наукової проблеми, сформульовані та вирішені наступні **задачі**:

1. Обґрунтування концептуальної моделі шахтного поля у сукупності з програмними моделями геофільтрації у техногенному середовищі підробленого масиву гірських порід.

2. Встановлення параметрів геофільтраційного стану та закономірностей руху фільтраційних течій в техногенно порушеному гірському масиві на основі рішення актуальних ідентифікаційних задач.

3. Розробка геофільтраційних моделей конкретних шахтних полів для обґрунтування, контролю та реалізації гідротехнічної та екологічної безпеки ведення і згорання гірничих робіт.

4. Реалізувати комплексний гідрогеомеханічний підхід з використанням чисельного моделювання до оцінки гідрогеодинамічних ризиків ведення гірничих робіт в складних та аварійних умовах шахтного поля.

5. Оцінка можливості використання фільтраційно-ємнісного ресурсу водоносних порід для регулювання та відновлення водного балансу техногенного масиву.

6. Обґрунтування технічних рішень з регулювання безпечного гідрогеодинамічного режиму підземних вод на етапах експлуатації і закриття шахт.

**Об'єктом дослідження** є геофільтраційні течії у геоструктурних масивах шахтних полів та приповерхневих геологічних відкладеннях, які змінюються в просторі і часі залежно від природних та геотехнічних факторів, сформованих стадіями розвитку, сталого ведення та згорання підземних гірничо добувних робіт.

**Предметом дослідження** є гідрогеодинамічні, геомеханічні і геотехнологічні параметри регулювання геофільтраційними течіями у масивах шахтних полів зі складною гідрогеологічною будовою та геотектонікою, що впливають на безпеку гірничих робіт і еколого-технічний стан поверхневого ландшафту.

**Основна ідея** полягає у використанні закономірностей часових і просторових геофільтраційних та геомеханічних змін техногенного масиву шахтного поля, встановлених шляхом ідентифікації чисельних моделей, для обґрунтування параметрів управління гідрогеодинамічною ситуацією в гірничих виробках і на поверхні протягом всіх етапів функціонування шахти.

**Методи дослідження.** Для вирішення науково-технічної проблеми використаний комплексний підхід, що включає методи геолого-структурного

аналізу, візуальні обстеження аварійних ділянок в гірничих виробках шахт, чисельне математичне моделювання гідродинамічних, геомеханічних та міграційних процесів з використанням факторно-діапазонного аналізу та прийомів різномасштабної фрагментації моделей, методи статистичного та кореляційного аналізу при обробці вихідних параметрів масиву та результатів моделювання, промисловий масштабний експеримент з оцінки колекторських властивостей гірського масиву, аналітичні та емпіричні оцінки розвитку тріщин та гідравлічного руху течій на поверхні та в порушеному масиві, спеціальний гідрогеомеханічний моніторинг.

**Наукові положення, що захищаються в дисертації:**

1. Величина водопритоку в шахту гідродинамічно відкритого типу не корелює зі збільшенням площі гірничих робіт, а на відпрацьованих з обваленням покрівлі ділянках проникність карбонової товщі є величиною змінною в часі, значення якої збільшується в 10-15 разів при зрушенні гірських порід та нелінійно зменшується в два рази через 5-10 років і наближається до природних величин через 15-20 років у межах детермінованих етапів формування водопритоку протягом всього періоду експлуатації шахти, що є основою для імітаційної ідентифікації геофільтраційної моделі шахтного поля та отримання прогнозних рішень достатньої вірогідності.

2. Параметри породного масиву, де фільтраційні та ємнісні показники відрізняються в режимах відкачки та нагнітання, а саме збільшуються на порядок за рахунок пульсаційного характеру течії у гідророзривних тріщинах пласта-колектора, обумовлюють екологічно безпечний локальний водообмін шляхом штучного збільшення фільтраційного транзиту до зони гідродинамічного розвантаження, а проникність зон крупноамплітудних тектонічних порушень Західного Донбасу співпадає з параметрами протифільтраційних екранів з коефіцієнтом фільтрації  $10^{-4} \dots 10^{-7}$  м/добу, що дозволяє використовувати їх при подовженні терміну експлуатації шахти.

3. Локально затоплене поле очисних виробок зберігає дренальний вплив на породний масив, створюючи знижені значення напорів в межах відпрацьованих ділянок, тому при розмірах цілика шириною 5...20 м водопритоки з боку затопленого поля мають другорядне значення і відносно загального складають до 17% , а ризики прориву води існують з розшарованих зон покрівлі на сполученні очисних і підготовчих виробок в зоні тріщинного розпушення, при цьому величини зсувних деформацій на контактні покривних і продуктивних відкладень є критичними, якщо перевищують 0,005 у зоні технологічних свердловин за відсутності тампонажу.

4. Пісковики підвищеної водопроникності палеоруслового генезису на етапі ведення гірничих робіт є основним транзитним шляхом надходження аномальних водопритоків в шахту, а на етапі згортання гірничих робіт мають оптимальні параметри для регулювання геофільтрацією приповерхневих територій та зниження екологічних ризиків в зоні потенційного підтоплення

заплави площею понад  $9 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup> зі штучним водовідбором води до 150 м<sup>3</sup>/год та технологічним моніторингом регіонального водотоку розчисткою русла.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

1. Вперше обґрунтована методика схематизації геотехнічних умов та ідентифікації геофільтраційної моделі шахтного поля за фізичною та динамічною аналогією шляхом відтворення технологічного процесу відпрацювання вугільних пластів і гідрогеомеханічного перетворення масиву гірських порід для встановлення закономірностей формування фільтраційних течій, отримання достовірних результатів прогнозних рішень та розробки ефективних заходів з водорегулювання при веденні і згортанні гірничих робіт.

2. Вперше встановлені закономірності трансформації проникності гірського масиву шахтного поля від моменту обвалення покрівлі гірничих виробок до їх ущільнення впродовж терміну експлуатації шахти шляхом реконструкції гідродинамічної розробки родовища за характерними часовими періодами.

3. Вперше встановлено, що в Західному Донбасі для порід зони розривних тектонічних порушень з амплітудою зміщення понад 300 м, характерні гідродинамічні збурення пружного характеру з величинами пружноємності й проникності, порівняними з непорушеним слабопроникним масивом гірських порід з аргілітів, алевролітів, пісковиків, та формуванням водопроявлень у вигляді зволоження стінок виробки та капежу.

4. Вперше при сполученні моделі нестационарної фільтрації в скінчених різницях і скінчено-елементної гідрогеомеханічної моделі дискретного середовища встановлено, що відпрацьоване і затоплене поле очисних виробок має тривалий дренальний вплив на породний масив, створюючи знижені значення напорів в межах відпрацьованих ділянок, а параметри проникності зрушених порід наближаються до природних значень в процесі їх гравітаційного ущільнення протягом 25 років. При розмірах цілика шириною до 20 м водопритоки з боку затопленого поля мають другорядне значення і не перевищують 17% від загального притоку води в лаву.

5. Вперше обґрунтовані параметри гідрогеомеханічного впливу очисних робіт на аварійну дегазаційну свердловину при різних контурах відпрацювання цілика з врахуванням деформацій розтягування та повзучості в площині контакту «бучак-карбон», що не перевищують критичних відносних деформацій понад 0,005, та свідчать про збереження тампонажного матеріалу в затрубному просторі аварійної свердловини.

6. Вперше створена математична модель закачування рідини та подальшої релаксації гідродинамічної репресії у часі та просторі, де підземні води є індикатором гідрогеомеханічних процесів, а останні враховані шляхом імітаційного моделювання з параметрами проникності відповідно витратам і тиску закачування для обґрунтування схеми локального відновлення зон водообміну.

### **Практичне значення результатів роботи:**

1. Розроблені методичні підходи створення постійно діючих чисельних моделей шахтних полів з їх поетапною схематизацією та ідентифікацією є науково-прикладною основою для оцінки та переведення регіону Західного Донбасу в режим безпечного та керованого відновлення підземної гідросфери при закритті і затопленні шахт.

2. Обґрунтований спеціальний гідрогеомоніторинг перетину гірничою виробкою зони регіонального тектонічного скиду з одночасним поповненням інформаційної бази чисельної гідродинамічної та геомеханічної моделей. Гірничі виробки пройдені в режимі контролю та управління з мінімальними фінансовими витратами, що дало можливість збільшити об'єм промислових вугільних запасів на шахті «Самарська» на 40 млн. тон та термін її експлуатації на 15 років з загальною сумою економічного ефекту близько 3,251 млрд. грн.

3. Розроблені та впроваджені на ш. «Добропільська» рекомендації щодо визначення оптимального розміру цілика в зоні впливу затоплених виробок, що забезпечують ведення гірничих робіт та підвищують повноту виймання корисної копалини. Ризики прориву води з розшарованих зон покрівлі зближеного вугільного пласта мінімізуються шляхом підготовки і відпрацювання діагональних лав з нормативним ухилом для водовідведення.

4. Обґрунтована можливість безпечного відпрацювання лав ш. «Ювілейна» та ш. «Степова» в межах охоронного цілика навколо аварійної дегазаційної свердловини, що враховано при складанні програми ведення гірничих робіт та в умовах аварійної ситуації забезпечило повноту виймання запасів вугілля з попередженням їх втрат в кількості 32 тис. тон та економічним ефектом в розмірі 65 млн. грн.

5. Розроблені рекомендації щодо технічно можливого та екологічно прийняттого режиму експлуатації пласта-колектора використані на виробничому підприємстві «Нумпа». Обґрунтовано, що за прийнятної здатності свердловини 40 м<sup>3</sup>/добу·атм, транзит мінералізованих вод в об'ємі 720 м<sup>3</sup>/доб є екологічно безпечним і створює умови відновлення та посилення природного очищення зон природного водообміну.

6. Встановлена зона потенційного підтоплення заплави річки Самари площею близько 9,75 км<sup>2</sup> при закритті шахти ім. М.І. Сташкова та повному відновленні рівня підземних вод. Оцінені технічні ризики роботи суміжних шахт та ефективність водорегулювання шляхом використання стаціонарних і занурювальних насосів, будівництва водозбору й розчистки русла річки Самари. Варіант повного затоплення шахти в моніторинговому режимі з розчисткою русла обґрунтований як екологічно прийнятний й економічно раціональний. Упередження витрат коштів на фізичне утримання шахти склало 114,3 млн. грн. та 21,4 млн. грн., відповідно до витрат на роботу головного водовідливу та використання занурювальних насосів.



Отримані результати гідрогеологічного прогнозу наслідків закриття шахти покладені в основу проекту затоплення гірничих виробок з оптимальними параметрами водорегулювання.

7. Результати досліджень використані в навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при підготовці бакалаврів спеціальності 103 «Науки про Землю» та магістрів освітньо-професійної програми «Гідрогеологія», читанні спецкурсів «Математичне моделювання геологічних систем», «Гідрогеологія родовищ корисних копалин», «Гірничопромислова гідрогеологія» та виконанні кваліфікаційних робіт.

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується використанням фундаментальних законів гідрогеодинаміки та геомеханіки, методів математичної статистики та геоструктурного аналізу; використанням фактичних даних режимних спостережень і водопритоків для ідентифікації моделей з похибкою менше 15%, підтвердженням достовірності прогнозних розрахунків на 90...95 % при реалізації спеціальних проектів в шахті.

#### **Реалізація результатів роботи**

За результатами комплексної оцінки гідрогеодинамічних ризиків ведення гірничих робіт в зоні тектонічного порушення на шахті «Самарська» реалізований спеціальний проект перетину регіонального скиду в режимі гідрогеомоніторингу (акт впровадження від 09.08.2020).

Впроваджені на ш. «Добропільська» рекомендації щодо визначення оптимального розміру цілика та відпрацювання діагональних лав забезпечили повноту виймання корисної копалини в безпечному режимі.

При складанні програми ведення гірничих робіт на ш. «Ювілейна» та ш. «Степова» враховані та реалізовані рекомендації щодо раціонального контуру відпрацювання охоронного цілика навколо аварійної дегазаційної свердловини (акт впровадження від 05.05.2021).

Рекомендації щодо екологічно безпечного і технічно можливого режиму експлуатації пласта-колектора використані підприємством «Нумпа» при реалізації проекту відновлення зони локального водообміну шляхом штучного нагнітання мінералізованих вод (довідка про впровадження від 11.01.2021).

Результати гідрогеологічного прогнозу наслідків закриття шахти ім. М.І. Сташкова покладені в основу проекту затоплення гірничих виробок з оптимальними параметрами водорегулювання. Варіант повного затоплення шахти в моніторинговому режимі з розчисткою русла обґрунтований як екологічно прийнятний й економічно раціональний. (акт впровадження від 24.11.2020).

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні наукової проблеми, ідеї, мети і основних завдань досліджень. Автором адаптована методика моделювання геофільтрації до умов порушеного масиву шахтного поля, побудовані постійнодіючі математичні моделі, проведені багатоваріантні

ідентифікаційні та прогнози розрахунки, встановлені закономірності зміни параметрів проникності та ємності гірського масиву, виконані обстеження аварійної ділянки гірничих виробок та спеціальний гідрогеомоніторинг, обґрунтовані параметри водорегулювання для забезпечення гірничих робіт, відновлення локального водообміну та рівня підземних вод при закритті і затопленні шахти.

**Апробація результатів.** Основні положення та наукові результати роботи доповідалися на Українсько-польському форумі гірників (Дніпропетровськ, 2004); Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні проблеми техногенно-навантажених регіонів» (Дніпропетровськ, 2008); Міжнародній науково-практичній конференції «Школа підземної розробки» (Дніпропетровськ, 2008, 2009); міжнародному форумі студентів і молодих учених «Розширюючи обрії» (Дніпропетровськ, 2012); 2<sup>eme</sup> Seminaire International sur L'industrie Minerale et L'Environnement. (Annaba, Algeria, 2013); III науковій конференції «Гідрогеологія: наука, освіта, практика» (Харків, 2016); Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації» (Дніпро, 2017); II Міжнародній конференції «Тенденції та перспективи видобутку, використання вугілля в Україні та світі» (Дніпро, 2018); Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази» (Івано-Франківськ, 2018), E3S Web of Conferences 60 (Web of Sciences, 2018); III Міжнародній конференції «Вугільна промисловість в умовах декарбонізації» (Дніпро, 2019), Українському гірничому форумі (Дніпро, 2020)

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 41 науковій праці, з них: 5 монографій та розділів, 20 статей у фахових та закордонних виданнях, 5 з яких входять до наукометричних баз Scopus та Web of Sciences; 14 – у збірниках матеріалів всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференцій (1 – у наукометричній базі Web of Sciences); 2 – в інших наукових виданнях.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 230 найменувань на 29 сторінках і 2 додатків на 14 сторінках. Містить 268 сторінок машинописного тексту, 115 рисунків та 37 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 311 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами і темами; сформульована наукова проблема, визначені мета, ідея та задачі досліджень; представлені наукові положення, що захищаються, відзначена наукова новизна та практичне значення результатів, а також відомості про їх реалізацію, апробацію та публікації.

**В першому розділі** виконаний аналітичний огляд та систематизація даних щодо порушення гідрогеодинамічного режиму шахтних полів, методів його дослідження та способів управління.

Глибина, масштаби та інтенсивність техногенних перетворень гірського масиву при підземному видобуванні корисних копалин зумовили безперервний пошук провідними науковцями (Д.І. Щеголев, В.О. Мироненко, Ю.О. Норватов, В.Г. Руминін, В.М. Шестаков, А.М. Гальперін, І.О. Садовенко, В.Г. Пасічний, Д.В. Рудаков, Б.О. Блюсс, Н.О. Калугіна, І.Г. Лисиця, Г.П. Євграшкіна, Г.А. Кроїк, В.М. Шестопалов, Є.О. Яковлев, М.С. Огняник, П.М. Мартинюк, С.Ф. Власов, В.В. Круковська, М.С. Четверик, В. О. Дрібан та ін.) оптимальних шляхів та методів управління геофільтраційним станом породних масивів, ефективність яких залежить від ступеня досліджень про механізм та закономірності проявів гідродинамічних та геомеханічних процесів.

Техногенний режим підземних вод в зоні впливу гірничих робіт формується головним чином під дією шахтного водовідливу та геомеханічних зрушень породного масиву, тому розглядається в рамках єдиного гідрогеомеханічного підходу, де геомеханічні та геофільтраційні процеси взаємопов'язані та взаємообумовлені. Так, зрушення покрівлі гірничих виробок призводить до зміни параметрів проникності і ємності масиву, а підземні води, в свою чергу, змінюють напружений стан та міцність гірських порід, обумовлюють деформації внаслідок механічного виносу або розчинення часток.

Відомі дослідження водо- та газопроникності техногенно порушеної товщі шахтних полів присвячені головним чином визначенню фільтраційних параметрів гірського масиву на стадії активних зрушень і формування зон водопровідних тріщин. За різними даними вони відрізняються на декілька порядків і залежать від конкретних геолого-гідрогеологічних і технологічних умов, а питання трансформації фільтраційних і ємнісних характеристик відпрацьованих площ впродовж 40...60 років експлуатації вугільного родовища залишається не визначеним.

Методи аналогії, статистичні, балансові та аналітичні вирішують лише окремі питання прогнозування водопритоків до гірничих виробок та використовуються для попередньої оцінки недостатньо вивчених об'єктів, а також у простих гідрогеологічних умовах. Найбільш досконалим методом дослідження та прогнозування багатofакторних систем з багатьма невідомими є чисельний метод математичного моделювання геофільтрації. Його переваги полягають в можливості оцінки режиму підземних вод, ускладненого будь-яким комплексом природних і техногенних факторів. Однак використання математичного моделювання потребує обґрунтувань щодо схематизації та ідентифікації складної природно-техногенної системи, адаптації методики та програмних алгоритмів до умов порушеного породного масиву.

Методи та технології водорегулювання в межах шахтних полів мають підвищувати ефективність та безпеку ведення і згорання гірничих робіт, а також відновлення зон водообміну порушеної гідросфери. Побудова та

використання постійнодіючих математичних моделей шахтних полів дозволить оперативно реагувати на швидку зміну гідрогеодинамічної ситуації з урахуванням можливості формування аварійних водопритоків та вирішувати інженерні задачі з оптимізації заходів водорегулювання на основі техніко-економічних критеріїв і екологічних обмежень.

З урахуванням зроблених узагальнень та висновків сформульована мета, ідея та задачі дисертаційних досліджень.

**Другий розділ** присвячений обґрунтуванню науково-методичних підходів адаптації алгоритмів і програмних моделей геофільтрації до умов техногенно порушеного породного масиву з використанням необхідної послідовності побудови моделей шахтних полів та прийомів ідентифікації.

Чисельне моделювання передбачає сіткову розбивку області фільтрації і базується на скінченно-різницевому методі рішення диференціальних рівнянь, коли частинні похідні замінюються кінцевими приростами, а диференціальне рівняння зводиться до системи алгебраїчних рівнянь. При шаруватій системі водоносних горизонтів процес нестационарної фільтрації підземних вод описується системою диференціальних рівнянь типу:

$$\mu^* \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial H}{\partial y} \right) \pm q_n, \quad (1)$$

де  $\mu^*$  – коефіцієнт пружної водовіддачі,  $T=km$  – водопровідність ( $k$  – коефіцієнт фільтрації,  $m$  – потужність водоносного горизонту,  $H$  – відмітка напору підземних вод,  $t$  – час,  $q_n$  – перетікання між горизонтами.

Однозначність рішення (1) досягається завданням крайових умов, для яких встановлюється просторове положення і форма (точка, контур, площина), гідродинамічний рід умови та її кількісні характеристики.

Граничними умовами *I* роду ( $H=const$ ) відображають положення гідро- та п'єзоізогіпс, а також поверхневі водотоки та водойми, що гідравлічно пов'язані з підземними водами і є гідродинамічно досконалыми. У випадку недосконалості застосовується параметр додаткового фільтраційного опору днища водойми або русла річки і тоді має місце гранична умова *III* роду  $Q=f(H)$ , де  $Q$  – витрата перетікання.

Гірничі виробки шахти апроксимуються гідродинамічною умовою *I* роду з абсолютною позначкою рівня підземних вод продуктивної товщі на підшві продуктивного пласта, що відпрацьовується, або горизонту гірничих робіт.

Граничні умови *II-го* роду відображають залежність витрат ( $Q$ ) від координат і часу. При  $Q=0$  межа є водонепроникною і в умовах шахтних полів характеризує зони тектонічних порушень, що є технічними границями шахтного поля або його блоків. Крім того водозабірні або поглинальні свердловини та джерела відображаються також величиною витрат ( $Q=const$ ).

При створенні фізико-математичних геофільтраційних моделей порушеного гірського масиву шахтних полів використаний детерміністський

підхід, що відповідає механіці суцільних середовищ, з врахуванням імовірнісних властивостей та параметрів гірських порід.

Розроблена концептуальна геофільтраційна схема моделі є певним набором правил для створення постійно діючих математичних моделей шахтних полів і рішення прогнозних задач на етапі ведення і згортання гірничих робіт (рис. 1).

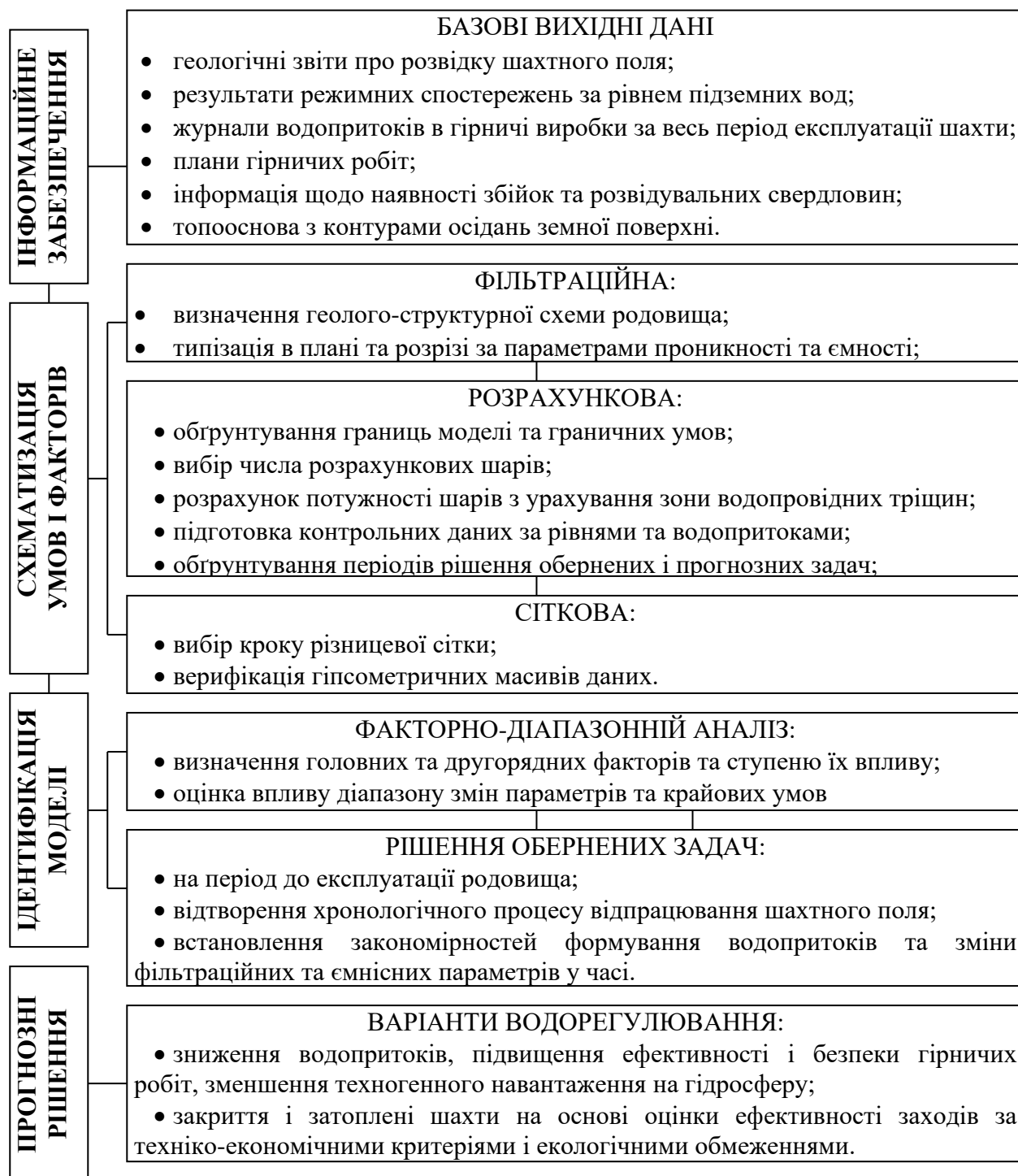
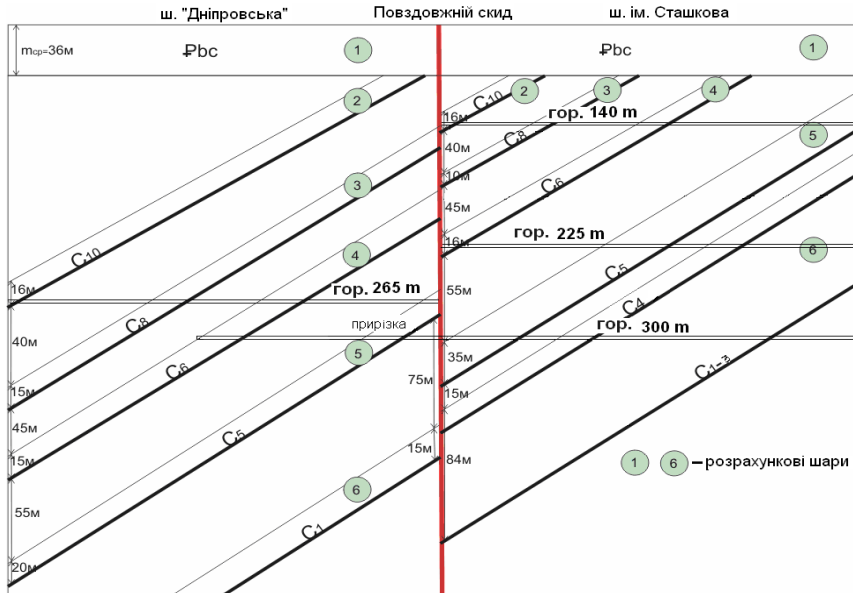


Рис. 1 Концептуальна схема побудови та використання постійно діючої геофільтраційної моделі шахтного поля

Методика створення геофільтраційної моделі шахтного поля відпрацьована на прикладі найбільш водозбагаченої в Україні шахти

ім. М.І. Сташкова з метою використання її як постійно діючої для рішення задач управління геофільтрацією на етапах експлуатації і закриття шахти.

Комплексна постановка задачі визначила необхідність дослідження та схематизації умов двох суміжних шахт, поля яких гідродинамічно пов'язані через водоносний комплекс покривних відкладів та гірничі виробки в зоні



тектонічного порушення (рис. 2). 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°, що відпрацьовуються, і породи зони водопровідних тріщин

Рис. 2 Схема моделі в розрізі

У плані модель являє собою площу, що обмежена граничними умовами, розміром 16,6 × 14 км, має 80 × 70 блоків, де на півночі розташоване поле шахти «Дніпровська», а на півдні – поле шахти ім. М.І. Сташкова (рис. 3).

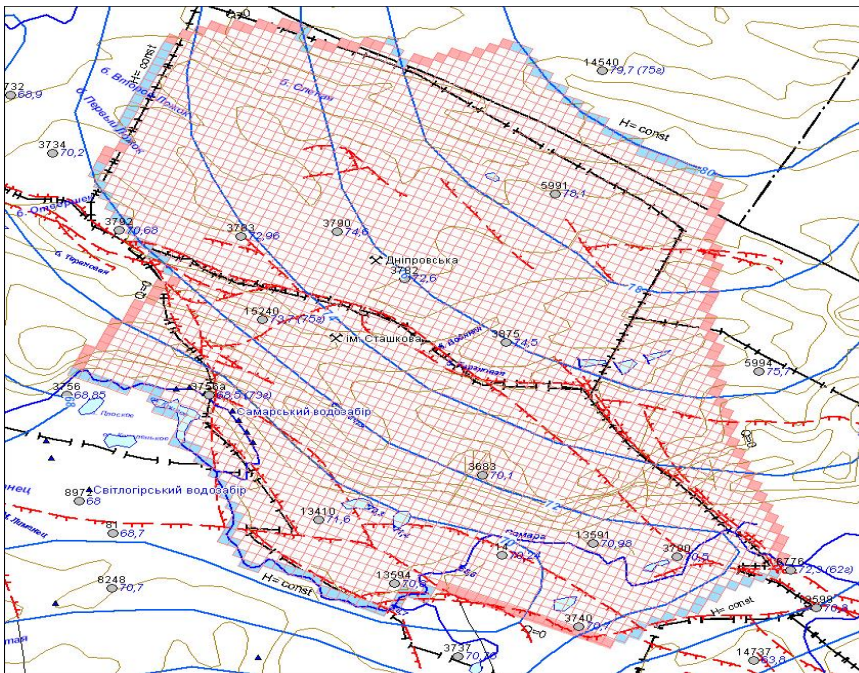


Рис. 3 Сіткова апроксимація моделі в плані з положенням гідроізогіпс бучацького водоносного горизонту на доексплуатаційний період

Ідентифікація моделі виконана рішенням обернених задач в природній і порушеній гірничими роботами гідрогеодинамічній обстановці. Особливістю ідентифікації моделі є відтворення хронології відпрацювання вугільних пластів за періодами з характерною динамікою притоку води в шахту (табл. 1).

Достовірність моделі і об'єкту досліджень підтверджена нев'язкою водного балансу 0,003%, збіжністю водопритоків за шахто-пластами з відхиленням 5...12,5% і співпадінням положення рівня підземних вод на моделі і за даними режимних спостережень.

Таблиця 1

## Контрольні дані для рішення ідентифікаційних задач

Вугільні пласти (розрахункові шари)	Водоприток на кінець періоду, м <sup>3</sup> /год									
	ш. «Дніпровська»					ш. ім. М.І. Сташкова				
	I 1971 1982	II 1982 1994	III 1994 2006	IV 2006 2014	V 2015 2019	I 1971 1982	II 1982 1994	III 1994 2006	IV 2006 2014	V 2015 2019
C <sub>10</sub> (2)	110	144	208	253	234	-	122	302	123	35
C <sub>8</sub> (3)	20	124	84	85	59	-	455	115	80	112
C <sub>6</sub> (4)	-	-	-	-	-	-	163	125	47	132
C <sub>5</sub> (5)	-	-	-	-	-	-	649	556	545	655
C <sub>1</sub> -C <sub>1-4</sub> (6)	-	-	-	-	-	-	386	387	315	207
Загальношахтний водоприток	144	281	320	345	293	-	1788	1510	1110	1141
Зниження рівня у покривних відкладах, м	7	Центр воронки депресії приурочений до поля шахти ім. М.І.Сташкова				-	27	32	20	19

За результатами рішення ідентифікаційних задач встановлені фактори формування аномально високих водопритоків на ш. ім. М.І. Сташкова та закономірності зміни параметрів проникності відпрацьованого масиву в часі.

При природній водопровідності вугільних пластів 0,5...1,5 м<sup>2</sup>/доб досягнення фактичних величин водопритоків можливе за наявності транзитних зон підвищеної проникності. На полі шахти вони обумовлені товщами пісковиків потужністю до 60 м і водопровідністю до 30 м<sup>2</sup>/доб, які залягають в покрівлі вугільних пластів і мають вихід під обводнені покривні відкладення.

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 течій біля р. Самари. Максимальне залучення річкового стоку р. Самари в шахтний водовідлив зафіксовано при відпрацюванні вугільного пласта C<sub>5</sub> близько 200 м від русла. За цих умов водоприток по пласту на 69% обумовлений перетіканням річкових вод, а при віддаленні фронту гірничих робіт від зони виходу вугільного пласта і зменшенні потужності підруслівих пісковиків цей показник зменшується до 17%.

Величина притоку води в шахту не корелює зі збільшенням площі гірничих робіт, що свідчить про зміну параметрів проникності відпрацьованих площ (рис. 4). Встановити подібні трансформації для конкретних гірничо-геологічних умов стало можливим шляхом вирішення тривалого (15-20 років)



часового ряду нестационарних ідентифікаційних задач, що є обов'язковим етапом в методиці створення адекватних моделей шахтних полів.

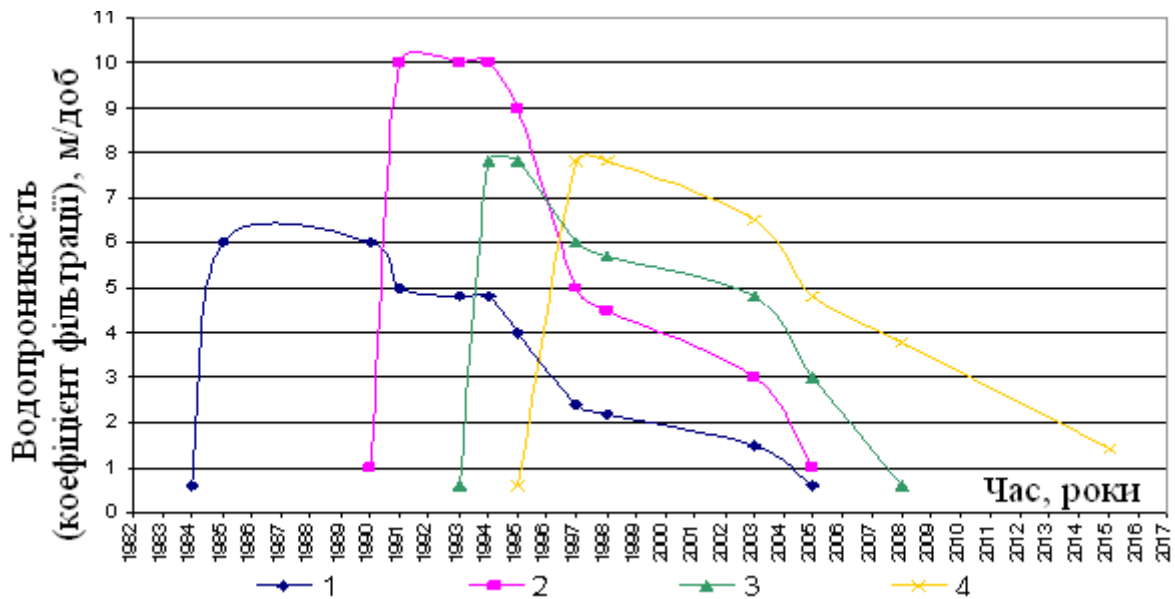


Рис. 4 Трансформація фільтраційних властивостей порушеного гірського масиву в часі на площах (1-4), відпрацьованих в різні періоди

Встановлені в результаті ідентифікації моделі закономірності формування зон підвищеної водопроникності та трансформації в часі параметрів фільтрації є основою для обґрунтування технічних рішень з управління водопритоками на етапі експлуатації та гідродинамічним режимом підземних вод при закритті і затопленні шахти (розділ 6).

У **третьому розділі** вирішена задача щодо використання закономірностей геофільтраційних та геомеханічних змін для забезпечення гірничих робіт в комплексі з екологічними завданнями на поверхні.

При створенні постійно діючих моделей шахтних полів, гідродинамічна зона впливу яких сягає десятки кілометрів, методичний прийом фрагментації в сенсі використання різномасштабних моделей «вкладок» дозволяє деталізувати окремі ділянки техногенного навантаження.

Завдання підвищення техніко-економічної ефективності роботи ш. «Самарська» і безпеки гірничих робіт на моделі вирішуються в комплексі з екологічною складовою, яка характеризується порушенням гідродинамічного та гідрохімічного режиму приповерхневих водоносних горизонтів.

На моделі шахтного поля відтворені всі фактори впливу на геофільтраційні течії з похибкою 0,4–5,0%, окремо деталізована картина формування гідродинамічного та гідрохімічного режиму підземних вод, що використовуються для водопостачання. Встановлено, що коливання рівня підземних вод в межах селища Богданівка не відрізняється від природних сезонних коливань. Дренажний вплив шахтного водовідливу нівелюється фільтраційними втратами зі ставка-накопичувача шахтних вод в б. Таранова (рис. 5). Проте зафіксоване підвищення мінералізації підземних вод пов'язане зі



зростанням відміток рівня води в ставку та розтіканням куполу засолення, що корелює з підвищенням мінералізації води в ставку-накопичувачі до  $25 \text{ г/дм}^3$ .

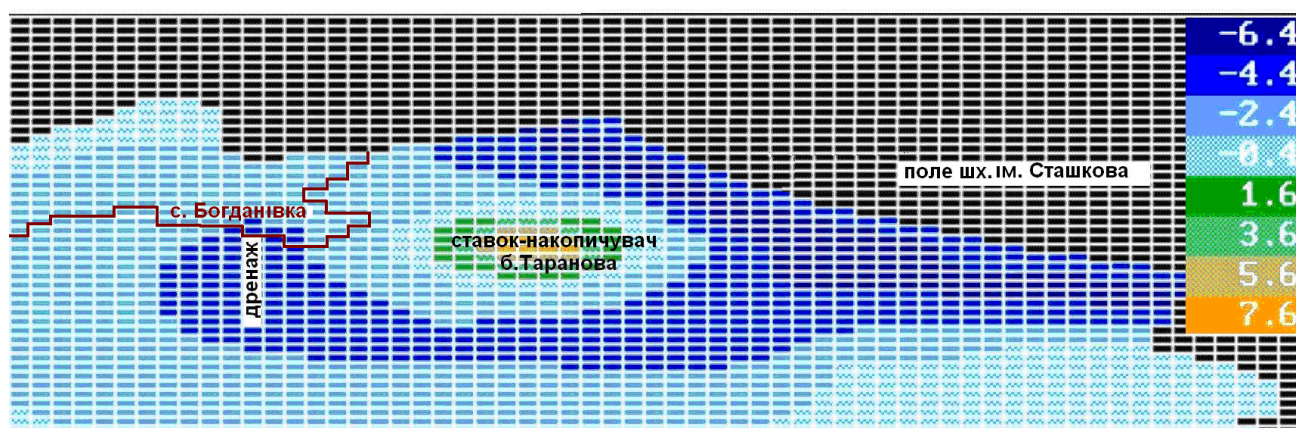


Рис. 5 Техногенні зміни рівня підземних вод верхнього водоносного горизонту на полі ш. «Самарська» («+» та «-» – підвищення та зниження, м)

Опріснення підземних вод відбувається при збільшенні об'ємів скиду в ставок від  $6,74 \text{ млн. м}^3$  до  $15,51 \text{ млн. м}^3$  шахтних вод з меншою мінералізацією. Тобто, підвищення відміток рівня води в ставку-накопичувачі безпечно за умов розбавлення шахтних вод до солемісту  $6,4 \text{ г/дм}^3$ .

Питання безпеки ведення гірничих робіт в зоні тектонічного порушення обумовлене відсутністю досвіду перетину в Західному Донбасі розривних тектонічних порушень з амплітудою зміщення понад 300 м. Систематизація результатів дослідно-фільтраційних випробувань порушених зон і прогнозування поведінки масиву гірських порід методом математичного моделювання геофільтрації та напружено-деформованого стану дозволили оцінити та мінімізувати гідро- та геодинамічні ризики.

Фрагментація ділянки зони тектонічного порушення (ЗТП) виконана з метою встановлення параметрів її проникності та ємності шляхом рішення епігнозних задач з відтворення водозниження та відновлення рівня підземних вод у висячому та лежачому крилах скиду. Зафіксована динаміка відповідає пружному режиму фільтрації з низькими параметрами ємності і проникності, що характерні для водотривких порід (табл. 2).

Таблиця 2

Гідродинамічні параметри ЗТП за результатами рішенням обернених задач

Дебіт, $\text{м}^3/\text{доб}$	Час, діб	Зниження рівня, м		Коефіцієнт фільтрації, м/доб		Коефіцієнт водовіддачі		Коефіцієнт перетоку, $\text{м}^{-1}$	
		Факт	Модель	ЗТП	Масив	ЗТП	Масив	ЗТП	Масив
<i>пласт С<sub>6</sub></i>									
2,66	3	92,1	93,0	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-7}$	$10^{-5}$
<i>пласт С<sub>1</sub></i>									
0,086	4	128	124	$10^{-6}$	$10^{-2}$	$10^{-7}$	$10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-8}$	$10^{-5}$

В таких умовах швидкість розповсюдження збурень на кілька порядків вище швидкості реакції безнапірних пластів і режим фільтрації швидко переходить в стаціонарний.

Рівні підземних вод реагують на проходку виробок в ЗТП зниженням напорів до 165 м, при цьому протягом трьох діб встановлюється стаціонарний режим фільтрації. Такий характер зниження рівня в дрени (виробці) пояснюється сполученням зон з проникністю і ємністю, що відрізняється на декілька порядків.

Прогнозні величини водопритоків в капітальні виробки ЗТП складають 0,08– 0,25 м<sup>3</sup>/год з водопроявленнями у вигляді зволоження стінок виробки та рідкого капежу. За песимістичних припущень, що ЗТП має гідравлічний зв'язок з обводненими палеорусловими пісковиками, водоприток у виробки за рахунок їх ємнісних запасів збільшується до 4 м<sup>3</sup>/год, а у випадку контакту з бучацьким водоносним горизонтом – до 17-23 м<sup>3</sup>/год.

Для попередньої оцінки напружено-деформованого стану зони перетину скиду побудована чисельна геомеханічна модель (рис. 6), де визначені величини напружень, деформацій та переміщень, що склали при наближенні лінії забою до ЗТП (8,3 см), безпосередньо в зоні порушення (9,7 см) і віддаленні (10,2 см), та в умовах зниження міцності порушеної зони при формуванні водопритоків за найгіршим сценарієм (13,1 см)

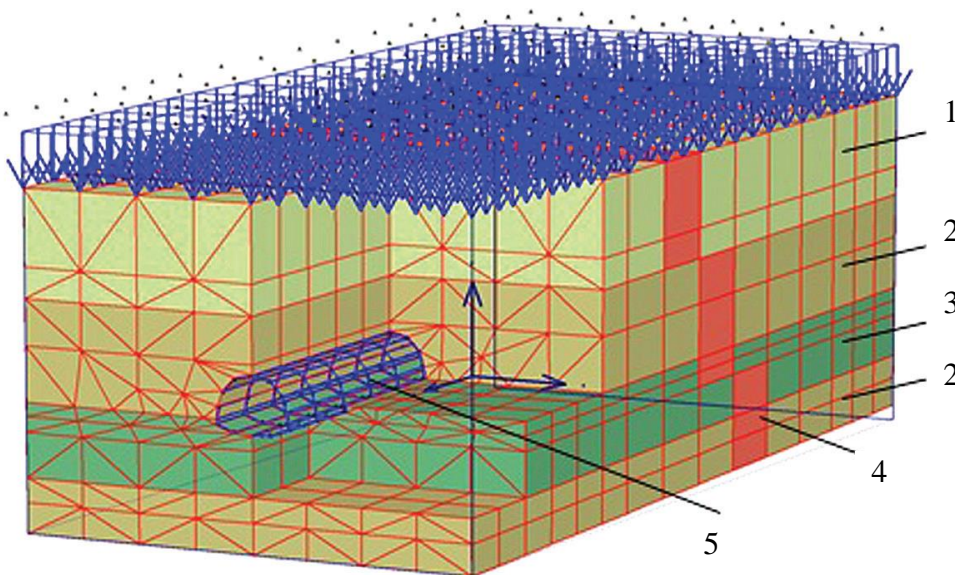


Рис. 6 Структура моделі:

- 1 – пісковики;
- 2 – алевроліти;
- 3 – аргіліт;
- 4 – тектонічне порушення;
- 5 – контур виробки.

Найбільший вплив на стан виробки проявляється при віддаленні від ЗТП, що пояснюється зміщенням зони опорного тиску попереду забою на відстань понад 10 м і формуванням над закріпленим контуром виробки зони розвантаження в інтервалі, відповідному положенню зони зміщувача.

Гідродинамічна та геомеханічна моделі є складовими гідрогеомеханічного моніторингу (рис. 7), які в режимі реального часу доповнюються фактичними параметрами з можливістю оперативного коригування прогнозів.

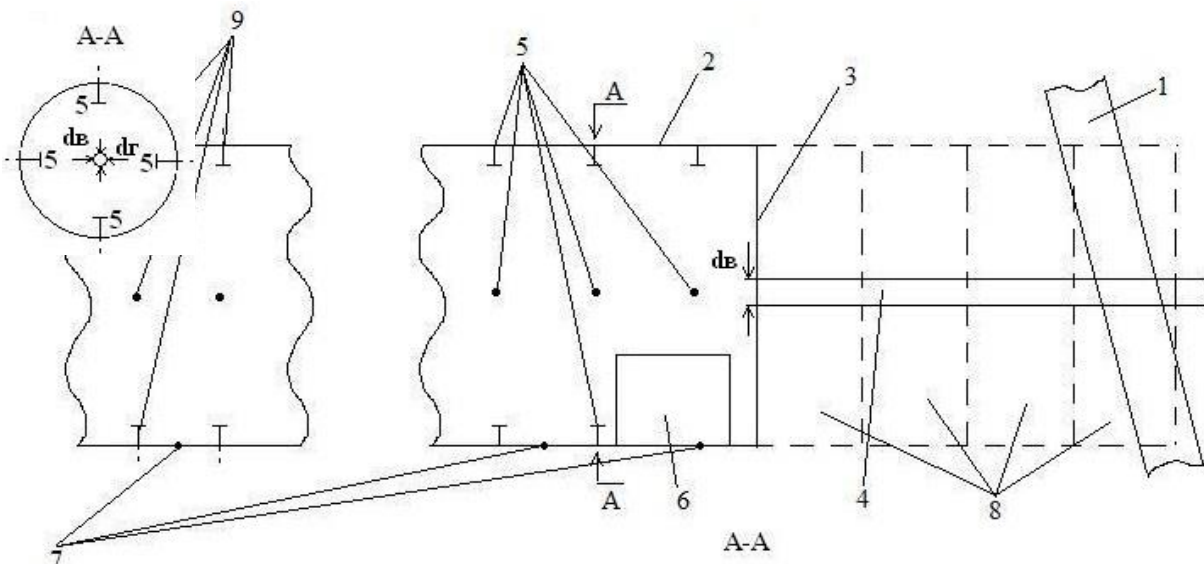


Рис. 7 Схема моніторингу: 1 – скид, 2 – контур виробки, 3 – площина забою, 4 – свердловина-лідер з вертикальним та горизонтальним діаметром  $d_v$ ,  $d_r$ , відповідно; 5 – репери; 6 – комбайн; 7 – інтервали калібрування моделі (рішення обернених задач); 8 – інтервали прогнозування стійкості виробки та оцінки параметрів кріплення; 9 – фонові реперні створи

При реалізації спеціального проекту проведення капітальних гірничих виробок в небезпечній зоні Богданівського скиду підтверджена достовірність прогнозних рішень щодо оцінки величин водопритоків на 95%. Організація та проведення гідрогеомоніторингу перетину ЗТП дозволило в режимі контролю та управління пройти гірничі виробки з мінімальними фінансовими витратами.

З використанням представлених результатів дослідних робіт на шахті «Самарська» збільшений об'єм промислових вугільних запасів на 40 млн. тон та термін її експлуатації на 15 років.

**У четвертому розділі** гідрогеомеханічна безпека ведення гірничих робіт в зоні впливу затоплених виробок та аварійної дегазаційної свердловини оцінена на методичних засадах сполучення моделі нестационарної фільтрації в скінчених різницях і кінцево-елементної гідрогеомеханічної моделі дискретного середовища. Наведені аналітичні обґрунтування гідродинамічної безпеки керованого затоплення окремих ділянок шахтних полів.

Для обґрунтування оптимальних параметрів цілика біля затоплених виробок, що визначають безпеку ведення гірничих робіт та повноту виймання корисної копалини, враховані зміни фільтраційно-ємнісних і геомеханічних властивостей гірського масиву.

Розрахункова схема геофільтраційної моделі ділянки поля шахти «Добропільська» відображає особливості формування водного балансу в умовах відпрацювання зближених вугільних пластів  $l_3$  та  $l_2$  в зоні впливу затоплених виробок (рис. 8).



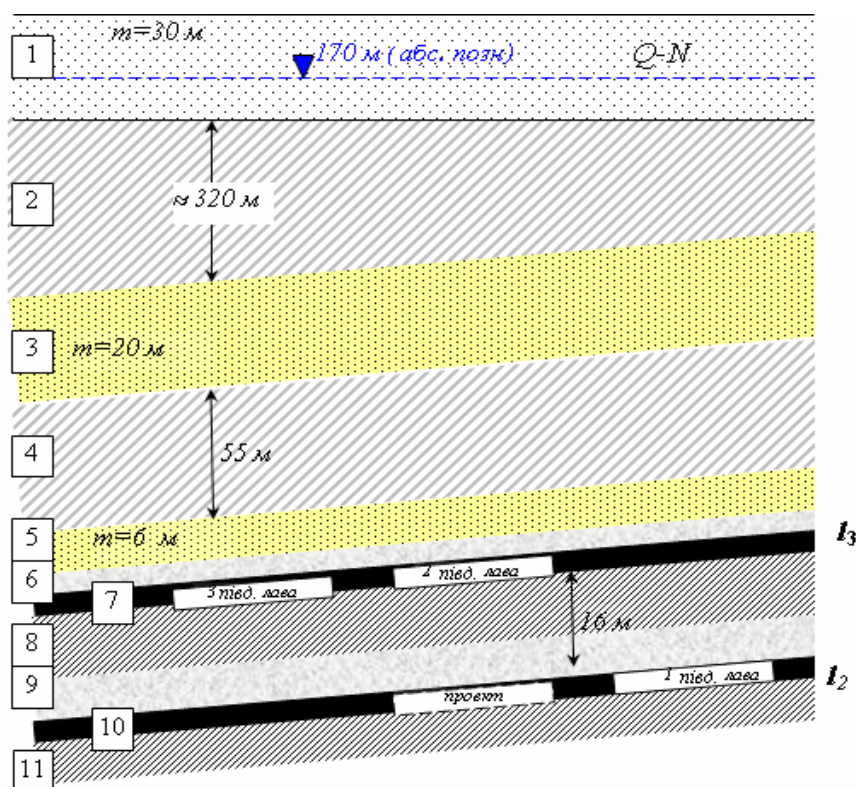
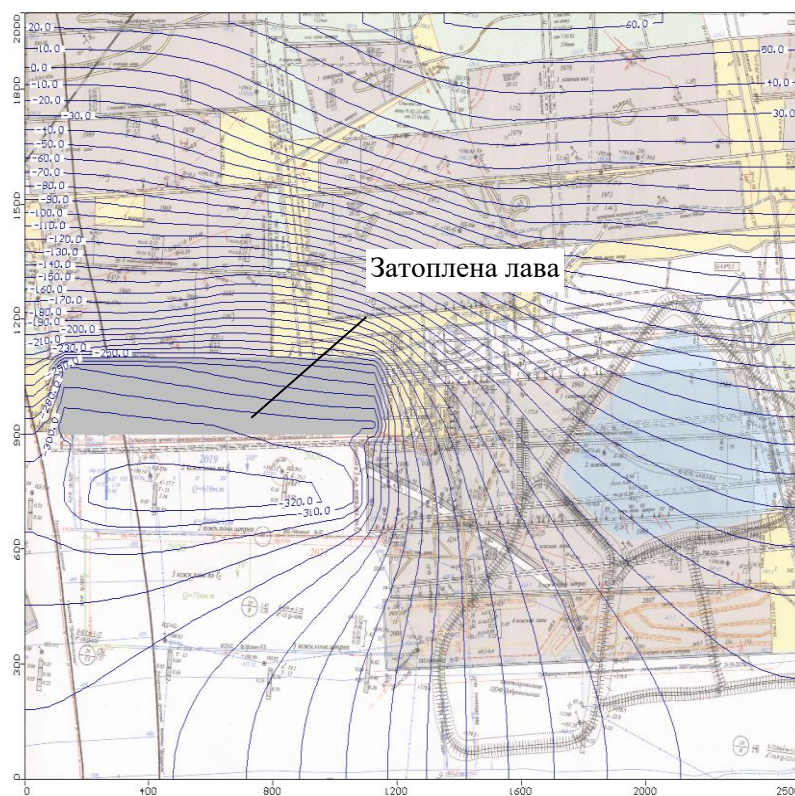


Рис. 8 Схематичний розріз моделі:

- 1 – водоносні покривні відкладення;
- 2 – усереднена товща з перешаруванням аргілітів і алевролітів, пісковиків, вапняків, вугілля;
- 5 – водоносні пісковики;
- 4, 6, 8, 9, 11 – слабопроникна аргіліт-алевролітова товща;
- 7, 10 – водопроникні вугільні пласти;

Відтворення на моделі фактичної ситуації формування водопритоків стало можливим за параметрів порушеного масиву, що близькі до природних значень водопровідності  $km=0,08...0,1$  м<sup>2</sup>/доб, гравітаційної ємності  $\mu = 0,3$  і пружної водовіддачі  $\mu^* = 10^{-5}$ . Це пояснюється їх гравітаційним ущільненням впродовж 25...29 років. Відпрацьовані площі зберігають дренальний вплив, а в межах затопленої зони формуються напори до 13 м (рис. 9).



Формування прогнозних водопритоків за наявності бар'єрного цілика відбувається переважно за рахунок ємнісних запасів в покрівлі вугільного пласта і частково (від 8 до 17%) – притоку через бар'єрний цілик. Відповідно, притоки води змінюються від 2,8 до 11,2 м<sup>3</sup>/год при наявності бар'єрного цілика і за його відсутності складають 3,72...14,07 м<sup>3</sup>/год.

Рис. 9 Карта гідродинамічних напорів в абсолютних відмітках (м)



Напружено-деформований стан порід бар'єрного цілика біля затоплених виробок залежить від його розмірів, властивостей породного масиву і визначає його фільтраційну проникність, а, відповідно, і величини водопритоків. Тому комплексне рішення задачі з оцінки його гідрогеомеханічного стану при експлуатації в умовах поза межних деформацій виконано на профільній моделі, де використані результати геофільтраційних рішень з формування поля напорів.

Прогнозне моделювання виконано для умов відпрацювання лави з шириною цілика від 40 до 5 м. Розвиток зон поза межного деформування і пов'язане з ним збільшення проникності бар'єрного цілика відбувається при ширині менше 20,0 м (рис. 10).

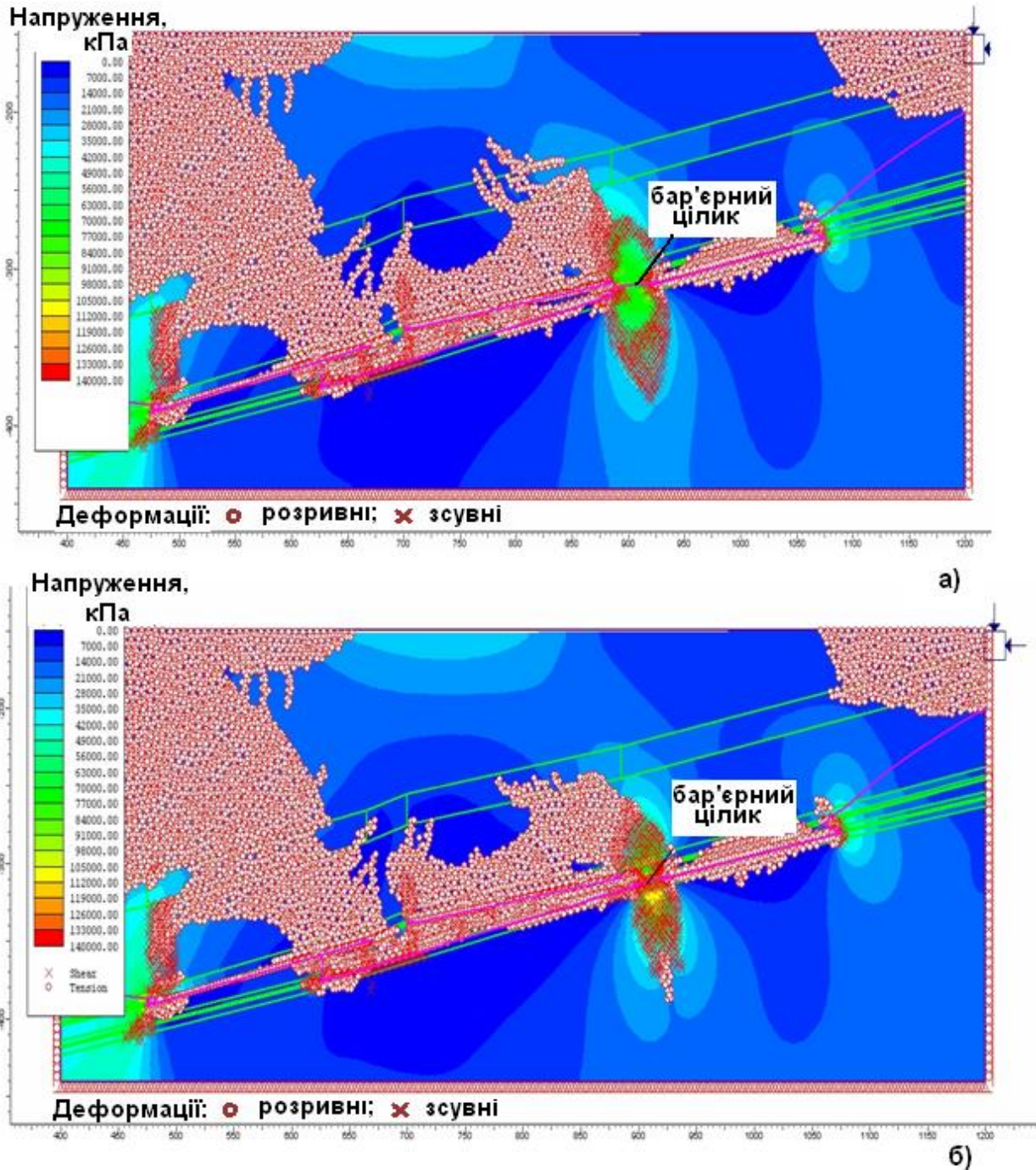


Рис. 10. Формування зон поза межного деформування вуглепородної товщі при ширині бар'єрного цілика 20 (а) і 5 (б) метрів

Вплив зон позамежного деформування на процеси фільтрації через бар'єрний цілик в чисельній моделі оцінено шляхом збільшення фільтраційної проникності вугільного пласта до десяти разів в порівнянні з проникністю в природному заляганні. Необхідно відзначити, що при максимальній проникності бар'єрного цілика і зменшенні його ширини (рис. 11), не відзначається істотного приросту водопритоків.

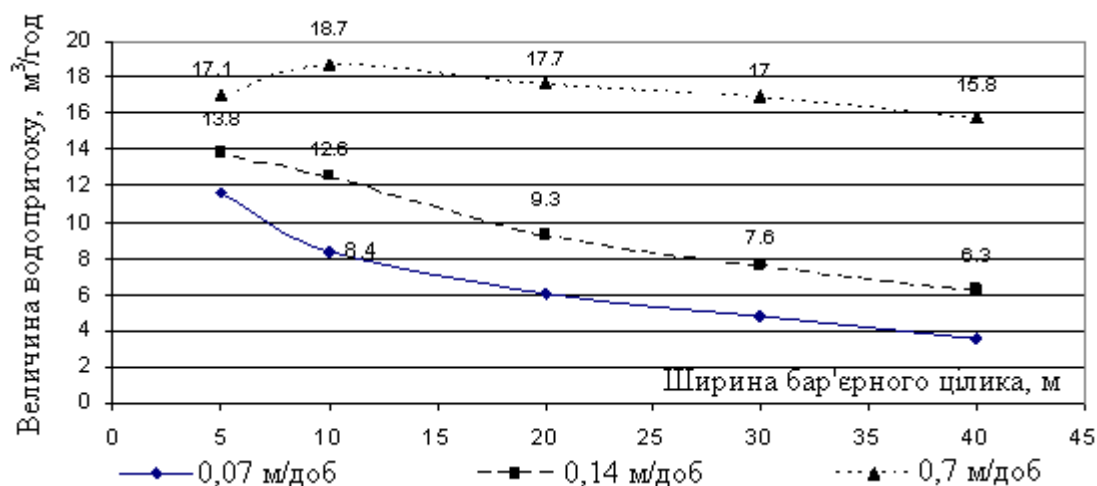


Рис. 11 Формування прогнозних водопритоків при різній ширині і проникності бар'єрного цілика

Аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану показує, що зона найбільшого тріщинного розпушення розташована в породному міжпласті в зоні сполучення виробок. Ці ризики можна зменшити шляхом підготовки і відпрацювання діагональних лав з нормативним ухилом для водовідведення.

Для оцінки напружено-деформованого стану породного масиву захисного цілика навколо аварійної свердловини створена об'ємна чисельна геомеханічна модель, реалізована на базі методу скінчених елементів в пружно-пластичній постановці. Прогнозні рішення отримані для двох часових періодів, де першому відповідали контури лав шахт «Ювілейна» та «Степова» в положенні 2 і 3, а другому – контур 4 (рис. 12).

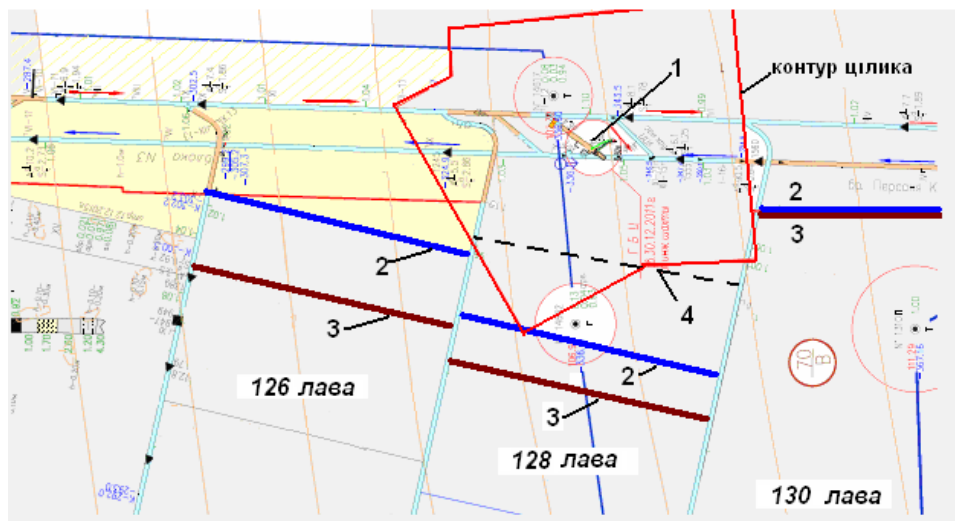


Рис. 12 Фрагмент плану гірничих робіт:

- 1 – дегазаційна свердловина,
- 2 – нормативний контур цілика,
- 3 – проектні лінії зупинки лав,
- 4 – межа доцільної зупинки лави

Об'ємний напружено-деформований стан породного масиву на ділянці цілика визначався величинами переміщень, деформацій і напружень в породному масиві і в площині контакту «бучак-карбон» при наближенні лінії забою лав 126, 128, 130 ш. «Ювілейна» і 175 лави ш. «Степова» до цілика. Значення параметрів, що характеризують стан породного масиву, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Параметри напружено-деформованого стану цілика в зоні впливу очисних виробок (екстремальні значення)

Параметри	Варіант 1 (контур 2)	Варіант 2 (контур 3)	Контур 3 в умовах відпрацювання лави ш. «Степова»
Значення параметрів в породному масиві цілика			
Повні напруження, $\kappa\Pi a$	$-43,41 \cdot 10^3$	$-38,15 \cdot 10^3$	$-45,67 \cdot 10^3$
Горизонтальні напруження ( $X$ , $\kappa\Pi a$ )	$-26,00 \cdot 10^3$	$-26,90 \cdot 10^3$	$-28,46 \cdot 10^3$
Вертикальні напруження ( $Y$ , $\kappa\Pi a$ )	$-71,37 \cdot 10^3$	$-64,22 \cdot 10^3$	$-86,70 \cdot 10^3$
Горизонтальні напруження ( $Z$ , $\kappa\Pi a$ )	$-32,88 \cdot 10^3$	$-33,80 \cdot 10^3$	$-33,56 \cdot 10^3$
Горизонтальні деформації ( $X$ , %)	$-88,49 \cdot 10^{-3}$	$-193,09 \cdot 10^{-3}$	$-193,24 \cdot 10^{-3}$
Горизонтальні деформації ( $Z$ , %)	$-306,23 \cdot 10^{-3}$	$1330 \cdot 10^{-3}$	$7470 \cdot 10^{-3}$
Значення параметрів в площині контакту бучак-карбон			
Переміщення, м	$6,21 \cdot 10^{-3}$	$18,60 \cdot 10^{-3}$	$19,97 \cdot 10^{-3}$
Відносні зсувні напруження, дол. од.	$35,67 \cdot 10^{-3}$	$104,82 \cdot 10^{-3}$	$104,84 \cdot 10^{-3}$
Переміщення на контурі свердловини, м	$1,77 \cdot 10^{-3}$	$6,66 \cdot 10^{-3}$	$16,48 \cdot 10^{-3}$
Зсувні напруження на контурі свердловини, $\kappa\Pi a$	-4,05	-9,20	-12,76
Зсувні напруження на контурі свердловини ( $Z$ , $\kappa\Pi a$ )	-4,88	-24,26	-65,69
Відносні зсувні напруження на контурі свердловини, дол. од.	$5,85 \cdot 10^{-3}$	$32,23 \cdot 10^{-3}$	$81,72 \cdot 10^{-3}$

При наближенні лав ш. «Ювілейна» до дегазаційної свердловини в інтервалі від положення контуру (3) до скоригованого (2) відбувається очікуване зростання деформацій з переважанням деформацій розтягування в напрямку осі лава-цілик ( $Z$ ) і з концентрацією їх максимумів в площині контакту «бучак-карбон». Величини переміщень точок на контурі аварійної свердловини в площині контакту «бучак-карбон» зростають від 1,77 мм (варіант 1) до 6,66 мм (варіант 2). У разі відпрацювання 175 лави шахти «Степова» переміщення на цьому контурі сягають величини 16,48 мм (табл. 4), проте це в 5-10 разів менше, спровокованих аварією.

Другий розрахунковий період характеризувався веденням очисних робіт на контурі 4 в умовах збільшення деформацій повзучості на 10% і 20%. Для всіх розглянутих варіантів характерним є відсутність перевищення досягнутих рівнів деформацій критичній величині 0,005, як на контурі аварійної свердловини в площині контакту «бучак-карбон», так і в цілому в межах захисного цілика. В умовах зрушення породної покрівлі це свідчить про

збереження цілісності порід на контакті «бучак-карбон», а також тампонажного матеріалу в затрубному просторі аварійної свердловини.

Отримані результати досліджень враховані при складанні програми ведення гірничих робіт та в умовах аварійної ситуації забезпечило повноту виймання запасів вугілля з попередженням їх втрат в кількості 32 тис. тон та економічним ефектом в розмірі 65 млн. грн.

**П'ятий розділ** присвячений обґрунтуванню можливості регулювання та відновлення екологічно прийняттого водного балансу в породному масиві з використанням ємнісного поглинального ресурсу водонасичених шарів.

Придатність використання водоносного горизонту як пласта-колектора залежить від регіональних та локальних умов та факторів, до числа яких відносять: граничні умови, що визначають розміри в плані та розрізі; ємнісні властивості, які обумовлюють можливість поглинання певного об'єму рідини; фільтраційні властивості, від яких залежить прийомистість свердловини; сумісність фізико-хімічних властивостей рідини та підземних вод; фізико-хімічні та фільтраційні властивості водотривких відкладів, які обмежують водоносний горизонт.

Як пласт-колектор досліджений водоносний горизонт у відкладах пісковиків потужністю 25 м, що залягає на глибині 235 м і перекритий зверху більш ніж стометровою піщано-глинистою товщею.

Ідентифікація моделі та рішення обернених задач виконані за результатами масштабного промислового експерименту, що включав кустові відкачки та відновлення рівня підземних вод. При обґрунтуванні можливості нагнітання вирішена задача оцінки приймальної здатності свердловин. Величина дебіту поглинання визначається проникністю водоносного пласта і особливостями формування проникності присвердловинної зони. При дебіті нагнітання від 5 до 612 м<sup>3</sup>/доб і тиску 0,3...17,37 атм. питома приймальна здатність свердловини склала близько 40 м<sup>3</sup>/доб (рис. 13).

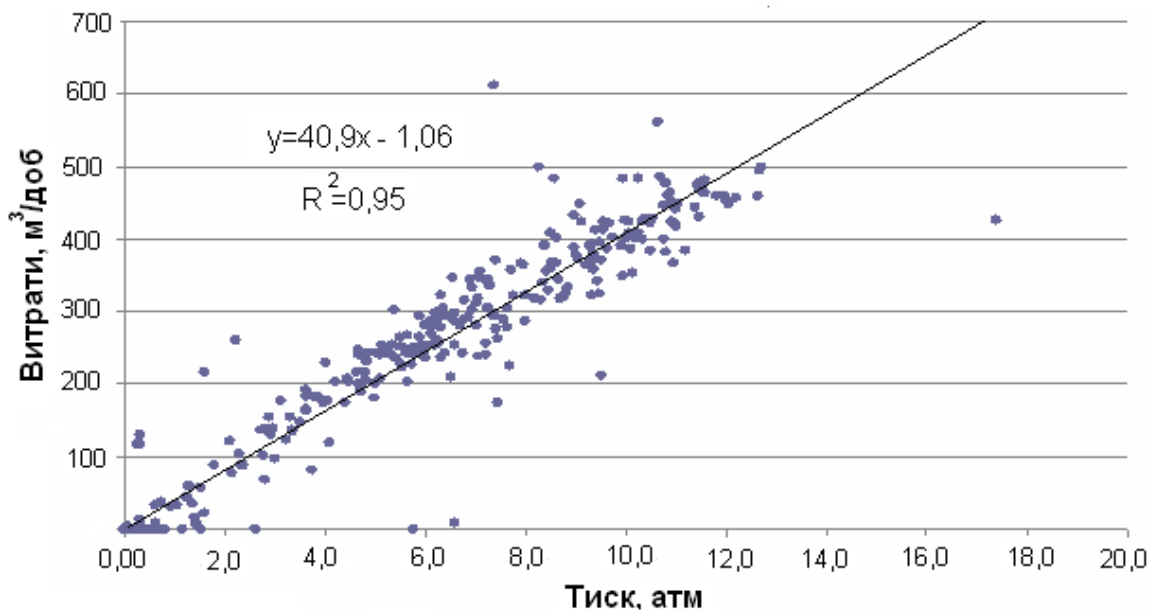


Рис. 13 Графік залежності витрат від тиску нагнітання



Для відтворення на моделі динаміки рівня підземних вод при нагнітанні процес розподілений на періоди, кожен з яких містить режим нагнітання-релаксації (рис. 14).

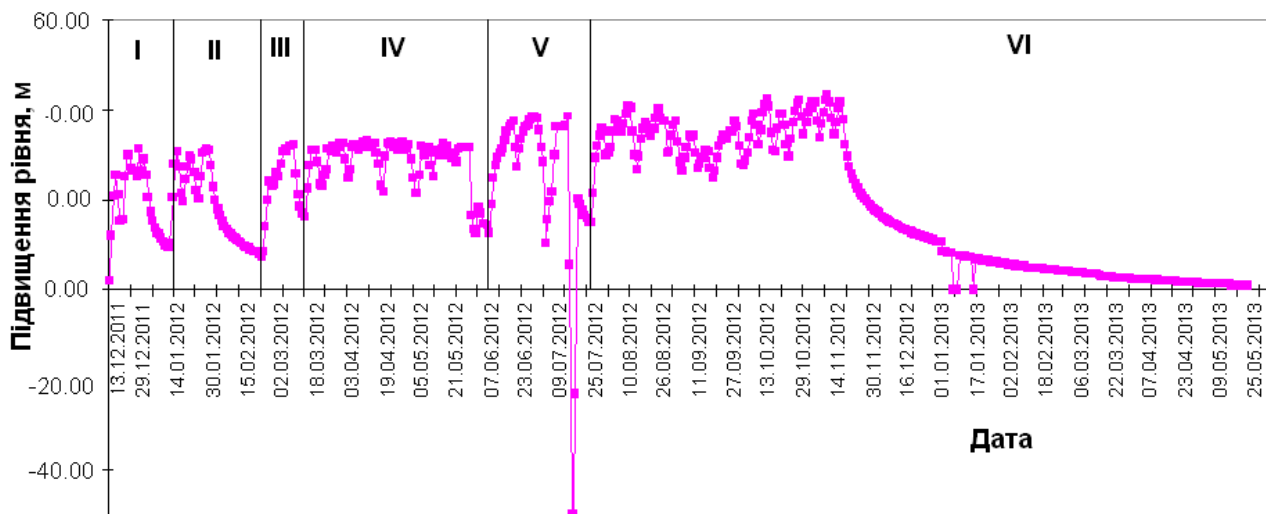


Рис. 14 Динаміка рівня підземних вод при нагнітанні (I-VI розрахункові періоди)

Для встановлення фільтраційних та ємнісних параметрів пласта-колектора та їх змін на моделі відтворений процес закачування-релаксації з щодобовою зміною дебіту (рис. 15). Модельне і фактичне положення рівнів конгруентні, проте нев'язка складає близько 1,1 м, що пояснюється інерційністю масиву порід та нестационарністю процесу.

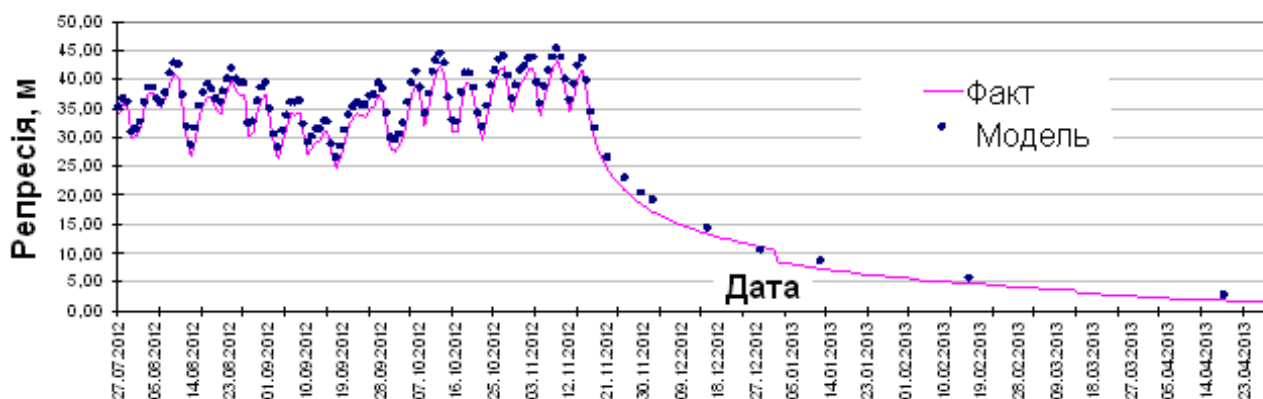


Рис. 15 Зміни репресії в часі за фактичними даними та на моделі

Параметри пласта-колектора, отримані на моделі при рішенні обернених задач в режимі відкачки та нагнітання, відрізняються, що обумовлено досягненням ефекту гідророзриву. Проте останні є найбільш обґрунтованими за багатоваріантними ідентифікаційними рішеннями і прийняті для прогностичних задач: коефіцієнт фільтрації – 0,1 м/доб, а в присвердловинній зоні – 3 м/доб; коефіцієнт нестачі водонасичення: пружного –  $9,8 \cdot 10^{-5}$ , гравітаційного – 0,2. Ефект вертикального гідророзриву збільшує фільтраційні параметри пісковиків

в радіусі 50 м і пружну ємність на порядок, що підтверджується аналітичними оцінками.

Критерії тріщиноутворення при гідророзриві гірської породи сформовані на енергетичній теорії і положеннях про рух берегів тріщин при рівновазі сил, які розкривають або утримують тріщину від поширення.

За експериментальними даними з гідророзриву порід відоме співвідношення

$$1 - g/P = (1 - a^2)^{1/2}, \quad (2)$$

де  $g$  и  $P$  – відповідно, геостатичний тиск, що приймається за умови гідростатичного розподілу напружень у товщі породного масиву, і тиск всередині тріщини,  $a$  – коефіцієнт, що дорівнює відношенню довжини поширення тріщини ( $R$ ) до розміру прикладення тиску ( $P$ ) за умови кінцівки прикладення напружень в точці з поточним лінійним розміром ( $r$ ), коли  $R/r=1$ .

Умова (2) для води, яка нагнітається, означає, що гідророзрив виникає при  $P \rightarrow g$  і відображується співвідношенням

$$k\gamma_{\Pi}H > \gamma_B h_B, \quad (3)$$

де  $H$  – глибина залягання шару порід,  $h_B$  – напір води,  $\gamma_{\Pi}$ ,  $\gamma_B$  – щільність порід і води,  $k$  – коефіцієнт концентрації напружень, який для ізотропних умов нагнітання дорівнює одиниці.

Співвідношення (2) з урахуванням (3) для вертикальної тріщини гідророзриву буде наступним

$$k\gamma_{\Pi}H(v/1-v) = \gamma_B h_B, \quad (4)$$

де  $v$  – коефіцієнт Пуассона. Для більшості водонасичених порід, в тому числі пісковиків  $v < 0,3$ . За цих умов співвідношення (4) виконується.

Розкриття берегів тріщин гідророзриву за теорією тріщиноутворення надалі є спонтанним і призводить до різкого зменшення тиску (рис. 14) і збільшення поглинання води. У цій фазі умова (3) порушується, тому тріщина змикається. В подальшому процес набуває пульсуючого характеру (рис. 14, 15).

Гідрогеомеханічні зміни присвердловинної зони при досягненні ефекту гідророзриву враховані шляхом імітаційного підбору параметрів проникності відповідно витратам і тиску закачування.

Прогноз формування гідрогеохімічного режиму підземних вод виконаний для умов, коли сумарний водовідбір з верхнього водоносного комплексу складає 6900 м<sup>3</sup>/доб, а добова кількість поглинання пласта-колектора – 720 м<sup>3</sup>.

Формування гідродинамічної репресії в нагнітаючій та спостережній свердловинах відбувається майже за рік (рис. 16), а на період 25 років становить 256 і 147 м, відповідно. Максимальна величина перетоку в верхній водоносний комплекс на кінцевий період складає 30,4 м<sup>3</sup>/доб (табл. 4).

За рахунок розбавлення в пласті-колекторі спостерігається зниження природної мінералізації на ділянці площею близько 1000 × 1000 м.

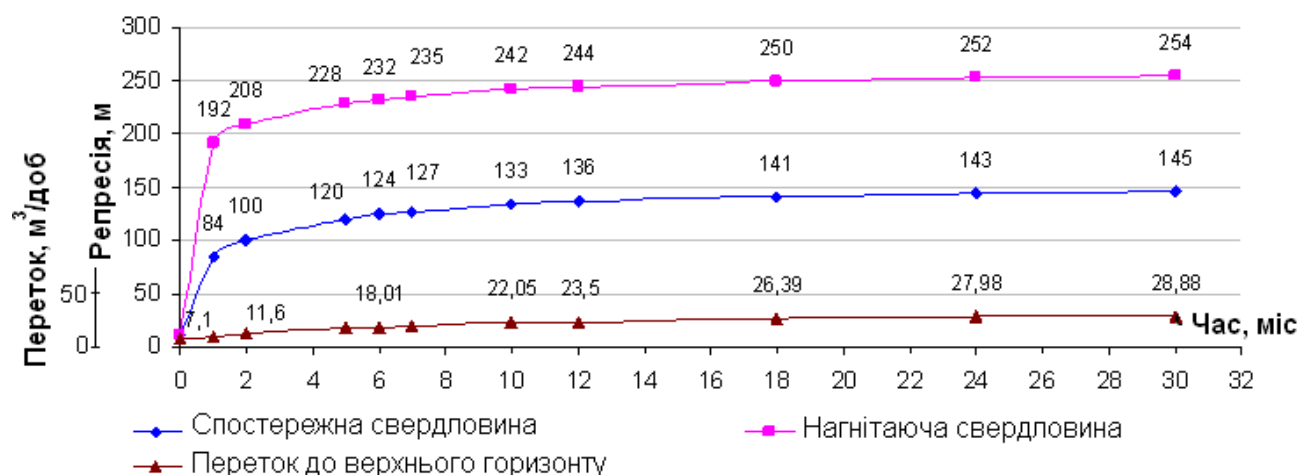


Рис. 16 Формування гідродинамічної репресії в часі

Таблиця 4

## Баланс підземних вод моделі на довгостроковий прогностичний період

Прибуткові елементи балансу, м³/доб		Витратні елементи балансу, м³/доб	
Верхній водоносний комплекс			
Інфільтраційне живлення за рахунок атмосферних опадів	195,2	Дебіт водозабірних свердловин	-6900
Витрати на зовнішньому контурі	4820,6	Розвантаження в річку	-1388,1
Перетік через покрівлю	3238,9	Випаровування	-26
Перетік через підшову	30,4		
Ємнісна складова	42,6	Ємнісна складова	0
Разом:	8327,7	Разом:	-8314,1
Нев'язка балансу, %	+0,08		
Пласт-колектор			
Дебіт нагнітання	720,0	Розвантаження на зовнішньому контурі	-689,6
		Перетік через покрівлю	-30,4
Ємнісна складова	0,06	Ємнісна складова	0
Разом	720,0	Разом	-720,0
Нев'язка балансу, %	0,0		

Гідродинамічна релаксація сформованої репресії 256 м ( $\approx 25$  атм) в часі відбувається в умовах пружного режиму фільтрації достатньо швидко, протягом 1,0...1,5 років. Остаточна репресія в свердловині через рік релаксації становить близько 11 м, а через 2 роки – 3 м, 3 роки – близько нуля.

Збільшення перетоку до верхнього водоносного комплексу з 7,1 до 30,4 м³/доб не призводить до суттєвих змін мінералізації підземних вод продуктивного водоносного комплексу.

За приймальної здатності свердловини 40 м³/добу·атм і об'ємі поглинання 720 м³/доб режим експлуатації полігону є екологічно безпечним, бо перетік у вище залягаючий водоносний комплекс в більшій кількості з меншим солевмістом призводить до зменшення його мінералізації до 10 %. Це дозволяє

розглядати процес як відновлення та посилення природного очищення, яке неможливе при прямому скиді в річкову мережу.

**В шостому розділі** виконаний аналіз технічних рішень з регулювання гідрогеодинамічного режиму підземних вод на етапі експлуатації і закриття шахт. Скорочення витрат на експлуатацію системи водовідливу, зменшення техногенного навантаження на підземну і поверхневу гідросферу є важливим завданням на всіх етапах функціонування гірничодобувного підприємства.

За результатами встановлення гідрогеодинамічної структури та параметрів зон підвищеної проникності (розділ 2), аналізу технічних можливостей та технологічних аспектів розглянута ефективність наступних варіантів водорегулювання у фазі ведення гірничих робіт: створення гідроізоляційної перемички, тампонаж зон підвищеної водопроникності в зоні виходу пластів, гідроізоляція перетоку з р. Самара. Реалізація цих технологічних схем водорегулювання дозволяє знизити приток води в шахту від 10 до 38%. При цьому застосовуватися вони можуть як незалежно на різних етапах експлуатації шахти, так і одночасно. Як пілотний проект розроблена і реалізована конструкція гідроізоляційної перемички в збірному штреку, в якій обладнані контрольні пристрої для фіксації параметрів зміни гідрогеодинамічного тиску і коригування модельних прогнозів.

На етапі згортання гірничих робіт прогнозні гідрогеодинамічні рішення отримані для умов затоплення шахтного поля. Розглянуті варіанти техноекозахисту шляхом встановлення горизонту підтримання водовідливу стаціонарними або занурювальними насосами. Рекомендований альтернативний варіант захисту заплави від підтоплення шляхом будівництва водозабору в продуктивній товщі палеоруслових пісковиків підвищеної проникності та варіант з розчисткою русла.

При повному затопленні шахти ім. М.І. Сташкова динаміка відновлення рівня підземних вод в масиві гірських порід і в стволі 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 стволів 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. 17).

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

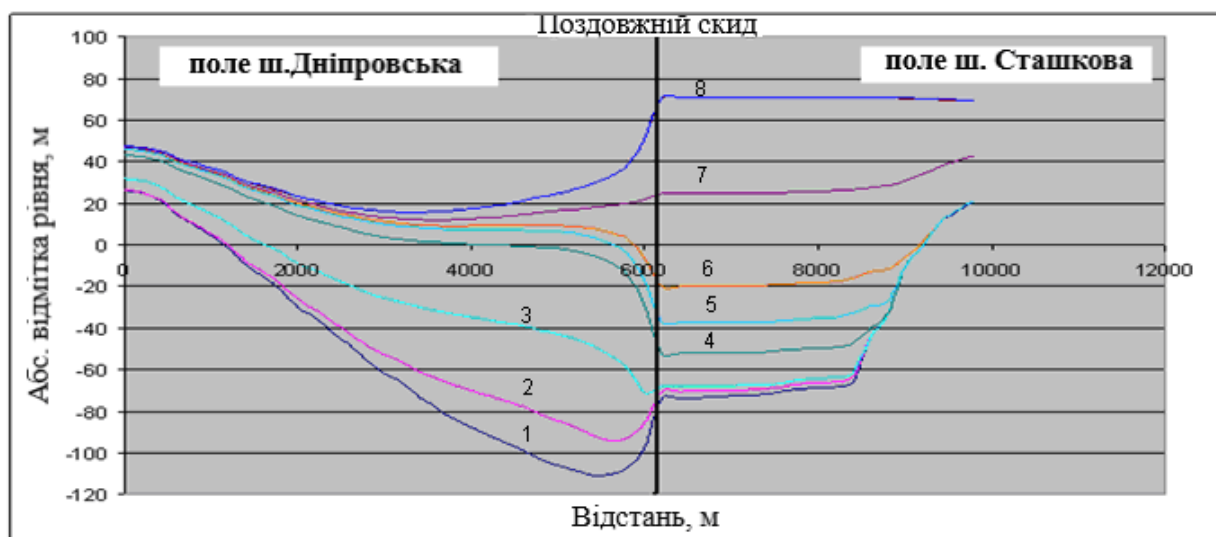


Рис. 17 Відновлення рівня підземних вод в основному полі та прирізці на момент часу: 1 – до відключення водовідливу; 2 – 10 днів; 3 – 1 місяць; 4 – 3 місяці; 5 – 6 місяців; 6 – 1 рік; 7 – 2 роки; 8 – 3 роки

Вплив відновлення рівнів підземних вод в межах шахти ім. М.І. Сташкова проявляється у збільшенні водопритоку на ш. «Дніпровська» на  $50 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Зоною потенційного підтоплення і заболочення залишається, як і в доексплуатаційному періоді, заплава річки Самара площею близько  $9,75 \text{ км}^2$ , де абсолютні позначки поверхні землі менше  $+75 \text{ м}$  (рис. 18). Слід відзначити, що ці ділянки не підроблялися і розташовані поза зоною геомеханічного впливу гірничих робіт, проте зміни параметрів проникності і ємності у порушеному масиві формують фільтраційний натиск на зону розвантаження течій.



Рис. 18 Фрагмент ділянки шахтного поля: 1, 2, 3 – проєкції пласта  $S_5$  на денну поверхню, відповідно, плаского дна, контуру пласта та зони впливу; 4 – межа зони потенційного підтоплення; 5 – зона розташування водозабірних свердловин

Затоплення шахти при збереженні підземного комплексу головного водовідливу на горизонті 225 м дозволяє знизити рівень підземних вод покривних відкладень в зоні потенційного підтоплення до 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. м<sup>3</sup> на рік, що слід визнати екологічно недоцільним.

Управління процесом затоплення з підтриманням водовідливного режиму за рахунок обладнання допоміжного ствола занурювальними насосами неефективно, бо площі потенційного підтоплення зменшуються лише на 15%.

Обґрунтування зони будівництва водозбору 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  $C_5$  як транзитну зону підвищеної проникності для захисту заплави від підтоплення з дебітом відкачки 150 м<sup>3</sup>/год.

Варіант повного затоплення шахти в моніторинговому режимі з розчисткою русла річки обґрунтований як екологічно прийнятний й економічно раціональний. Упередження витрат коштів на фізичне утримання шахти склало 114,3 млн. грн та 21,4 млн. грн., відповідно до витрат на роботу головного водовідливу та використання занурювальних насосів.

Отримані результати гідрогеологічного прогнозу наслідків закриття шахти покладені в основу проекту затоплення гірничих виробок з оптимальними параметрами водорегулювання.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених закономірностей змін параметрів проникності і ємності порушеного гірського масиву, вирішена актуальна науково-прикладна проблема управління геофільтрацією техногенного середовища шахтних полів шляхом адаптації методики чисельного моделювання гідродинамічних процесів для досягнення безпеки гірничих робіт і екобезпеки приповерхневих територій як на етапі експлуатації, так і ліквідації шахт.

Основні висновки та науково-практичні результати дисертаційної роботи полягають в наступному.

1. Обґрунтована концептуальна схема побудови і використання постійнодіючої геофільтраційної моделі шахтного поля представляє собою алгоритм дій, який передбачає врахування гідродинамічної відкритості родовища та зони водопровідних тріщин при схематизації умов, а також обов'язкову методику ідентифікації моделі шляхом відтворення процесу відпрацювання родовища для встановлення закономірностей формування водопритоків та змін параметрів проникності гірського масиву в часі.

2. За результатами рішення варіантного ряду ідентифікаційних задач встановлені зони аномальної водопровідності (до 30 м<sup>2</sup>/доб) гідродинамічно відкритих палеоруслових пісковиків, які є транзитним шляхом залучення до шахтного водовідливу додаткового ресурсу підземних вод покривних відкладень і поверхневих вод річки Самари. При цьому фільтраційні та ємнісні параметри відпрацьованого породного масиву постійно трансформуються впродовж всього періоду експлуатації родовища, збільшуються на порядок при обваленні покрівлі гірничих виробок і наближаються через 15-20 років до природних значень за рахунок ущільнення масиву. Встановлені закономірності є основою для обґрунтування ефективних технічних рішень з водорегулювання в гірничих виробках та на поверхні при закритті і затопленні шахти.

3. Обґрунтовано, що при створенні постійнодіючих моделей геофільтрації шахтних полів, ефективно використання методичного прийому фрагментації з побудовою різномасштабних моделей «вкладок», що дозволяє деталізувати окремі ділянки техногенного навантаження в складних гідрогеологічних та геотектонічних умовах. З використанням даного прийому диференційовані фактори впливу на гідрохімічний режим водоносного горизонту, що використовується для водопостачання.

4. Шляхом рішення обернених задач з відтворення глибокого водозниження та відновлення рівня підземних вод у висячому та лежачому крилах скиду, встановлені параметри проникності та ємності небезпечної зони тектонічного порушення, характерні для водотривких порід. Достовірність встановлених параметрів підтверджена збігом на 95 % прогнозних і фактичних величин водопритоків при реалізації спеціального проекту перетину Бонданівського скиду. Гірничі виробки пройдені в режимі спеціального гідрогеомоніторингу з мінімальними фінансовими витратами, що дало можливість збільшити об'єм промислових вугільних запасів на шахті «Самарська» на 40 млн. тон та термін її експлуатації на 15 років.

5. Гідрогеомеханічні ризики ведення гірничих робіт в зоні впливу затоплених виробок оцінені на методичних засадах сполучення моделей нестационарної фільтрації в скінчених різницях і кінцево-елементної гідрогеомеханічної моделі. Встановлено, що водопритоки з боку затопленого поля мають другорядне значення і складають близько 17%, а ризики прориву води існують з розшарованих зон покрівлі на сполученні виробок в зоні тріщинного розпушення.

6. Обґрунтовані параметри гідрогеомеханічного впливу очисних робіт на аварійну дегазаційну свердловину при різних контурах відпрацювання цілика з оцінкою деформацій розтягування та повзучої в площині контакту «бучак-карбон», що не перевищують критичної величини деформації 0,005 та свідчать про збереження тампонажного матеріалу в затрубному просторі аварійної свердловини. Це враховано при складанні програми ведення гірничих робіт та в умовах аварійної ситуації забезпечило повноту виймання запасів вугілля з попередженням їх втрат в кількості 32 тис. тон.

7. Створена математична модель закачування рідини та подальшої релаксації гідродинамічної репресії у часі та просторі, де підземні води є індикатором гідрогеомеханічних процесів. Встановлено, що фільтраційні та ємнісні показники гірського масиву відрізняються в режимах відкачки та нагнітання, а саме збільшуються на порядок за рахунок пульсаційного характеру течії у гідророзривних тріщинах пласта-колектора. Обґрунтовано, що за приймальної здатності свердловини  $40 \text{ м}^3/\text{добу}\cdot\text{атм}$ , транзит мінералізованих вод в об'ємі  $720 \text{ м}^3/\text{доб}$  є екологічно безпечним і створює умови відновлення та посилення природного очищення зон природного водообміну.

8. Встановлена зона потенційного підтоплення заплави річки Самари площею близько  $9,75 \text{ км}^2$  при закритті шахти ім. М.І. Сташкова та повному відновленні рівня підземних вод впродовж 3 років. Оцінені технічні ризики роботи суміжних шахт та ефективність водорегулювання шляхом використання стаціонарних та занурювальних насосів, будівництва водозабору в палеоруслових пісковиках та розчистки русла річки Самари. Варіант повного затоплення шахти в моніторинговому режимі з розчисткою русла обґрунтований як екологічно прийнятний й економічно раціональний. Упередження витрат коштів на фізичне утримання шахти склало 114,3 млн. грн. та 21,4 млн. грн., відповідно до витрат на роботу головного водовідливу та використання занурювальних насосів. Результати гідрогеологічного прогнозу наслідків закриття шахти покладені в основу проекту затоплення гірничих виробок з оптимальними параметрами водорегулювання.

9. Результати дисертаційних досліджень використані в навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при підготовці бакалаврів спеціальності 103 «Науки про Землю» та магістрів освітньо-професійної програми «Гідрогеологія», читанні спецкурсів «Математичне моделювання геологічних систем», «Гідрогеологія родовищ корисних копалин», «Гірничопромислова гідрогеологія» та виконанні кваліфікаційних робіт.

**Результати роботи і положення дисертації опубліковані в 41 науковій праці, основними з яких є наступні:**

1. Загриценко А.Н. Термогидродинамическая оценка эффективности использования теплового и емкостного потенциала затопленного шахтного поля / И. А. Садовенко, Д. В. Рудаков, А. В. Инкин, А.Н. Загриценко // Геотехнология освоения емкостных и газотермальных ресурсов Донбасса: монография / И. А. Садовенко, Д. В. Рудаков, А. В. Инкин. Днепр, 2016. (Государственное ВУЗ «Национальный горный университет»). С. 212–243.

2. Загриценко А.Н. Гидрогеологические и гидродинамические риски при переходе зоны Богдановского сброса / [А.Н. Загриценко, В.И. Тимощук, Е.О. Подвигина] // Переход Богдановского сброса: обоснование, технология, мониторинг, результат: монография. под общ. ред. Шашенко А.Н. / [А. Н.



Шашенко, И. А. Садовенко, Е. А. Сдвижкова и др.]. Днепр: ЛизуновПресс, 2017. С. 91–129.

3. Загриценко А. М. Гідроекозахист вугільних шахтних полів: монографія. під заг. ред. Садовенка І.О. / А. М. Загриценко, Ю. І. Демченко, В.О. Соцков, О.Р. Мамайкін. Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 144 с.

4. Загриценко А.М. Механізм техногенної гідрогеомеханічної деградації льосів / [А.М. Загриценко, О.О. Подвігіна] // Сучасний техногенез та інженерне освоєння льосових масивів: монографія за ред. І.О. Садовенка / [І.О. Садовенко, М. В. Фоцій, Г. І. Рудько та ін.]. Київ-Чернівці: Букрек, 2019. С. 32-73.

5. Zahrytsenko A. M. Optimization of environmental engineering protection and water resource use at the most watered mine in Ukraine / I. O. Sadovenko, D. V. Rudakov, A. M. Zahrytsenko, N. I. Derevaygina // Resource-saving technologies of raw-material base development in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroşani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2020. – P. 501-513.

6. Загриценко А.М. Математичне моделювання відбору проб бурштину способом гідророзмиву / І.О. Садовенко, М.Г. Лустюк, А.М. Загриценко // Збірник наукових праць НГУ. Том 1, № 26. 2006. С. 96-100.

7. Загриценко А.Н. Особенности гидрогеохимического режима подземных вод в зоне влияния затопленной шахты / А.Н. Загриценко, Ю.И. Демченко, В.В. Тишков, В.И. Тимошук // Науковий вісник НГУ, №3. 2007. С. 41-43.

8. Загриценко А.Н. Закономерности формирования карьерных водопритоков при ведении горных работ в геомеханически нарушенном породном массиве (на примере Ингулецкого ГОКа) / И.А. Садовенко, В.В. Тишков, А.Н. Загриценко, В.И. Тимошук // Збірник наукових праць НГУ, № 27. 2007. С. 35-41.

9. Загриценко А.М. Аналітичний огляд науково-педагогічної діяльності кафедри гідрогеології та інженерної геології / Т.Д. Прокопенко, А.М. Загриценко // Науковий вісник НГУ. 2008, №9. С. 34-35.

10. Загриценко А.М. Оцінка факторів формування негативних інженерно-геологічних процесів в умовах техногенно навантажених територій / М.В. Фоцій, З.М. Якубовська, Ю.Г. Черняєва // Науковий вісник НГУ. 2008, №5. С. 71-73.

11. Zagrytsenko A.N. Dynamics of loess mass deformations due to technogenic load / I.O. Sadovenko, N.I. Derevaygina, A.N. Zagrytsenko, O.O. Podvigina // Збірник наукових праць НГУ. Д.: ДВНЗ «НГУ», 2014. №45. С. 76-82.

12. Zagrytsenko, A. Assessment of environmental and technical risks in the process of mining on the basis of numerical simulation of geofiltration / I. Sadovenko, A. Zagrytsenko, O. Podvigina & N. Dereviagina // Mining of Mineral Deposits, 10 (1), 2016. 37-43. (Наукометрична база **Web of Science**).

13. Zagrytsenko, A. Theoretical and geotechnological fundamentals for the development of natural and man-made resources of coal deposits / I. Sadovenko, O. Inkin, & A. Zagrytsenko // Mining of mineral deposits, 10 (4), 2016. 1-10. (Наукометрична база **Web of Science**).

14. Zahrytsenko A. M. Water balance control within rock mass using the capacity of water-bearing formations / I. O. Sadovenko, A. M. Zahrytsenko, O.O. Podvihina. N. I. Dereviahina // Науковий вісник НГУ. №4 (160), 2017. С. 19-27. (Наукометрична база **Scopus**).

15. Загриценко А.Н. Параметрическая основа водорегулирования при ведении горных работ в сложных гидродинамических условиях Западного Донбасса / А.Н. Загриценко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 29 (68) Ч. 2 №1, 2018 . С. 122-128.

16. Загриценко А.М. Формування природно-техногенного режиму підземних вод в зоні впливу розробки родовища вапняків / А.М. Загриценко // Екологічні науки № 1 (24). Т.1. 2019. С. 98-103.

17. Загриценко А.Н. Оценка параметров гидрогеомеханического влияния очистных работ на аварийную дегазационную скважину / И.А. Садовенко, В.И. Тимощук, А.Н. Загриценко, Н.И. Деревягина // Геотехнічна механіка. Міжвідомчий збірник наукових праць. №144, 2019. С. 199-208.

18. Загриценко А.М. Обґрунтування гірничо-геологічних параметрів застосування ресурсозберігаючої технології селективної відробки вугільних пластів для Західного Донбасу / В.О. Соцков, А.М. Загриценко, Н.І. Деревягіна // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 30 (69) № 6 Ч.2. 2019. С. 17-23.

19. Загриценко А.М. Оцінка гідрогеомеханічних ризиків ведення гірничих робіт в зоні впливу затоплених виробок / І.О. Садовенко, В.І. Тимощук, А.М. Загриценко, Деревягіна Н.І. // Геотехнічна механіка. Міжвідомчий збірник наукових праць. №151, 2020. С. 190-202.

20. Zahrytsenko A. Risk assessment of radionuclide contamination spreading while flooding coal mined-out rocks / I. Sadovenko, O. Ulytsky, A. Zahrytsenko, K. Boiko // Mining of Mineral Deposits, 14(4), 2020. 130-136 (Наукометрична база **Scopus**)

21. Загриценко А.М. Обґрунтування варіантів екологічного захисту шахтного поля в умовах відновлення рівнів підземних вод / І.О. Садовенко, А.М. Загриценко, Н.І. Деревягіна // Збірник наукових праць НГУ 2020, №62-06. С. 65-76.

22. Загриценко А.М. Обґрунтування гідрогеомеханічних параметрів водорегулювання з використанням шахтних стовбурів при закритті шахт / І. О. Садовенко, В. І. Бондаренко, І. А. Салєєв, А. М. Загриценко // Національний гірничий університет. Збірник наукових праць. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. № 64. С. 55-67.

23. Загриценко А.Н. Оценка факторов устойчивости техногенно нагруженных лессовых склонов / И.А.Садовенко, Е.О. Подвигина, А.Н. Загриценко, Н.И. Деревягина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва, 2014, № 3. – С.37-43.

24. Zahrytsenko A. Methodical and Applied Aspects of Hydrodynamic Modeling of Options of Mining Operation Curtailment / I. Sadovenko, A. Zahrytsenko, O. Podvighina, N. Dereviahina, S. Brzeźniak // Solid State Phenomena, Vol. 277, pp. 36-43, 2018 (Наукометрична база **Scopus**)

25. Zahrytsenko A. Forecasting Underground Water Dynamics within the Technogenic Environment of a Mine Field: Case Study / O. Bazaluk, I. Sadovenko, A. Zahrytsenko, P. Saik, V. Lozynskiy, R. Dychkovskiy // Sustainability 2021, 13, 7161. (Наукометрична база **Scopus**)

26. Загриценко А.М. Визначення ролі техногенних складових в порушенні геомеханічної стійкості територій в зоні впливу об'єктів гірничого виробництва / В.І. Тимошук, Ю.І. Демченко, А.М. Загриценко, Є.А. Шерстюк // Сборник научных трудов III международной практической конференции «Школа подземной разработки». – Днепропетровск. - 2009. – С. 437-440.

27. Zagrytsenko A.N. Assessment of flow and transport processes resulted by interaction between open pit and flooded mine in Central Ukraine. / I.O. Sadovenko., D.V. Rudakov, A.N. Zagrytsenko, V.V. Tishkov / 2<sup>eme</sup> Seminaire International sur L'industrie Minerale et L'Environnement. LRN Annaba, Algeria, 19-20 Nov. 2013. Recueil des Resumes 2013. V.3. P. 26.

28. Загриценко А.Н. Регулирование параметров руслового потока для защиты подработанной территории от подтопления / И.А. Садовенко, А.Н. Загриценко / Матеріали III наукової конференції «Гідрогеологія: наука, освіта, практика» (2-4 листопада 2016 р, м. Харків). – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2016. С. 164-168.

29. Загриценко А.М. Механізм формування гідродинамічної репресії як фактор управління станом багат шарового геологічного середовища / А.М. Загриценко, М.В. Фоцій // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази", 23-25 травня 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. с. 324-327.

30. Zahrytsenko A. Scientific and methodological foundations to develop numerical hydrodynamical models of mine fields in Donbas / A. Zahrytsenko, O. Podvighina and N. Dereviahina // E3S Web of Conferences 60, 00034. 2018. (Наукометрична база **Web of Science**).

31. Загриценко А.М. Моделювання геофільтраційних параметрів розповсюдження радіонуклідів Cs137 та Sr90 у гідробезпеці при закритті вугільних шахт / І. Садовенко, О. Улицький, А. Загриценко, К. Бойко // Український гірничий форум - 2020: матеріали міжнар. конф., 4-5 листоп. 2020 р. - Дніпро: Журфонд, 2020. - С. 238-246

**Внесок автора в роботи, що опубліковані у співавторстві:** [1, 9, 11, 13, 18, 20, 28, 29] – аналіз досвіду дослідження гідродинамічного режиму техногенно навантажених територій і гідрогеомеханічних процесів та оцінка їх змін; [6, 26] – обґрунтування розрахункової схеми аналітичних рішень; [7, 8, 10, 31] – рішення обернених задач та оцінка факторів впливу та закономірностей формування параметрів проникності гірського масиву; [2, 14, 17, 19, 23, 24, 27] – обґрунтування методичних підходів математичних моделей геофільтрації та геомеханічних процесів, аналіз результатів прогнозних рішень, оцінка ризиків ведення гірничих робіт; [3, 5, 21, 22, 25, 30] – рішення прогнозних задач з оцінки ефективності водорегулювання на етапі експлуатації та затоплення шахтних полів.

### АНОТАЦІЯ

Загриценко А.М. Науково-прикладні основи регулювання геофільтрації в масивах шахтних полів з використанням чисельних моделей – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми управління геофільтрацією техногенного середовища шахтних полів шляхом адаптації методики чисельного моделювання гідродинамічних процесів у гірничих виробках різного призначення з врахуванням постійних змін фільтраційних та ємнісних параметрів порушеного гірського масиву для досягнення безпеки гірничих робіт і екобезпеки приповерхневих територій як на етапі експлуатації, так і ліквідації шахт. За обґрунтованою методикою побудови та ідентифікації геофільтраційних моделей шахтних полів встановлені параметри трансформації фільтраційних та ємнісних параметрів геомеханічно порушеного гірського масиву, зон тектонічних порушень та змін в режимі нагнітання. Встановлені закономірності з урахуванням напружено-деформованого стану породного масиву використані при обґрунтуванні безпеки ведення гірничих робіт в зоні впливу розривної крупноамплітудної тектоніки, затоплених виробок та аварійної дегазаційної свердловини, що дозволило продовжити термін роботи шахти та забезпечити повноту виймання корисних копалин. Запропонований технічно можливий та екологічно безпечний спосіб відновлення зон водообміну та управління гідродинамічним режимом на етапі закриття і затоплення шахти

**Ключові слова:** геофільтрація, порушений гірський масив, чисельне моделювання, ідентифікація моделі, параметри проникності та ємності, напружено-деформований стан, безпека гірничих робіт, управління водообміном, затоплення шахт.

## АННОТАЦИЯ

Загриценко А.Н. Научно-прикладные основы регулирования геофильтрации в массивах шахтных полей с использованием численных моделей. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – Национальный технический университет «Днепровская политехника» Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы управления геофильтрацией нарушенного массива шахтных полей путем адаптации методики численного моделирования гидродинамических процессов в горных выработках различного назначения с учетом изменений во времени фильтрационных и емкостных параметров породного массива для обеспечения безопасности горных работ и экобезопасности на поверхности как на этапе эксплуатации, так и ликвидации шахт.

Обоснована концептуальная схема построения и использования постоянно действующей геофильтрационной модели шахтного поля с учетом гидродинамической открытости месторождения и зоны водопроводящих трещин при схематизации условий, а также методики идентификации модели путем воспроизведения хронологической истории отработки месторождения для установления закономерностей формирования водопритоков и изменений параметров проницаемости горного массива во времени.

Установлены закономерности трансформации параметров проницаемости и емкости геомеханически нарушенного массива во времени, фильтрационные свойства зоны крупноамплитудных тектонических нарушений, изменения фильтрационных и емкостных характеристик в режимах откачки и нагнетания. Это позволило оценить и минимизировать риски ведения горных работ в нарушенной зоне разрывного нарушения, пройти выработки в режиме специального гидрогеомониторинга с минимальными финансовыми затратами и продлить срок эксплуатации шахты. Обоснована технически возможная и экологически безопасная схема локального водообмена путем искусственного увеличения длины пути фильтрации до зоны гидродинамической разгрузки.

На методических принципах сопряжения моделей нестационарной фильтрации в конечных разностях и конечно-элементной гидрогеомеханической модели оценены риски ведения горных работ у затопленных выработок. Установлено, что водоприток со стороны затопленного поля имеет второстепенное значение, а риски прорыва воды существуют из расслоенных зон кровли в зоне интенсивного трещинного разрыхления.

Обоснованные параметры гидрогеомеханического влияния очистных работ на аварийную дегазационную скважину при различных контурах отработки целика свидетельствуют о сохранении тампонажного материала в затрубном пространстве на контакте «бучак-карбон», что учтено при составлении

программы ведения горных работ и в условиях аварийной ситуации обеспечило полноту извлечения запасов угля

Установлено, что период полного восстановления уровня подземных вод происходит в течение трех лет с формированием на поверхности зон потенциального подтопления в пойме реки Самары. Оценены технические риски работы смежных шахт и варианты водорегулирования путем использования стационарных или погружных насосов, строительства водозабора и расчистки русла реки Самары. Вариант полного затопления шахты в мониторинговом режиме с расчисткой русла реки обоснован как экологически приемлемый и экономически рациональный, что позволило упредить расходы на физическое содержание шахты.

**Ключевые слова:** геофильтрация, нарушенный горный массив, численное моделирование, идентификация модели, параметры проницаемости и емкости, напряженно-деформированное состояние, безопасность горных работ, управление водообменном, затопление шахт.

### ABSTRACT

Zahrytsenko A.M. Scientific and practical bases of ground water flow regulations in mining areas with using numerical models. – Qualifying scientific work published as a manuscript.

Thesis for the Degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.15.09 – “Geotechnical and Geomechanics”. – Dnipro University of Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The dissertation deals with the solution of a topical scientific and practical problem of ground and mine water flow control in the tectogenic environment of mining areas by adaptation of a technique of numerical hydrodynamic modeling in underground workings of different function taking into account permanent changes of flow and capacity parameters during operation and closure of mines. Using the justified approach to develop and validate ground flow models in mining areas, the parameters of transforming flow and capacitive parameters of mechanically disturbed rocks, the zones of tectonic faults and changes under the pumping mode are identified.

The identified regularities take into account the stress-strain state of the rock mass; they were used to substantiate the safety of mining in the areas of large-amplitude tectonics, flooded workings and the emergency degassing well, which allowed to extend the mine operation period and ensure complete extraction of minerals. The technically possible and environmentally safe way of restoring the water exchange zones and controlling the hydrodynamic mode at a stage of closure and flooding the mine is proposed.

**Key words:** ground water flow, disturbed rock mass, numerical modeling, model validation, permeability and capacity parameters, stress-strain state, mining safety, water flow management, mine flooding.

**ЗАГРИЦЕНКО Аліна Миколаївна**

**НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ОСНОВИ РЕГУЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЇ В  
МАСИВАХ ШАХТНИХ ПОЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ЧИСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ  
(Автореферат)**

Здано на складання 18.08.2021. Підписано до друку 18.08.2021 р.  
Формат 210x48. Папір офсетний. Друк цифровий.  
Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 1,9.  
Тираж 100 прим. Зам. № 2008

Видавництво ПП Вахмістров О.Є.  
Адреса видавництва та друкарні: 49000,  
Дніпро, вул. Пісаржевського, буд. 18  
тел. +380632598309  
ел. адреса: 8102@ukr.net