

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ГІДРОЕКОЗАХИСТ ВУГІЛЬНИХ ШАХТНИХ ПОЛІВ

За редакцією проф. І.О. Садовенка

Монографія

Дніпро
НТУ «ДП»
2018

УДК 622.281.76

Г 76

Рекомендовано до видання вченою радою Національного технічного університету "Дніпровська політехніка" (протокол № 8 від 13.06.2018).

Рецензенти:

Я.Б. Петрівський – доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-виховної роботи Рівненського державного гуманітарного університету;

Л.І. Пимоненко – доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу геології вугільних родовищ великих глибин Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Г 76 **Гідроекозахист** вугільних шахтних полів: монографія / А.М. Загриценко, Ю.І. Демченко, В.О. Соцков, О.Р. Мамайкін ; за ред. І.О. Садовенка ; М-во освіти і науки України, НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2018. – 146 с.

ISBN 978-966-350-689-9

Наведено системний підхід, методика і результати пошуку закономірностей динаміки фільтраційних потоків у масиві та на поверхні шахт, які дозволили обґрунтувати параметри виїмкових полів при підземній розробці вугільних пластів, що обумовлюють гідробезпеку гірничих робіт і знижують екологічне навантаження на підземну гідросферу в складних гідрогеологічних умовах.

Матеріал монографії може бути використаний у навчальному процесі при викладанні дисциплін «Механіка гірських порід» та «Гірничопромислова гідрогеологія», а також для подальшої розробки й удосконалення методів гідрозахисту гірничих виробок.

УДК 622.281.76

ISBN 978-966-350-689-9

© А.М. Загриценко, Ю.І. Демченко,
В.О. Соцков, О.Р. Мамайкін, 2018

© НТУ «Дніпровська політехніка», 2018

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Глава 1. Аналіз формування водопроявів в гірничих виробках у зв'язку з проблемою безпеки гірничих робіт	6
1.1. Особливості формування водопроявів в гірничих виробках.....	6
1.2. Вплив природних і технологічних чинників на процеси фільтрації в зонах, порушених гірничими роботами.....	11
1.3. Аналіз використання гідрозахисних властивостей породного масиву над виробками.....	16
1.4. Стан науково-методичної та технологічної бази з гідрозахисту при веденні гірничих робіт.....	18
Глава 2. Динаміка фільтраційних потоків в підробленому гірському масиві	22
2.1. Зміна параметрів фільтрації в порушеному масиві.....	22
2.1.1. Вплив збільшення потужності водоносного горизонту при просіданні водоупору на положення рівня ґрунтових вод.....	23
2.1.2. Вплив просідання меж області фільтрації на формування рівня ґрунтових вод.....	25
2.1.3. Вплив збільшення випаровування на положення рівня ґрунтових вод у зв'язку з опусканням земної поверхні.....	29
2.2. Параметри управління фільтраційними потоками при роботі вугільних шахт.....	32
2.2.1. Обґрунтування можливостей управління відпрацюванням вугільних пластів з метою зменшення виснаження водних ресурсів і зниження водопритоку.....	32
2.2.2. Оцінка параметрів водоохоронних технологій, що суміщуються з відпрацюванням шахтопластів.....	36
2.2.3. Аналіз ефективності схем водорегулювання.....	47
2.3. Обґрунтування гідрогеологічних моделей стоку на територіях, що підроблюються.....	77
Глава 3. Параметри гідрозахисту гірничих виробок в водонасиченому вуглепородному масиві	88
3.1. Постановочні аспекти вирішення завдань гідрозахисту гірничих виробок.....	88
3.2. Вплив фізико-механічних властивостей водоносних порід на параметри гідрозахисту очисних виробок.....	93
3.3. Гідрогеомеханічна стійкість міжшахтних ціликів.....	": :
3.4. Гідродинаміка перетікання шахтних вод через свердловини при затопленні шахт.....	102

Глава 4. Схеми управління фільтраційними потоками для забезпечення гідрозахисту гірничих виробок	107
4.1. Синхронізація гірничих робіт і управління фільтраційними потоками на шахтному полі.....	107
4.1.1. Геологічна будова і гідрогеологічні умови шахтного поля, що досліджується.....	107
4.1.2. Гідродинамічний режим підземних вод на підробленій території.....	109
4.1.3. Обґрунтування раціональної схеми управління режимом ґрунтових вод при веденні гірничих робіт.....	117
4.2. Обґрунтування гідрозахисту гірничих робіт пласта C_8^H шахти «Тернівська».....	126
4.2.1. Гірничо-технічна ситуація пласта C_8^H	126
4.2.2. Оцінка можливості підробки бучакського водоносного горизонту 850 лавою пласта C_8^H	129
4.2.3. Рекомендації щодо забезпечення безпечного ведення гірничих робіт в 850 лаві пласта C_8^H	131
ВИСНОВКИ	132
Список використаних джерел	135

ВСТУП

Сучасний розвиток мінерально-сировинної бази України відбувається в умовах, коли більша частина розвіданих вугільних запасів вичерпана, а економічні ресурси на розвідку і освоєння нових родовищ обмежені. Це визначає необхідність пошуку шляхів підвищення повноти виїмки корисних копалин із залученням до відпрацювання запасів, розташованих в складних гідрогеологічних умовах.

Під час ведення гірничих робіт в такій ситуації збільшуються собівартість видобутку вугілля і втрата запасів, скорочуються темпи проходки гірничих виробок і підвищується аварійність, зростає техногенне навантаження на підземну і поверхневу гідросферу, що в свою чергу призводить до виснаження і забруднення водних ресурсів регіону.

Вуглепромисловий район Західного Донбасу відноситься до таких регіонів, де гідрогеологічні умови відрізняються особливою складністю, а 75% вугільних запасів залягає в знижених частинах рельєфу і заплавах річок.

Незважаючи на те, що в шахтах Західного Донбасу апробовано ряд технічних рішень щодо зниження притоку води до гірничих виробок (протифільтраційні завіси, тампонаж гірських порід, випереджаючий дренаж та ін.), вищезгадані аспекти залишаються актуальними і зумовлюють пошук нових технологічних схем водорегулювання.

Максимальна ефективність технічних рішень досягається за умови, що достовірно відомий механізм формування водопритоку, природа факторів їх формування та закономірності зміни. У зв'язку з цим в монографії викладено системний підхід, методики і результати пошуку закономірностей динаміки фільтраційних потоків в масиві і на поверхні шахт, які дозволили обґрунтувати параметри виїмкових полів під час підземної розробки вугільних пластів, що обумовлюють гідробезпеку гірничих робіт і зниження екологічного навантаження на підземну гідросферу в складних гідрогеологічних умовах.

У цьому аспекті авторами виділені і реалізовані наступні етапи робіт:

- встановлення закономірностей динаміки підземних вод в масиві шахтного поля і на його поверхні під впливом процесів зрушення гірських порід;
- параметризація управління водопритоку в шахті з урахуванням впливу технологічних схем підземного вуглевидобутку;
- пошук додаткових резервів водозахисних властивостей підроблюваного масиву для збільшення повноти виїмки запасів вугілля;
- обґрунтування та апробація на реальних об'єктах технологічних рекомендації щодо гідрозахисту шахт при підземному вуглевидобутку.

У процесі реалізації наведених етапів проведений комплекс експериментальних досліджень в шахтах, отримані аналітичні рішення, створені чисельні і фізичні моделі гідрогеомеханічного стану порушеного гірського масиву.

Завдання підвищення техніко-економічної ефективності роботи шахт і забезпечення безпеки гірничих робіт вирішені з урахуванням екологічної складової, що дозволяє мінімізувати техногенний вплив на підземну і поверхневу гідросферу регіону Західний Донбас.

ГЛАВА 1

АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ ВОДОПРОЯВІВ У ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ У ЗВ'ЯЗКУ З ПРОБЛЕМОЮ БЕЗПЕКИ ГІРНИЧИХ РОБІТ

Слід уточнити і конкретизувати деякі терміни для їх подальшого однозначного тлумачення в рамках роботи. Без цього неминучі невиправдані повторення в поясненні сутності досліджуваних явищ і процесів. Удавана простота і очевидність розуміння таких термінів, як водопрояв, водоприток, прорив води, послужила причиною відсутності їх чіткого тлумачення в науково-технічній літературі.

Водопрояв – факт появи води на деякій поверхні або просторовому контурі, який обмежує певний обсяг породного масиву (наприклад, на ґрунті або покрівлі гірничої виробки, контурі штреку, очисному забої і т.д.). Водопрояви спостерігаються у вигляді зволоження породного масиву на цих поверхнях і контурах, а також протікання, струменевого виділення води і, навіть, у вигляді цілого потоку.

Водопрояви супроводжують безпосередній контакт гірничої виробки з водовмісними породами або є результатом порушення породних шарів, що розділяють гірничу виробку і водоносні породи. Останнє можна кваліфікувати як прорив води, оскільки він пов'язаний з появою тріщин, викликаних проведенням гірничої виробки і зміною початкового напружено-деформованого стану породного масиву, а також дією гідравлічного напору у водоносному горизонті.

Таким чином, прорив води – одна з форм водопрояву.

Кількісно водопрояв характеризуються припливом води, що показує, яка кількість води в одиницю часу перетікає в гірничу виробку, або мережу таких виробок, в результаті сформованих водопроявів.

Необхідно зазначити, що в літературі часто під проривом розуміється водопрояв з аномально великим припливом води при розкритті водоносних порід з дуже високими колекторськими (ємнісними) властивостями, що, очевидно, не відображає сутності явища, бо в цьому випадку не відбувається руйнування (прориву) водотривких шарів.

1.1. Особливості формування водопроявів в гірничих виробках

Фактичні геолого-маркшейдерські дані і літературні відомості [12, 13, 23, 24, 31, 34] дають можливість провести якісну типізацію водопроявів в гірничих виробках за зовнішніми формами їх виникнення, протікання в часі, зв'язку зі структурно-геологічними чинниками, технологічними особливостями гірничих робіт, геомеханічними процесами в підроблюваному породному масиві.

Водопрояви в шахтних стволах і основних підготовчих виробках формуються, як правило, при розкритті водоносних порід, що проходять без попереднього заморожування. При цьому максимальним припливом води супроводжується початкова фаза, коли гідравлічні градієнти навколо виробок близькі до одиниці [85, 100]. При заглибленні забою у водоносні породи

величина припливу обумовлена збільшенням площі фільтраційного контакту і швидким зниженням напорів в зоні гідродинамічної депресії. Більш інтенсивний вплив останнього фактору обумовлює тенденцію до зниження водопритоку. Водозбагаченність порід формує абсолютні значення притоку від 0,1 до 500 м³/год і навіть більше [100, 101, 102], що відображається на їх градації від нормально-прийнятних до аварійних.

При збільшенні ступеню метаморфізму порід зростає небезпека розкриття стволами і магістральними виробками водозбагачених ділянок у зонах тектонічного дроблення порід: поодинокі випадки в Західному Донбасі переходять в систематично повторювані для Красноармійського району, Львівсько-Волинського басейну.

При відшаруванні подошви водоносного горизонту в покрівлі магістральних штреків або покрівлі водоносних порід в підшві виробок, формується капіж або струменеве водовиділення у зоні на відстані 4 – 10 радіусів від утримуючого впливу забою. При розмоканні порід стан виробки різко погіршується.

Перешарування стійких і слабких порід (наприклад, в гранітах) провокує впливи водоґрунтових сумішей в забій гірничої виробки. Це небезпечне гірничо-геологічне явище часто призводить до ускладнень при проведенні тунелів в м. Дніпрі, колекторних тунелів в м. Житомирі та інших місцях.

Прориви водопіскових сумішей з підроблюваних водоносних горизонтів є наслідком втрати стійкості захисної товщі порід, що розділяли очисні і підготовчі виробки. Це характерно для Дніпробасу, де надвугільні водоносні піски повсюдно залягають в покрівлі вугільних пластів.

Більш різноманітні водопрояви в очисних виробках. Розглянемо це на прикладі шахт Західного Донбасу, де їх вплив на гірничі роботи має велике значення [11, 84, 119].

У класифікації умов відпрацювання вугільних пластів у Західному Донбасі [12, 70] водоносні горизонти пластового типу підрозділяються на два види – підроблювані і надроблювані. Перетікання води в очисний простір робочого пласту завчасно запобігається проходкою дренажних виробок на верхній межі шахтного поля. Відповідно підробці або надробці водовмісних порід формуються спадні і висхідні джерела водопрояву в лавах.

Зафіксовані лише окремі випадки виникнення експлуатаційних ускладнень внаслідок виникнення висхідних джерел водопрояву (наприклад, лави 703, 711 шахти "Павлоградська"). Вода з подошви виробки надходить через тріщини, сформовані в аргілітовому або алевролітовому міжпласті. Величини водопритоку не перевищують, як правило, 2-3 м³/год з поступовим загасанням у часі і, практично, припиняються протягом 3-5 діб.

Переважає більшість водопроявів в очисних виробках формується при підробці водоносних горизонтів. На частку цього типу водопрояву припадає понад 95% гірничо-геологічних ускладнень процесу виїмки вугілля на шахтах Західного Донбасу. Формування водопроявів з покрівлі виробки чітко пов'язується з структурно-геологічною приналежністю водовмісних порід -

джерел обводнення в лавах. Підробка пористих водоносних пісковиків, що є безпосередньою і основною покрівлею робочих вугільних пластів, супроводжується постійним рідкісним протіканням або дрібним водовиділенням з покрівлі, котре різко посилюється у моменти осаду основної покрівлі. Останні добре виражені, завдяки суттєвій міцнісній анізотропії пісковиків [10] і літологічно однорідному їх розвитку в покрівлі вугільних пластів.

Величини водопритоку в лаву, як правило, не перевищують $1 - 5 \text{ м}^3/\text{год}$, що пояснюється низькими фільтраційними властивостями водовмісних пісковиків, коефіцієнти фільтрації яких за даними гідрогеологічного випробування, складають тисячні і, рідше, соті частки м/год. Сприяє цьому і значна площа гідравлічного розвантаження, яка може орієнтовно оцінюватися площею основної покрівлі, відповідно до кроку її посадки (див. рис. 1.1). Крім того, в період накопичення прогину породної консолі над очисним забоєм формується зона перетискання, що знижує природну фільтраційну здатність водовмісних порід. Посадка основної покрівлі викликає динамічне розвантаження напружень в породному масиві і появу додаткових оголених поверхонь, дренуючих додаткові об'єми води.

Зафіксовані випадки короткочасних рясних водопритоків у лави на шахтах "Самарська", "Дніпровська", "Тернівська" при підробці пісковиків з тектонічними порушеннями скидного типу незначної амплітуди, які виконують роль колекторів зі статичними запасами води.

Практично не відрізняються, за зовнішніми формами від описаних, водопрояви в лавах, які підробляють водоносні пісковики, розвинені тільки в основній покрівлі і розділені з вугільним пластом, як правило, 2-5 метровим аргілітовим міжпластям. Однак інтенсивність водопрояву при осадах основної покрівлі наростає більш плавно, захоплюючи 2-3 метровий інтервал посування забою, що передує осадці, і стільки ж, після неї. Це можна пояснити піковими змінами у формуванні тріщин у безпосередній покрівлі, досягненням ними максимуму внаслідок динамічних дій в породному масиві при вторинних посадках [12, 53, 102].

При стійкому режимі посування очисного вибою, описувані водопрояви, як правило, формуються не ближче посадкового ряду механізованого кріплення. Більш різноманітні зовнішні форми водопрояву у вигляді спадного капежу різної інтенсивності, переривчастих і безперервних цівок, зволоження покрівлі очисних виробок у вигляді слабого виділення води. Ця найбільш численна форма водопрояву виникає при підробці відносних вугільних пластів неробочої потужності і порівняно малопотужних слабких пісковиків, що входять до складу основних аргіліто-алевролітових покрівель пластів. Джерела обводнення формуються через систему гідравлічно взаємопов'язаних тріщин, що перетинають водотривкі породи міжпласт'я, які розділяють покрівлю робочого вугільного пласта і підшву водовмісних порід.

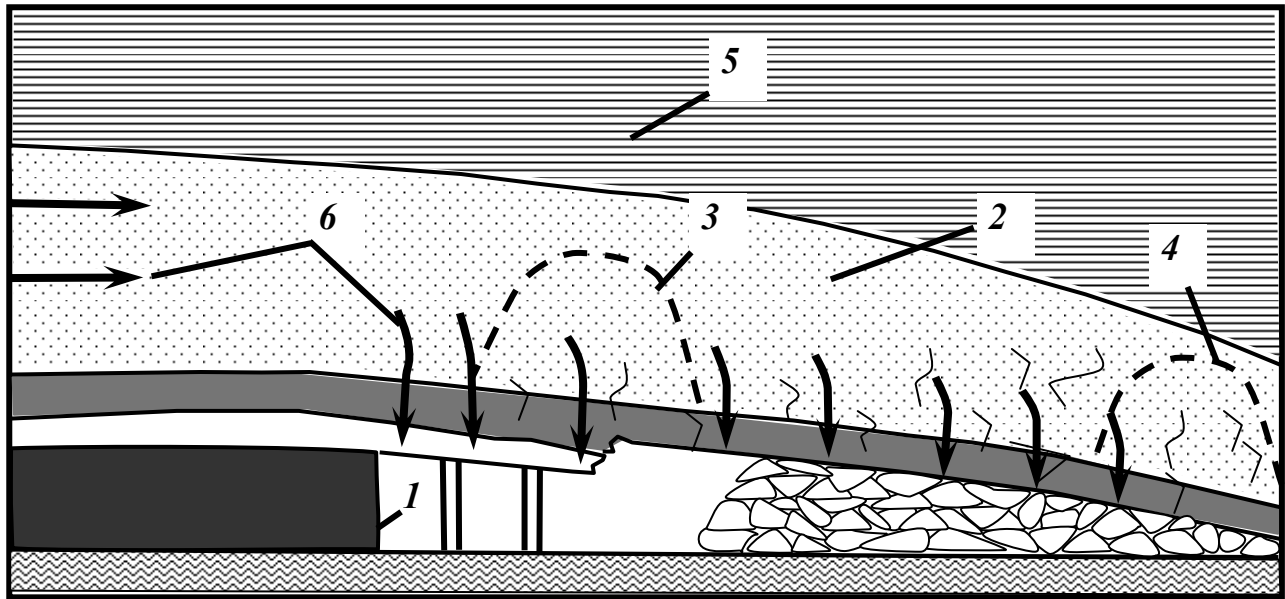


Рис. 1.1. Формування зон гідравлічного розвантаження в підроблюваному водоносному піщанику: 1 – очисний вибій, 2 – водоносний горизонт, 3 – зона перетискання, 4 – зона облому породних консолей, 5 – водотривкі породи, 6 – шляхи руху води.

Спостереженнями встановлено, що найбільш схильні до обводнення сполучення лав з виїмковими штреками, ніші і прилеглі до них ділянки лав. Інтенсивність водопрояву активізується на ділянках посування очисних вибоїв довжиною 5 - 8 м, відповідно наростанню гірського тиску при реалізації циклів вторинних осадів основної покрівлі. В цьому періоді обводненню піддається майже увесь призабійний простір лави, тоді як в звичайному, стійкому режимі посування лінії забою, водопрояви охоплюють у вигляді рідкісного капежу посадовий ряд кріплення. При досягненні певної швидкості виїмки, джерела водопрояву спостерігаються тільки у виробленому просторі.

Зазвичай, при наявності в основній покрівлі маломіцних аргілітових порід, водопрояви формуються і в прилеглих виїмкових штреках у вигляді сочіння і рідкісного капежу. Причому цей процес починається попереду очисного вибою на 8-10 м, що відповідає зоні розвитку пікових значень опорного тиску в шахтах Західного Донбасу [19, 24].

Технологічні і непередбачувані простой при веденні очисних робіт сприяють просуванню зони обводнення довжиною і шириною лави. При відсутності водопрояву в лаві, через деякий час після її зупинки, виникає обводнення з наростаючою інтенсивністю за площею очисного простору. Ці явища слід, очевидно, пов'язувати з реологічними процесами в породному масиві, які, як зазначалося, сильно виражені в вуглевмісній товщі Західного Донбасу [111].

Величини водопритоку в очисні виробки, для розглянутого структурно-геологічного типу низхідних джерел водопрояву, коливаються в значних межах – від 1 до 30 м³/год, що пояснюється різними колекторськими властивостями водовмісних порід, ступенем їх гідравлічного розвантаження в погашену зону виробленого простору за лавою, а також особливостями взаємодії з бічними породами і застосовуваних кріплень в очисних виробках. Інтенсивність водопритоку, як правило, знижується в часі, що зазвичай спостерігається при завалах лав, які тягнуть за собою тривалі зупинки у веденні очисних робіт (Рис.1.2).

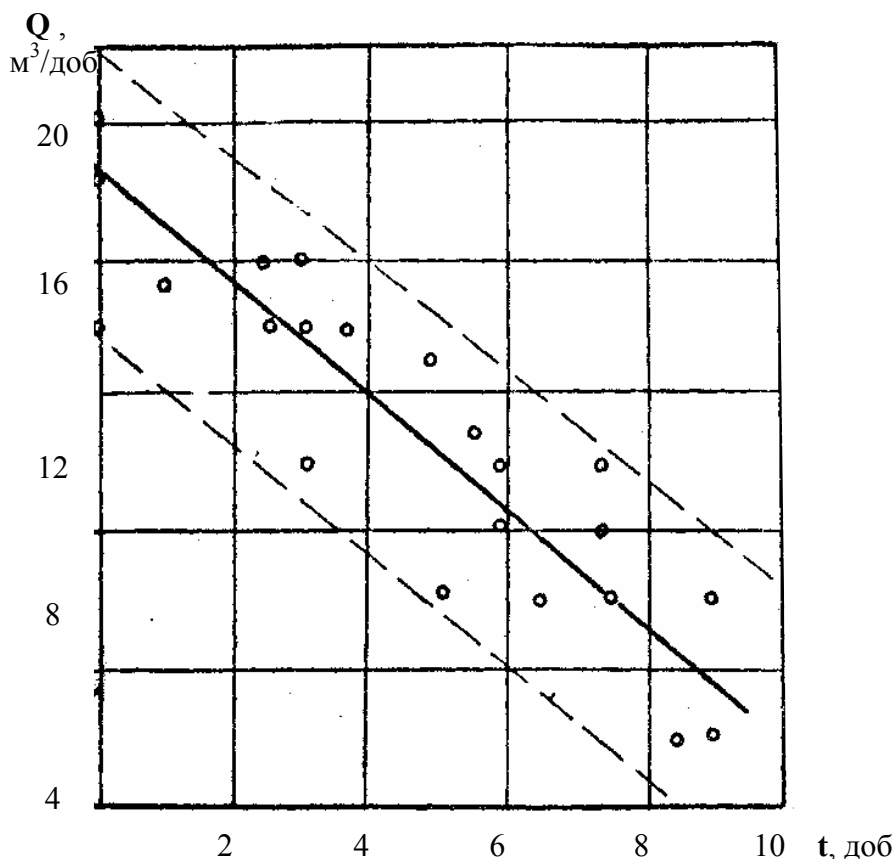


Рис. 1.2. Поле кореляції початкових величин і тривалості водопритоків в очисні виробки шахти "Павлоградська"

Зазначені явища можна пояснити поступовим спрацюванням напорів у водоносних горизонтах без залучення додаткових площ, а також кольматацією водопровідних тріщин аргілітовими породами.

Аналогічно пояснюється і характер розподілу водопроводів в плані. Як правило, ділянки обводнення в лавах формуються на межі з ціликом. Зона гідравлічного розвантаження на контакті очисних виробок і погашеної зони збігається з зоною геомеханічного розвантаження в породному масиві [12, 19], а напрям водопровідних тріщин орієнтований відповідно до кутів зрушення в бік завалених порід.

1.2. Вплив природних і технологічних чинників на процеси фільтрації в зонах, порушених гірничими роботами

Специфіка і різноманітність гірничо-геологічних умов, а також характер взаємодії гірничих виробок з вміщуючими породами обумовлюють різні кількісні характеристики геофільтраційних процесів навколо виробок.

Наведемо деякі кількісні показники впливу цих факторів на геофільтраційний стан гірського масиву.

Статистичний аналіз формування водопрояву в шахтних стволах, підготовчих і очисних виробках найбільш представницький для шахт Красноармійського району Донбасу. За фактичними даними В.Н. Савицької постерігаються наступні закономірності.

Імовірність водопрояву з водопритоками, що ускладнюють гірничі роботи (понад 20 м³/год) згідно [100], зменшується у 30 разів при поглибленні гірничих робіт в інтервалі 100 – 500 м. При цьому зберігається пропорція в розподілі водопритоку в очисні, підготовчі виробки і шахтні стволи у відповідному співвідношенні 60 ... 64%, 32 ... 40%, 1 ... 4%.

Домінуючими чинниками у формуванні водопритоків є літологія гірських порід і ступінь тектонічної порушеності шахтних полів. На Рис. 1.3. наведені відомості, що характеризують закономірні зміни гідродинамічних параметрів водопроявів в групах шахт, виділених за інтенсивністю зазначених геологічних факторів.

Аналіз зв'язку технологічних і природних факторів геофільтрації у формуванні загального гідродинамічного фону шахтних полів простежено на прикладі східної групи шахт Західного Донбасу.

На більшій частині території полів шахт Західного Донбасу продуктивна товща нижнього карбону перекрита водоносними відкладеннями кайнозою і мезозою. У них виділяється більше десяти водоносних горизонтів і комплексів, з яких вода потрапляє у шахти.

Максимальна кількість води в гірничі виробки надходить вугільними пластами і піщаниками, що мають вихід під бучацькі, тріасові і юрські відкладення зі значними запасами підземних вод. Шахтні водопритоки формуються також за рахунок статичних запасів вод, приурочених до вугільних пластів і піщаників, які не мають виходу під водоносний комплекс покривних відкладень.

У роботах [78, 100, 101] запропоновані кореляційні залежності, що відображають кількісний зв'язок водопритоків з площею гірничих робіт, продуктивністю річного видобутку вугілля, співвідношенням фронту гірничих робіт догори і за падінням вугільних пластів. Ці залежності є основою для прогнозу загальношахтних водопритоків і їх застосування цілком виправдано, оскільки рішення гідродинамічних задач в аналітичній постановці для даних умов утруднено.

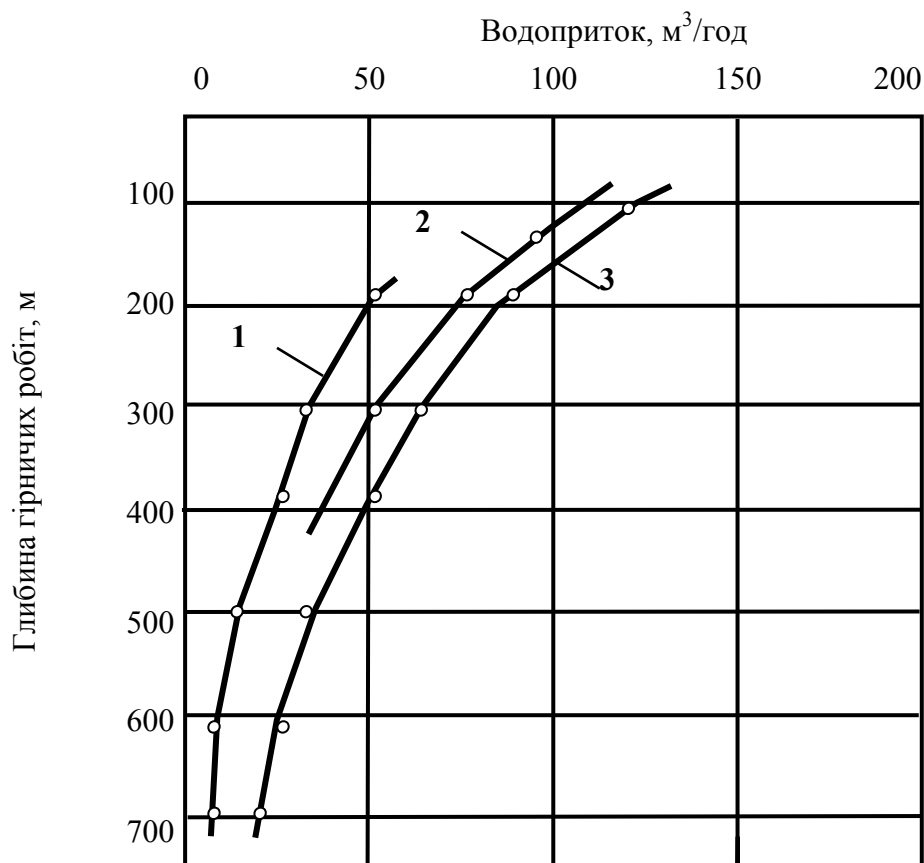


Рис. 1.3. Зміна середніх водопритоків при проривах води в гірничі виробки: 1, 2, 3 – відповідно північна, центральна і південна група шахт Красноармійського району Донбасу (за даними В.Н. Савицької).

За фактичними даними добре простежується, що найбільші величини водопритоку збігаються з максимумом розвитку гірничих робіт уздовж верхньої межі шахтного поля, до того ж ці величини добре корелюють з розмірами виїмкових полів і інтенсивністю відпрацювання пластів відповідно до емпіричних формул, наведених в роботах [70, 102].

Кореляційний аналіз показав, що водопритоки закономірно знижуються за гіперболічною залежністю

$$Q = 2196 \frac{b_1}{T_{II}} + C_1, \quad (1.1)$$

де Q – водопріток, м³/год; T_{II} – період часу після досягнення максимального притоку, год; b_1 та C_1 – параметри регресії.

Дисперсія значень на рівні довірчої ймовірності 0,95 фіксує відхилення фактичних даних від кривої регресії не більше ніж 13,2% [83] (табл. 1.1).

Узагальнення отриманих формул виконано на основі якісного аналізу факторів, що впливають на зменшення водопритоків. Оцінка гірничо-геологічних умов показує, що основними елементами, які визначають процес стабілізації водопритоків, є кольматація і злежування гірських порід, порушених відпрацюванням пластів, а також виснаження статичних запасів

підземних вод кам'яновугільних відкладень. Останнє дійсно підтверджується зниженням мінералізації шахтних вод і її змішуванням з мінералізацією бучакського водоносного горизонту на досліджених ділянках шахтних полів.

Таблиця 1.1

Результати регресійного аналізу згасання водопритоку

Показники регресійного аналізу	Найменування шахт, індекси пластів					
	бремсбергове поле ш. «Степова»		бремсбергове поле ш. «Ювілейна»		бремсбергове поле ш. ім. Героїв Космосу	
	C_6	C_6^*	C_6	C_6^*	C_9	C_1
Коефіцієнт парної кореляції	0,95	0,94	0,95	0,82	0,90	0,85
Коефіцієнт регресії, b_1	3169,2	1989,8	1152,9	177,9	482,3	1343,2
Вільний член в управлінні регресії, C_1	137	62	77	45	0.8	100

Інтенсивність протікання процесів, що розглядаються, напевно, повинна стійко реагувати на величину, сумарно відображаючи гідравлічний зв'язок карбону і мезокайнозою. Чисельно показник інтенсивності згасання може мати вигляд деякого параметра з розмірністю об'єму, що відображає інтегральну суму втрат від зниження швидкості притоку в оцінюваний проміжок часу.

Параметр b_1 (коефіцієнт регресії, наведений в таблиці) має розмірність об'єму і пов'язаний з максимальною величиною водопритоку на ділянці шахтного поля. Очевидно, що b_1 відображає граничну величину гідравлічного зв'язку карбону і мезокайнозою. Параметр C_1 (вільний член в рівнянні регресії) має розмірність притоку і характеризує незмінну частину його інтенсивності. Доречно зазначити, що $C_1 = f(Q)$ логарифмічно вирівнюється, що характерно для гідродинамічних залежностей зв'язку напорів і притоку (в даному випадку Q може розглядатися деяким непрямим аналогом напору).

Статистичний аналіз факторів, що формують водопрояр в очисних виробках, показує, що система «водоносні породи – міжпластя - механізоване кріплення» взаємообумовлена. Характерно, що розподіл ускладнень в лавах у вигляді вивалів і затиснутих секцій кріплення багато в чому зумовлюється потужністю міжпластя до водоносних порід. Рівноймовірний появ обох подій відповідає потужності водотривких порід, гравітаційну вагу яких можна порівняти з опором кріплення. При близькому положенні важкої покрівлі

(піщаник) в більшій мірі відображується її навантажувальні властивості в поєднанні з розміщенням розмокаючої безпосередньої покрівлі.

Очевидно, що для обґрунтування технологічних заходів гідрозахисту виробок шахт, необхідна параметризація цього процесу.

Проаналізуємо зв'язок гідродинамічних процесів формування водопритоку на ділянці ведення очисних робіт і геомеханічних факторів, що обумовлюють водопрояви в очисних виробках при підробці водоносних горизонтів. Характер зв'язку необхідно встановити для обґрунтованого детермінування зазначених факторів при виборі гірничотехнічних заходів захисту від водопроявів.

Шляхи дренажу та збору води викликаються якісно різними, але взаємообумовленими процесами зрушення гірських порід і напружено-деформованого стану в околиці очисної виробки. Наприклад, вважається, що зона водопровідних тріщин на межі підтримуваного і обваленого простору мобільна і постійно прагне наблизитися до призабійної частини лави [6, 13]. Хоча твердження гіпотетичне, воно не суперечить апробованим уявленням про тимчасові процеси в зрушенні підробленого породного масиву.

Очевидно, що фільтраційні характеристики зони обвалення порід над очисною виробкою різко відмінні, оскільки початкове розпушення викликається відповідно відрізняючимися на порядок виїмковою потужністю пласта і конвергенцією покрівлі [19] в підтримуваному просторі.

Припускаючи, що гідродинамічний зв'язок гірничих виробок, в тому числі і зони погашеного простору, з підроблюваними водоносними породами існує незалежно від геомеханічних умов появи тріщин в околиці очисної виробки, можна розвинути висновки авторів роботи [30, 32] про керованість водопритоку, як складним гірничо-геологічними процесом.

Оцінимо наявність залежності величин водопритоків, виміряних в основних підготовчих виробках, з частотою і питомою частотою проривів води в лави з підроблюваного водоносного горизонту. Величина водопритоку кількісно характеризує загальний гідродинамічний зв'язок ділянки виїмкових робіт з водоносними породами, частота і питома частота - інтенсивність утворення тріщин над очисною виробкою, причому такі її значення, коли розкривається водоносний горизонт. Питома частота прийнята рівною кількості водопроявів в лавах на одиницю площі гірничих робіт.

Сенс зазначеної залежності полягає у встановленні частки водопритоків в лави в загальному водопритоці, що формується на ділянці виїмкових робіт, включаючи і погашені площі.

Слід відразу пояснити правомірне заперечення з приводу неадекватності співставлення величин питомої частоти проривів і абсолютних значень водопритоків, виміряних в водозбірних виробках. Перша та друга величини залежать від приросту площі очисних робіт, однак, функція зв'язку водопритоку з площею очисних робіт на кілька порядків слабкіше [34]. Як приклад розглянемо шахту "Дніпровська" ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля", де фактичні дані про водопрояви в лавах найбільш представницькі, однак експлуатаційні ускладнення через прориви води не настільки значні. Останнє істотно тому, що

дозволяє відсіяти вплив кольматації тріщин в заваленій зоні за рахунок ущільнення гірських порід при злежуванні.

Спостереженнями охоплено чотирирічний період 1976-1980 рр. при відпрацюванні пласта C_{10}^e на горизонті 265 м. Безпосередня покрівля відпрацьовуваного пласта представлена алевролітами з коефіцієнтом міцності 2,0 за шкалою проф. М.М. Протод'яконова. Потужність безпосередньої покрівлі 1,0-2,7 м. Основна покрівля добре виражена і складена 20-метровою товщею шаруватих пісковиків з коефіцієнтом міцності 3-4,5. Посадки основної покрівлі відбувалися через 30-35 м. У підшві пласта залягають алевроліти міцністю 2,5. Алевроліти порівняно стійкі до втрати міцності в воді і, що особливо важливо, не набувають липкості при зволоженні, яка ускладнює експлуатацію механізованого кріплення "Донбас" за рахунок перекосів. Ці обставини сприяли відносно стійкій роботі видобувних дільниць шахти "Дніпровська" в умовах частих водопроявів в лавах.

Похиле поле горизонту 265 м підготовлено на західному і східному крилі для відпрацювання прямим ходом. Система розробки - довгі стовпи з посуванням лав догори. Довжина стовпів 900-1500 м, довжина лав 150-200 м. Лави оснащені механізованим кріпленням "Донбас", виїмка вугілля проводиться комбайном 1К-101.

Збір і відведення води, що дренується заваленою зоною і очисними виробками, здійснюється за допомогою дренажного штреку.

Водовмісною породою є основна покрівля - піщаник. Його фільтраційні характеристики невисокі і складають соті частки метрів на добу. Добре виражений міцнісний розділ основної і безпосередньої покрівель приводить до помітних аномальних навантажень в породному масиві у періоди посадок основної покрівлі. Утворені тріщини розпушували водовмісний піщаник і створювали штучні дренажні зони з водопритокком до $10 \text{ м}^3/\text{год}$.

Відомості про величину водопритоків і зафіксованих водопроявів документувалися на планах гірничих робіт. У розрахунок прийняті дані вимірів водопритокку західного і східного дренажних штреків і відповідні їм 187 зафіксованих випадків водопрояву в лавах. Результати згруповані в 5 представницьких вибірках за панелям. При знаходженні функціонального зв'язку факторіальною ознакою приймалися величини частоти і питомої частоти водопрояву в лавах, результативною – величини водопритоків. Випробувана лінійна, параболічна, ступенева і поліноміальна залежності. Жоден з видів цих функцій не дав наближення з коефіцієнтом кореляції більше 0,3.

Вироблена перевірка вибірок за критеріями Фішера і Стьюдента [3] також підтверджує відсутність кількісного зв'язку між ознаками.

Отримані результати дозволяють зробити важливий висновок: гідродинамічна схема водопритокку в гірничі виробки на ділянці виїмкових робіт не залежить від умов формування водопрояву в лавах, тобто останніми можна управляти не погіршуючи загального гідродинамічного фону.

1.3. Аналіз використання гідрозахисних властивостей породного масиву над виробками

Проблеми підвищення ефективності і безпеки гірничих робіт у зв'язку з підробкою пухких водоносних порід найбільш актуальні на Україні для районів Західного Донбасу, Львівсько-Волинського басейну, Дніпробасу. Успішне вирішення цих проблем включає два взаємозалежних аспекти: природоохоронний і технологічний. Нами показано [17], що ігнорування одного з них ускладнює загальну ситуацію, яка характеризується рівнем ефективності гірничих робіт і відповідними екологічними збитками, що заподіюються шахтним водовідливом. Навіть стабілізація останнього, при одночасному збільшенні повноти виїмки запасів вугілля, істотно знижує екологічні втрати в розрахунку на тону видобутого вугілля.

Розглянемо рішення цих задач на прикладі пласта C_8'' в Західному Донбасі.

В основу нормативів для встановлення безпечних границь ведення гірничих робіт під водними об'єктами (в т.ч. пухкими водоносними горизонтами) в Західному Донбасі покладені дослідження Г.Т. Василенко [23, 24], який з використанням люмінофорів встановив межу розвитку водопровідних тріщин в обваленій зоні очисних виробок. За цими даними, а також з урахуванням можливих відхилень від трендової поверхні карбону, допустима величина наближення контуру гірничих робіт визначена двадцятьма кратностями виїмкової потужності вугільного пласта, але не менше 25 м. Останнє значення, головним чином, і обумовлює контури відпрацювання пластів вверх за падінням, оскільки в більшості випадків виїмкова потужність не перевищує 1,0 ... 1,2 м. При значеннях корисної потужності пласта 1,25 м і більше виїмка вугілля проводиться з залишенням захисної пачки, що збільшує його втрати в надрах.

До теперішнього часу склалися в основному однозначні уявлення про механізм деформування масиву гірських порід при відпрацюванні вугільних пластів [5, 6, 46] Існуючі відмінності пов'язані з цільовим призначенням вирішуваних завдань, ступенем деталізації порушеної частини масиву, припущеннями в прийнятій гіпотезі напружено-деформованого стану гірського масиву і т.д.

У шахтах Західного Донбасу відпрацювання пластів ведеться очисними забоями з керуванням покрівлею повним обваленням. У цьому випадку характер деформування підробленої товщі представляють розвитком характерних зон [12, 13, 19].

Зона повного (безладного) обвалення, кратна за висотою двом-трьом виїмковим потужностям пласта. Водопроникність цієї зони практично необмежена.

Відшарування, прогин і осідання верхніх шарів порід відбувається у вигляді шарнірних блоків більш плавно, оскільки вони спираються на розпушену зону повного обвалення. У цій зоні утворюються вертикальні, пошарово січні тріщини і тріщини розшарування за напластуванням.

Потужність і проникність розглянутої зони визначають водозахисні властивості підроблюваного масиву в цілому. Її параметри залежать від виїмкової потужності пласта, розмірів очисної виробки, шаруватості і фізико-механічних властивостей гірських порід.

Вище розташована зона плавного прогину порід з розривами суцільності напластовання або без них.

Необхідно оцінити ступінь водозахисних властивостей гірських порід, що складають покрівлю пласта C_8 для того, щоб аргументовано підвищити його виїмкову потужність з максимально можливим наближенням до геологічної.

При належному обґрунтуванні безпеки гірничих робіт цей захід зміщує в сторону опріснення водно-сольового балансу шахтний водовідлив, оскільки додатковий приток по пласту C_8 вже до початку його відпрацювання сформував різке опріснення шахтних вод. З іншого боку, додаткова виїмка вугілля при інших рівних умовах знижує, як зазначалося, коефіцієнт водозбагаченості шахти, що завжди вигідно економічно при стабільній екологічній навантаженості.

Згідно з діючими нормами [75] відпрацювання вугільних пластів під бучакським водоносним горизонтом в Західному Донбасі ведеться з залишенням захисної товщі порід, яка визначається за формулою

$$h_o = k_o m_o, \quad (1.2)$$

де h_o – безпечна глибина ведення гірничих робіт (потужність захисної товщі), k_o – коефіцієнт безпеки, m_o – виїмкова потужність пласта. Величина k_o , що чисельно дорівнює кратності h_o виїмкової потужності пласта m_o , становить 20. Зменшення h_o менше 25 метрів не допускається.

Коефіцієнт безпеки коливається за різними вугільними басейнами в широких межах. В роботі [48] відзначається, що великий діапазон змін цієї величини можна пояснити відмінністю гірничо-геологічних умов у вугільних басейнах, проте головними причинами є різний підхід до визначення безпечної глибини, недостатній досвід підробки водних об'єктів, несумісність вихідних даних і т.д. Загальна тенденція до завищення значень коефіцієнта безпеки пояснюється тим, що вони встановлені, головним чином, в найбільш несприятливих умовах і не враховують належною мірою конкретні гірничо-геологічні умови. При накопиченні і уточненні фактичних і експериментальних даних, в цілому, відзначається зменшення коефіцієнта безпеки при оновленні нормативів [13].

Регламентація критеріїв оцінки водозахисних властивостей підроблюваних міжпласть гірських порід, про що говорилося вище, означає встановлення досить простого співвідношення між потужністю водозахисних шарів і потужністю вугільного пласта, що виймається. Якщо врахувати, що геомеханічний стан гірських порід в цих умовах складний, то практикується підхід до оцінки критеріїв, очевидно, викликаний неможливістю їх точної, більш гнучкої параметризації на сучасному етапі розвитку гірничої науки.

Мабуть, це положення можна виправдати і на перспективу, оскільки ціна помилок в цій частині вимірюється не тільки економічними втратами.

Метод багатоцільових оцінок надає підстави для зниження коефіцієнта безпеки і, зокрема, віднесення висновків за результатами досліджень до конкретних гірничо-технічних умов. Слідуючи цьому, проведені порівняльні розрахунки і аналітичні дослідження з використанням наявних експериментальних і теоретичних даних, даних практичного досвіду для встановлення резерву водозахисних властивостей гірських порід в гірничо-геологічних умовах пласта S_8 шахти "Тернівська" ПАТ "ДТЕК Павлоградвугілля".

1.4. Стан науково-методичної та технологічної бази з гідрозахисту при веденні гірничих робіт

В існуючих науково-практичних розробках з врахування фільтраційних процесів при веденні гірничих робіт можна виділити чотири основних напрямки: гідрогеологічне прогнозування водопритоку, оцінка зони водопровідних тріщин з точки зору безпеки гірничих робіт, прогнозування гідродинамічних процесів в гірському масиві навколо виробок, розробка технологічних засобів боротьби з водопритоками при веденні гірничих робіт.

Розглянемо коротко ці напрямки.

Гідрогеологічні розрахунки водопритоку в гірничі виробки виконуються, як правило, на стадії проектування шахт, рудників, нових горизонтів і т.д. Це необхідно для вибору потужностей водовідливних установок і розміщення підземних водовідливних мереж. Розвинені два основні методи прогнозування водопритоку - гідродинамічний і метод аналогій [70].

У гідродинамічному методі гірничі виробки (або мережа виробок) розглядаються дренажною порожниною контурів водоносного горизонту. Шляхом схематизації фільтраційного поля задача зводиться до вирішення диференціальних рівнянь гідродинаміки при крайових умовах першого, другого або третього роду. Явний вигляд розрахункових формул досягається застосуванням відомих в математичній фізиці перетворень Лапласа-Карсона, Фур'є, Функцій Бесселя і т.п. Незважаючи на це, врахування найпростішої фільтраційної неоднорідності, нестационарності на контурах області фільтрації, наближення до реальної геометрії стічних границь і їх зміна при веденні гірничих робіт, висувають непереборні математичні труднощі в отриманні рішень. Тому відомі формули відображають вельми прості умови, ідеалізують реальну гідродинамічну картину. Згадаємо в цьому зв'язку формулу В.Д.Бабушкіна [34] для розрахунку водопритоку в шахтний стовбур, яку з огляду на громіздкість зручно привести в вигляді

$$Q = f(k_{\phi}, S, m, H_e, R_b, r_c, r_n, l_3), \quad (1.3)$$

де відповідно позначені: водопріток, коефіцієнт фільтрації водоносних порід, зниження п'єзометричного рівня, потужність напірного водоносного горизонту, початкова висота п'єзометричного рівня над водотривкою підшовою

горизонту, радіус гідродинамічної депресії, радіус стовбура, параметр форми вибою стовбура, заглиблення забою в водоносні породи. Формула не знайшла широкого практичного застосування через значні (до 300% за даними В.Н. Савицької) розбіжності величин фактичних і прогнозованих водопритоків.

Найімовірніше розбіжності обумовлені значними змінами проникності в пристовбуровій зоні, а також істотним впливом нестационарності фільтраційного поля в фазах розкриття водоносних порід і подальшого заглиблення забою ствола.

Метод аналогій [119] заснований на якісному або кількісному (наприклад, із застосуванням статистичних методів подібності об'єктів) встановленні гірничо-геологічної ідентичності проектованої і існуючої шахти або горизонту. При наявності такої подібності, водопритокі зіставляються в пропорціях аналогічних співвідношенню глибин і площ гірничих робіт.

Метод аналогій отримав розвиток із застосуванням кореляційного аналізу на ЕОМ. Наприклад, в роботах [70, 78, 125] показані стійкі зв'язки водопритоку з параметрами водоносних горизонтів і інтенсивністю відпрацювання вугільних пластів і рудних тіл. Теоретично більш суворим представляється напівемпіричний аналіз функцій перетікання в зону ведення гірничих робіт з відомими гідродинамічними параметрами формування ресурсів підземних вод [34]. У такому варіанті зручні для розгляду природоохоронні аспекти підземної гідросфери при розробці родовищ.

Вивчення зони водопровідних тріщин в покрівлі виробок носить виразний прикладний характер [24, 34, 48]. У зв'язку з цим, ймовірно, в дослідженнях превалює емпіричний аналіз натурних і експериментальних даних про розміри зони водопровідних тріщин в гірських породах, що розділяли водні об'єкти та гірничі виробки. Контурами цієї зони є наближення гірничих робіт до водоносних порід пухкої будови. Аналітичне рішення задачі формування зони водопровідного розпушення і водопритоку з неї [113] можна віднести поки до ілюстративно-методичного варіанту.

Розгляд гідродинамічних процесів в гірському масиві навколо виробок актуально у зв'язку з необхідністю врахування гідравлічного навантаження кріплення, тампонажним і фізико-хімічним зміцненням порід, зменшенням водопритоків, прогнозуванням газодинамічних явищ і дегазацією гірських порід [42].

Найбільший розвиток в цьому напрямку отримали теоретичні та експериментальні дослідження фільтраційної газопроникності гірських порід і формування газодинамічних явищ в шахтах і рудниках [1, 46], гідродинамічні дослідження тріщинуватої проникності порід, які підлягають тампонажу [9], а також механізм протікання процесів газодинаміки і зрушення в гірському масиві [1, 5, 6]. Для більшості рішень можна відзначити ряд характерних особливостей: використання лінійного закону фільтрації, врахування зміни проникності масиву за співвідношенням компонентів поля напружень, використання методу послідовної зміни стаціонарних станів на межі газового скупчення. В окремих випадках враховуються: відхилення від лінійного закону фільтрації, нестационарність геомеханічно порушеного масиву і дискретність

його нових властивостей (наприклад, поява порожнин розшарування), незворотні деформації гірських порід, врахування геометрії крайових умов застосуванням чисельних методів та інші.

У геомеханічному обґрунтуванні параметрів стійкості виробок на сучасному етапі сформувалося кілька наукових напрямків [27, 41, 47, 51, 61]. У роботах провідних вчених використовуються методи механіки суцільних і дискретних середовищ, аналітичні, експериментально-аналітичні, ймовірностатистичні методи, враховуються анізотропія і неоднорідність властивостей масиву, його реологічні параметри і параметри різних фаз деформування і руйнування. У розглянутих аспектах, ці роботи становлять наукову базу для оцінки поведінки основної твердої фази гірського масиву як середовища, в якому реалізуються геомеханічні і фільтраційні процеси.

Просторова параметризація геометрії і розмірів тріщин в водоносних породах, як факторів формуючих їх неоднорідну проникність, докладно обґрунтована експериментально і теоретично в роботах [56, 81, 107]. Вони служать вихідною базою для реалізації комплексного методу тампонажу водоносних порід при будівництві шахт і їх експлуатації в складних гідрогеологічних умовах [83, 94]. Крім врахування властивостей тампонажних розчинів і масиву порід, технологія тампонування збагачена новими розробками щодо застосування гідрозриву тріщин, гідрогеомеханічного обтиснення обводнених зон тектонічного дроблення та ін.

Технології та засоби спеціальних способів закріплення пухких водонасичених порід (в т.ч. з пливунними властивостями) розвинені в роботах [54, 64]. Вони базуються на фізичному (заморожування) або фізико-хімічному (силікатизація, парафінізація) перетворенні властивостей гірських порід з доведенням гірського масиву до твердого стану.

Серед технологічних засобів боротьби з водопритоками при веденні гірничих робіт найбільш широко поширені дренажні схеми попереднього осушення водоносних порід [63, 105]. В умовах підвищеного вмісту води в піщано-глинистих відкладеннях Підмосковного і Дніпровського вугільних басейнів попереднє осушення порід через забивні фільтри, висхідні свердловини або наскрізні фільтри є вкрай необхідним заходом забезпечення процесів очисної виїмки [64].

Перспективними, на наш погляд, є гірничо-технічні способи управління водопроявами при веденні очисних робіт [101-103]. На відміну від дренажних схем вони не є обов'язковими, але містять значні резерви підвищення ефективності будівництва шахт і розробки родовищ. Сутність цих способів у врахуванні гідрогеомеханічних і структурно-геологічних особливостей в системі "водоносні породи – гірничі виробки". Водопрояви розглядаються в ряду домінуючих факторів, що ускладнюють гірничі роботи, тому оптимальність параметрів схем підготовки, систем розробки, застосовуваних засобів механізації обумовлена врахуванням цього фактора. Серед апробованих гірничотехнічних способів управління водопроявами відомі [76, 78, 90]: порядок відпрацювання бремсбергу і похилої частини шахтного поля для гідродинамічно відкритих і закритих вугільних пластів, швидкісний режим

введення в експлуатацію виїмкових стовпів, діагональні лави, чергування довгих і коротких лав та ін. їх застосування стримуються відсутністю досвіду і нормативної документації.

Виконаний факторний аналіз формування водопритоку в гірничі виробки і аналіз стану науково-методичної та технологічної бази з управління фільтрацією в гірському масиві показує, що водопрояви при веденні гірничих робіт відносяться до ряду домінуючих факторів, що ускладнюють будівництво і експлуатацію шахт. Тим не менш, не існує єдиних наукових основ щодо їх врахування та застосування ефективних технологічних засобів боротьби з ними.

ГЛАВА 2

ДИНАМІКА ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В ПІДРОБЛЕНОМУ ГІРСЬКОМУ МАСИВІ

2.1. Зміна параметрів фільтрації в порушеному масиві

На просідаючій території поєднуються одночасно чотири фактори, що впливають на стан рівня ґрунтових вод:

1) просідаюча ділянка знаходиться всередині області фільтрації і розташована в ньому дрена осідає разом, завдяки чому її заглиблення щодо нерухомих границь області фільтрації збільшується і при цьому досягається більший дренажний ефект (рис. 2.1, а);

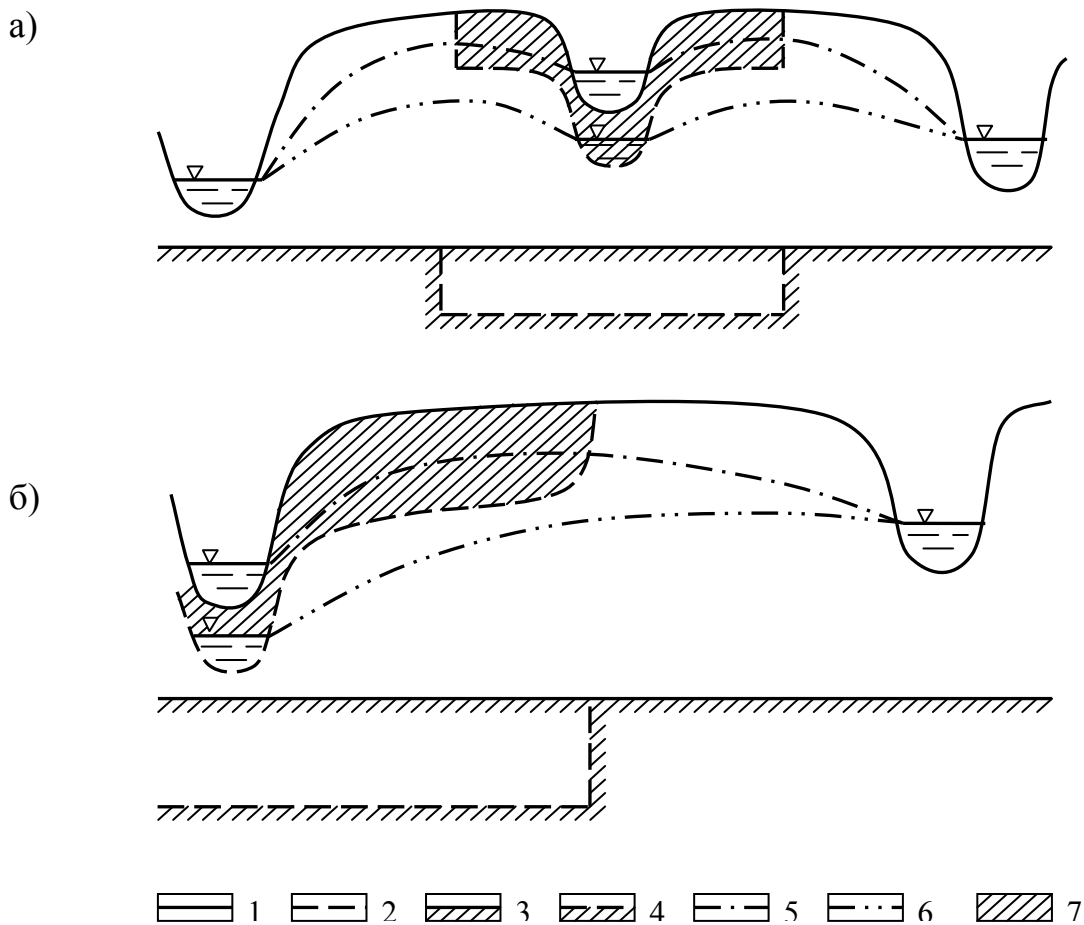


Рис. 2.1. Характерні випадки висотного положення границь області фільтрації при осіданні: 1, 2 – поверхня землі до і після підробки, відповідно; 3, 4 – підшва водоносного горизонту до і після підробки, відповідно; 5, 6 – положення природного рівня ґрунтових вод та при зміні висотного положення області фільтрації, відповідно; 7 – зона осідання земної поверхні.

2) при просіданні зовнішніх меж ділянки (водотоки) і зниженні рівня води в них простежується зміна рівня ґрунтових вод на прилеглий території (рис. 2.1, б);

3) зниження земної поверхні на ділянці просідання наближає її до рівня ґрунтових вод, зменшуючи глибину його залягання;

4) при зменшенні глибини залягання рівнів ґрунтових вод зростає величина витрати води на випаровування, що веде до певного зниження рівня ґрунтових вод.

Таким чином, сумарний вплив першого, другого і четвертого факторів призводить до зниження рівня ґрунтових вод і збільшення глибини його залягання від поверхні землі; вплив же третього фактора - зменшує її, іноді до розмірів, менших початкового.

Отже, завдання полягає в тому, щоб кількісно оцінити роль кожного з перерахованих вище факторів і врахувати їх при виконанні гідродинамічних розрахунків дренажів на підроблюваних територіях.

2.1.1. Вплив збільшення потужності водоносного горизонту при просіданні водоупору на положення рівня ґрунтових вод

У розрахунковій схемі розглянуто ділянки з великою потужністю зони аерації, де зміна витрат на випаровування з рівня ґрунтових вод не відбувається. Розрахунки включають визначення ухилу депресійної кривої рівня ґрунтових вод J при різних просадках водоупору і пов'язаної з цим величиною h_{cp} та $\frac{\Delta h}{2}$ (рис. 2.2).

При цьому визначено, що величина витрат потоку є величиною постійною (тобто витрата вологи на випаровування з рівня ґрунтових вод в природному стані відсутня і вона не виникає при осіданні, а інфільтрація атмосферних опадів зберігається постійно) як у часі, так і в плані.

Витрата потоку розраховується за відомою формулою Дарсі [57]

$$q = kh_{cp}J, \quad (2.1)$$

де k - коефіцієнт фільтрації водовмісних порід; h_{cp} – середня потужність водоносного горизонту; J – гідравлічний ухил потоку.

У природних умовах величина одиничної витрати потоку для даних, наведених на рис. 2.2 ($k = 4$ м/доб; $h_1 = 10$ м; $h_2 = 7$ м; $J = 0,003$), буде дорівнювати $0,102$ м²/доб.

При просіданні поверхні витрата потоку зберігається. Виходячи з цього положення, витрата потоку в межах розрахункових ділянок 1 і 2 буде дорівнювати

$$q_1 = q_2 = q_e$$

або

$$k_1 h_{cp1} J_1 = k_1 h_{ch2} J_2, \quad (2.2)$$

$$J_2 = \frac{q_e}{k_1 h_{cp2}} \quad (2.3)$$

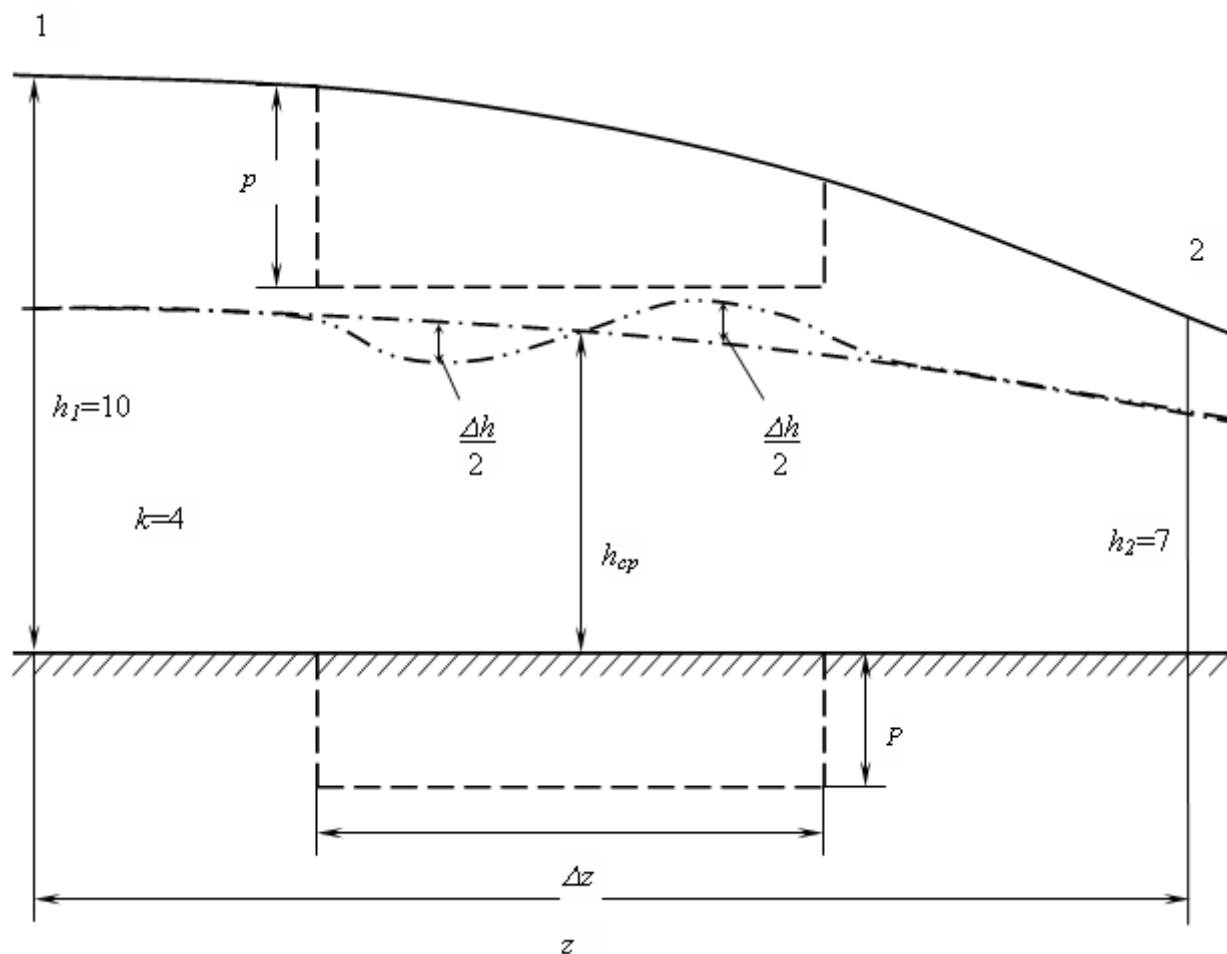


Рис. 2.2. Схема до розрахунку зміни положення рівня ґрунтових вод при збільшенні потужності водоносного горизонту при просіданні водоупору.

Розрахунки величини гідравлічного ухилу (J_2) за формулою (2.3) і перепаду напорів водоносного горизонту (Δh) в межах ділянки просідання виконані для різних значень величини просідання p і відповідно h_{cp2} . Результати цих розрахунків наведені в табл. 2.1.

Аналіз табличних даних дозволяє зробити наступний висновок – просідання осадової товщі призводить до опускання водоупору і пов'язаного з цим зростання потужності першого від поверхні водоносного горизонту, що позначається на зміні гідравлічного ухилу ґрунтових вод в межах ділянки просідання. При зміні величини просідання від 1 до 5 м, перепад напорів на границях просідаючої ділянки за рахунок потужності змінюється від 0,3 до 0,5 м

Таблиця 2.1

Зміна ухилу ґрунтових вод і перепаду напорів водоносного горизонту при зміні величини просідання підроблюваної території

Витрата ґрунтового потоку, $m^2 / \text{доб}$	Коефіцієнт фільтрації, $m/\text{доб}$	Довжина просідаючої ділянки z , м	Середня потужність водоносного горизонту, м	Ухил потоку, J_2	Перепад напорів на границях просідаючої ділянки, Δh , м	$\frac{\Delta h}{z}$	Величина осідання p , м
0,102	4,0	400	8,5	0,003	-	-	0,0
			9,5	0,0027	1,07	0,53	1,0
			10,0	0,0025	1,00	0,50	1,5
			10,5	0,0024	0,97	0,48	2,0
			12,0	0,0021	0,85	0,42	3,5
			12,5	0,0020	0,82	0,41	4,0
			13,0	0,0019	0,78	0,39	4,5
			14,0	0,0018	0,73	0,37	5,5
			14,5	0,0017	0,70	0,35	6,0
			15,0	0,0017	0,68	0,34	6,5

2.1.2. Вплив просідання меж області фільтрації на формування рівня ґрунтових вод

Розрахунок формування рівня ґрунтових вод в однорідній товщі, коли відбувається просідання частини території області фільтрації разом з зовнішньою границею, виконаний для умов несталого і стаціонарного режиму фільтрації.

Для розрахунку несталого режиму ґрунтових вод використаний метод скінченних різниць Г.Н. Каменського [29].

Розглянуто профіль протяжністю $L = 1537$ м, що відповідає ширині шахтного поля, складений однорідним піском з коефіцієнтом фільтрації $k = 4$ м/добу і водовіддачею $\mu = 0,1$. Профіль з двох сторін обмежений річками № 1 і № 2 (рис. 2.3). У момент часу $t = 0$ відбувається просідання ділянки поверхні землі протяжністю $l = 758$ м, прилеглої до річки №1. Величина осідання p становить 2 м.

Одночасно опускається частина річки № 1, що знаходиться в зоні просідання. Рівень води в річці на цій ділянці штучно підтримується нижче первісного на величину просідання. Глибина залягання рівня від поверхні землі

на профілі перевищує висоту капілярного підняття, завдяки чому витрата вологи на випаровування відсутня.

При просіданні земної поверхні і одночасному опусканні річки № 1 відбувається опускання рівня ґрунтових вод в зоні просідання і випаровування не збільшується.

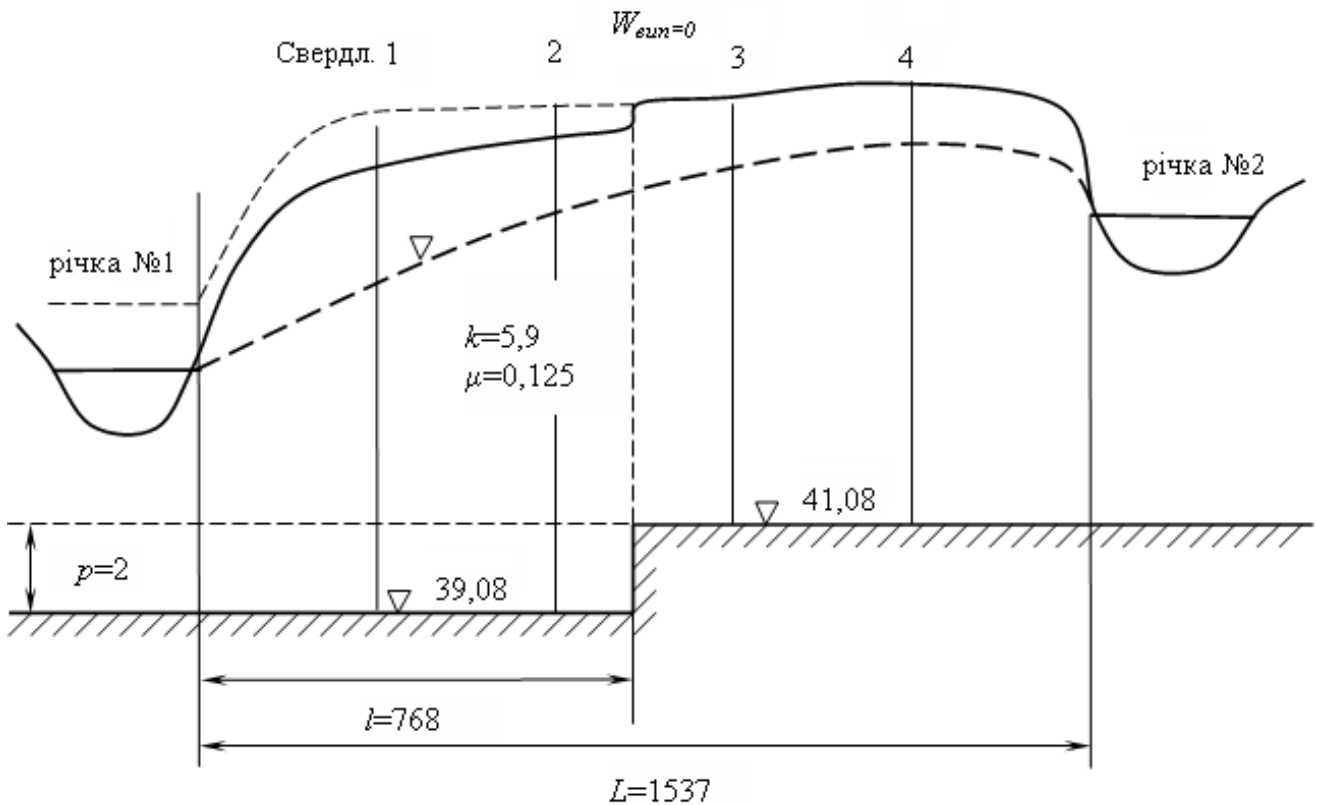


Рис. 2.3. Схема до розрахунку впливу просідання границь області фільтрації на формування рівня ґрунтових вод.

Завдяки одночасному опусканню рівня води в річці № 1 і площини водотриву (див. рис. 2.3), потужність водоносного горизонту в цьому перерізі зберігається. Положення рівня ґрунтових вод в умовних свердловинах № 1, 2, 3, 4 розрахункового профілю визначається за формулою [29].

$$h_2'' = h_2' + \frac{2kh\Delta t}{\mu\Delta x^2} \left(\frac{h_1 + h_3}{2} - h_2 \right) + \frac{W}{\mu} \Delta t, \quad (2.4)$$

де Δt та Δx – розрахункові кроки за часом і простором; W - інтенсивність інфільтрації; h_1 та h_3 - потужність обводненої товщі в верхньому і нижньому розрахункових перетинах; h_2' та h_2'' – потужність обводненої товщі в середньому розрахунковому перерізі на попередній та наступний моменти часу.

Прийнявши $\frac{2kh\Delta t}{\mu\Delta x^2} = 1$, отримаємо більш простий вираз

$$h_2'' = h_2' - h_2 + \frac{h_1 + h_3}{2} + \frac{W}{\mu} \Delta t \quad (2.5)$$

При невеликій величині Δt в порівнянні із загальним періодом можна допустити, що $h_2 = h_2'$ та $h_1 + h_3 = h_1' + h_3'$. Використовуємо потужність водоносного горизонту на початок періоду часу Δt , а не на середній момент часу Δt . У цьому випадку рівняння (2.5) спрощується і набуває вигляду

$$h_2'' = \frac{h_1 + h_3}{2} + \frac{W}{\mu} \Delta t. \quad (2.6)$$

Рівняння (2.6) є залежністю для розрахунку депресійної поверхні при просідання однієї з меж області фільтрації.

В основі розрахунків рівня ґрунтових вод використані дані таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Данні щодо початкового положення рівня ґрунтових вод на просідаючій території

Переріз	Відстань від річки, м	Абсолютна відмітка рівня, м	Потужність водоносного шару, м
річка 1	0	51,70	10,62
сверд. 1	100	51,92	10,84
сверд. 2	409	52,22	11,14
сверд. 3	721	52,57	11,49
сверд. 4	1237	52,75	11,57
річка 2	1537	52,91	11,80
середнє			11,43

Водотривкий шар прийнятий горизонтальним, розташованим на позначці 41,08 м.

Величина інфільтрації приймається рівною нулю, що дозволяє спростити розрахунки. Вибір кроків за часом Δt і простором Δx здійснюється наступним чином. Визначивши середнє значення потужності водоносного шару $h = 11,43$ м і прийнявши $\Delta x = 60$ діб, з формули

$$\frac{2kh\Delta t}{\mu\Delta x^2} = 1,$$

отримуємо

$$\Delta x = \sqrt{\frac{2kh\Delta t}{\mu}} = 103,4 \text{ м.}$$

Розрахунки зміни рівня ґрунтових вод виконані на період його стабілізації 18 місяців. На рис. 2.4 представлені розрахункові криві на декілька моментів часу

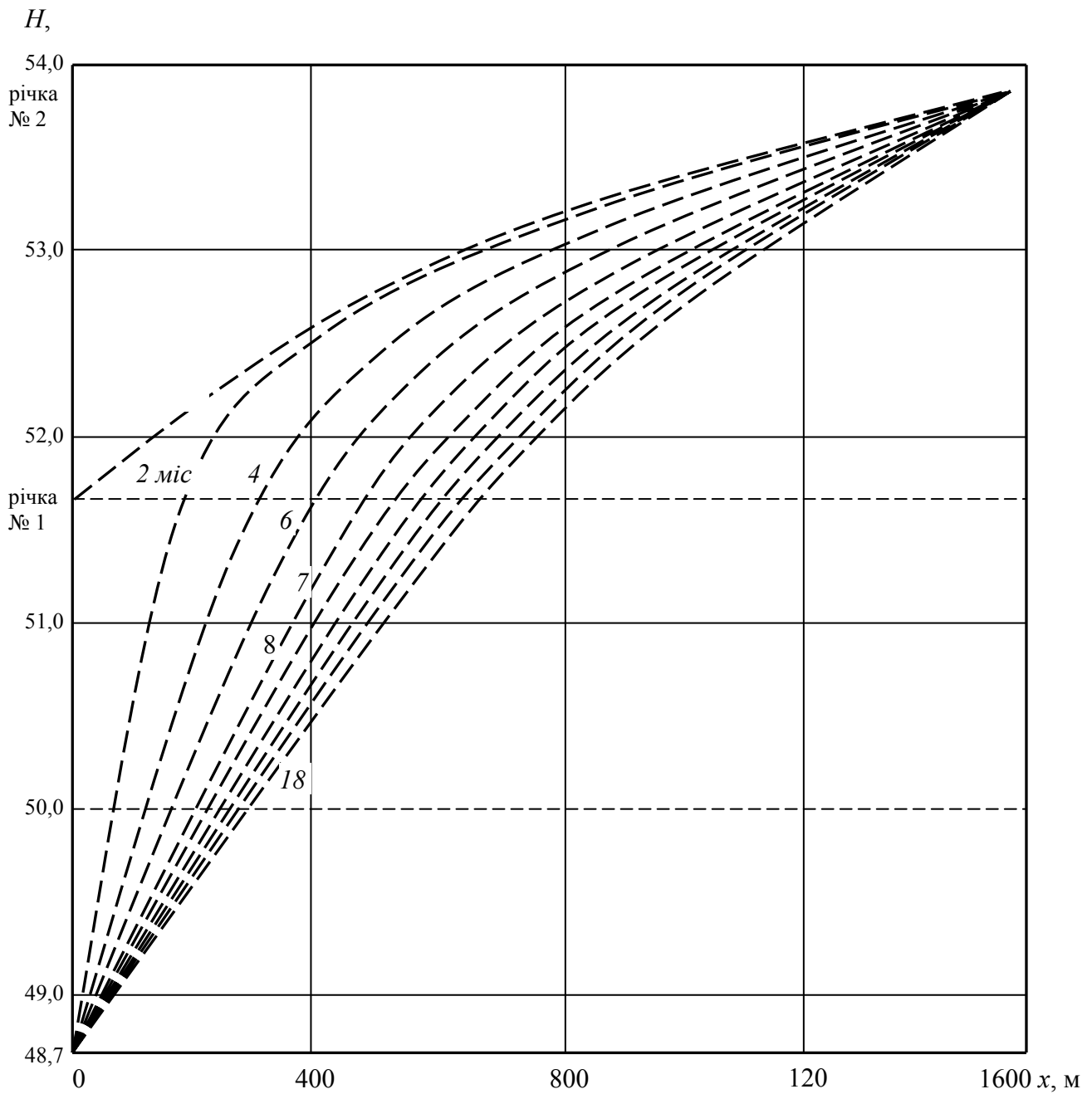


Рис. 2.4. Зміна рівня ґрунтових вод в часі при просідання кордонів області фільтрації

Розрахунки стаціонарного положення рівня ґрунтових вод виконані за формулою

$$h = \sqrt{h_0^2 - ix(h_0 - 0,25ix) - 2\frac{q}{k}x}, \quad (2.7)$$

де

$$i = H_0 - \frac{H_z}{z}, \quad q = k \frac{h_0 + h_z}{2} \cdot \frac{H_0 - H_z}{z}.$$

Результати розрахунків показані на рис. 2.4.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що просідання частини території разом з граничним водотоком призводить до зміни положення рівня ґрунтових вод, що виражається в рівномірному його зниженні в порівнянні з природним. При цьому зниження рівня ґрунтових вод найбільше на межі, що просіла, і рівномірно зменшується в напрямку непросідаючої границі, завдяки чому поверхня ґрунтових вод має звичайну форму (див. рис. 2.4.).

Формування стаціонарної поверхні ґрунтових вод відбувається досить швидко і до 8 – 10 місяців вже досягається основне зниження рівня. Це показує, що при виконанні прогнозу змін гідрогеологічної обстановки на просідаючих територіях цілком правомірно спиратися на відповідні дослідження стаціонарної фільтрації.

2.1.3 Вплив збільшення випаровування на положення рівня ґрунтових вод у зв'язку з опусканням земної поверхні

Визначення впливу збільшення витрати води на випаровування і на формування рівневої поверхні при просіданні землі і наближенні її до рівня ґрунтових вод виконано за наступною методикою.

Зниження рівня ґрунтових вод за рахунок збільшення витрати вологи на випаровування визначається як

$$S = \sqrt{H_e^2 + \frac{\varepsilon_0 a t}{k} R} - H_e, \quad (2.8)$$

де $S = S(x, y, t) = H(x, y, t) - H_e(x, y, 0)$; $H_e(x, y, 0)$ – початковий рівень ґрунтових вод; $H(x, y, t)$ – знижений рівень ґрунтових вод; a – коефіцієнт рівнепробності; k – коефіцієнт фільтрації; $R(x, y, t)$ – безрозмірний фільтраційний опір в точці пласта з координатами x, y , на момент часу t з моменту просадки [66].

В необмеженому за простяганням пласті квадратну за формою ділянку просідання зі стороною $x = y = b$ можна вважати рівновеликим колом з радіусом $r_0 = \frac{b}{\sqrt{\pi}}$. В цьому випадку фільтраційний опір залежить від $r = \frac{at}{r_0^2}$ і

координати точки $\bar{r} = \frac{r}{r_0}$, де $r = 0$ відповідає центру кола, а $\bar{r} = 1$ – зовнішньому контуру.

Значення R в центрі кола при $\tau \geq 1,5$ з похибкою 5% дорівнює

$$R(\tau, 0) = - \left[E_i \left(- \frac{1}{4\tau} \right) - 1 \right], \quad (2.9)$$

$$\text{де } \tau = \frac{at}{r_0^2} = \frac{\pi at}{b^2}.$$

При $\bar{r} = 1$, маємо

$$R(\tau, 1) = -E_i\left(-\frac{1}{4\tau}\right), \quad (2.10)$$

а при $\tau > 15$ значення $R(\bar{r}, \tau)$ з помилкою не більше 5% знаходиться за формулою

$$R(\bar{r}, 1) = R_0(\bar{r}) + 1,15(\ln r - 2,5), \quad (2.11)$$

де $R_0(\bar{r})$ визначається за табличним даними, наведеними в [106].

При $\tau > 15$, $\ln \tau > 2,5$ і $\bar{r} \geq 1$ з похибкою не вище 5% маємо

$$R(\bar{r}, \bar{\tau}) = -E_i\left(-\frac{\bar{r}^2}{4\tau}\right) = \ln \frac{2,25at}{\bar{r}^2}. \quad (2.12)$$

Розрахунки з визначення величини зниження рівня ґрунтових вод за рахунок зміни витрати води на випаровування зроблені для двох найбільш поширених типів ґрунтів: пісків і суглинків.

Величина зниження рівнів ґрунтових вод визначена при наступних параметрах: випаровування $\varepsilon_0 = 800$ мм / рік; $\varepsilon_0 = 600$ мм / рік; $\varepsilon_0 = 400$ мм / рік [61]; коефіцієнти рівнепроводності і фільтрації, відповідно, для пісків - 130 м²/добу і 4 м /добу; для суглинків - 30 м²/добу і $0,3$ м /добу.

Розрахунки проведені для точок, віддалених від центру просідання на відстань $r = 1, 100, 200$ м при ширині ділянки просідання $b = 400$ м.

Для зміни глибини положення рівня використана формула С.Ф.Аверьянова [2]

$$W = W_0 \left(1 - \frac{z}{z_0}\right)^n, \quad (2.13)$$

де z – шукана глибина від поверхні землі, з якої визначається величина випаровування; z_0 – висота капілярного підняття; n – коефіцієнт, що складає для пісків 1,5; супісків 2,0; легких суглинків 2,5; важких суглинків 3,0; W_0 – випаровування з водної поверхні.

Таблиця 2.3

Витрати води на випаровування з поверхні землі

z , м	W_0 , мм/рік	z_0			n			W , мм/рік		
		пісок	суп.	сугл.	пісок	суп.	сугл.	пісок	суп.	сугл.
0,0	800	1,00	2,5	4,0	1,5	2,0	2,5	800	800	800
0,25								520	648	688
0,50								280	512	576
0,75								85,6	399	472
1,00								0	288	381
1,25									200	240
1,50									128	224
1,75									72	184
2,00									32	144
2,25									8	104
2,50									0	64
2,75										40
3,00										24
3,25										12
3,50										5
3,75										2
4,00										0

Величина капілярного підняття для пісків 1,0 м; супісків – 2,5 м; суглинків – 4,0 м. Випаровування з водної поверхні за даними [106] складає 800 мм / рік.

Витрати води на випаровування з поверхні землі в залежності від літології порід і глибини рівня ґрунтових вод розраховані за формулою (2.13) і наведені в таблиці 2.3.

Визначимо величину зниження рівня ґрунтових вод з урахуванням зменшення випаровування води з глибиною. Для пісків на відстані $r = 100$ м від центру зниження, користуючись даними таблиці 2.3, маємо $S = 0,38$ м, відповідно при $\varepsilon_0 = 800, 600$ і 500 мм/рік на відповідній глибині. Стабілізація рівня відбувається за 180 ... 200 діб.

Подібним чином отримуємо $S = 0,29$ м при $r = 200$ м, $\varepsilon_0 = 800, 520$ і 370 мм/рік. Стабілізація рівня ґрунтових вод в цьому випадку відбувається за $300 \dots 360$ діб. У суглинках на відстані $r = 100$ м та ж величина зниження рівня ґрунтових вод буде дорівнювати $S = 1,5$ м при $\varepsilon_0 = 800, 570, 370, 200$ мм / рік. Процес зниження рівня закінчується через $300 \dots 360$ діб.

Порівняння зниження рівня, що виникає за рахунок збільшення потужності потоку при осіданні водотривкого шару і за рахунок збільшення витрати води на випаровування з поверхні землі, показує, що в пісках обидві величини мають порівнянне значення, а в суглинках витрата води на випаровування має більший вплив на зміни рівня, ніж збільшення потужності потоку при осіданні водоупору.

2.2. Параметри управління фільтраційними потоками при роботі вугільних шахт

2.2.1. Обґрунтування можливостей управління відпрацювання вугільних пластів з метою зменшення виснаження водних ресурсів і зниження водопритоків.

Формування техногенного режиму підземних вод і підвищення водопритоку при веденні гірничих робіт в Західному Донбасі обумовлені наявністю алювіальних пісковиків нижнього карбону, що залягають в покрівлі вугільних пластів і гідравлічно пов'язані з водоносною товщею мезо-кайнозою [96, 119]. Ці пісковики, з огляду на їх значні потужності і особливостей поширення (у вигляді лінійно витягнутих зон), мають підвищені водопровідні властивості, через які і надходять підземні і поверхневі води в гірничі виробки. З гідродинамічної точки зору ці водопровідні зони інтерпретують як граничну умову першого роду. В цьому випадку справедливо припущення, що за рахунок ціликів вугілля, які примикають до зони розвитку алювіальних пісковиків, можна істотно зменшити водоприток до гірничих виробок і, як наслідок, знизити техногенне навантаження на гідросферу. Гідродинамічний розрахунок для схеми одношарового напівобмеженого пласта з граничною умовою першого роду на його контурі показує, що з віддаленням виїмкового стовпа розміром 1000×200 м від зони поширення алювіальних пісковиків, величина водопритоку різко зменшується і вже на відстані $500-700$ м знижується в $2,5-3$ рази (рис. 2.5).

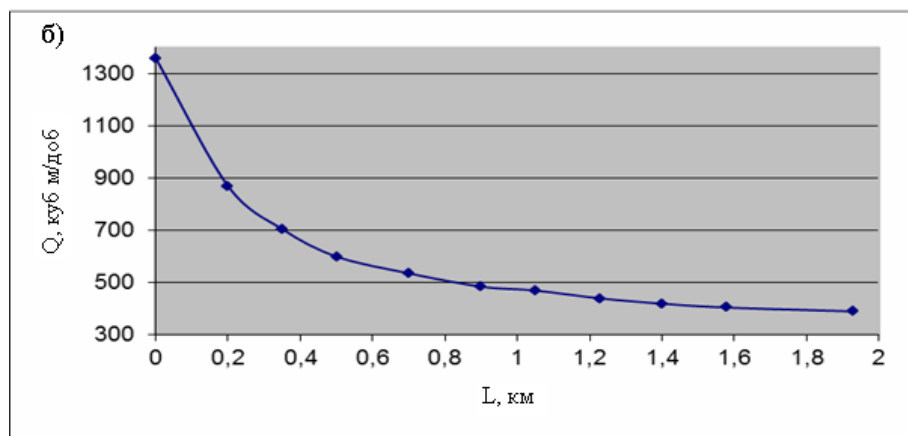
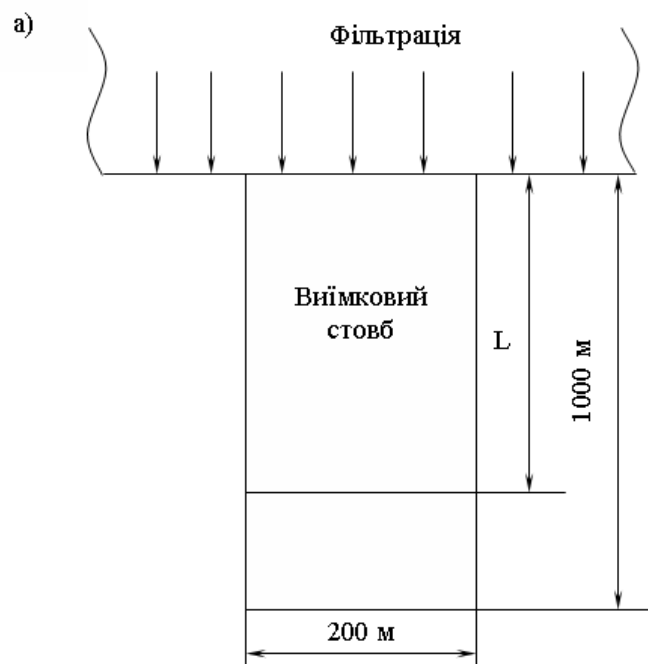


Рис. 2.5. Схема фільтрації (а) і графік (б) зміни водоприпусків (Q) в виїмковому стовбі при віддаленні (L) від зони пісковиків

Виконаний гідродинамічний розрахунок показує принципову можливість управління відпрацюванням вугільного пласта з метою зменшення водопритоку. Однак останній не може бути використаний для обґрунтування розмірів ціликів, бо не враховує морфометричні особливості руслових піщаників. В реальних умовах величина водопровідності зони поширення пісковиків в рідкісних випадках перевищує $30 \text{ м}^2 / \text{доб}$, що відповідає потужності пісковиків 60 м. Завдання при цьому полягає в розрахунку оптимальних розмірів залишених ціликів. Критерій для розрахунку їх розмірів базується на очевидних передумовах: з одного боку – на необхідності максимально можливої повноти вилучення запасів вугілля, а з іншого – максимально можливого зниження пластових притоків. Беручи до уваги ресурсозберігаючі аспекти залишення ціликів вугілля, в якості ведучого чинника, що визначає їх розміри, слід орієнтуватися на величину водопритоку.

У цьому випадку завдання з розрахунку оптимальних розмірів ціликів ставиться таким чином: параметри цілика при відпрацюванні вугільного пласта, що характеризується розвитком руслових піщаників, повинні бути такими, щоб величина пластового водопритоку не перевищувала величини, характерної для відпрацювання гідрогеологічно відкритого вугільного пласта, де руслові пісковики відсутні.

Раніше встановлено [119], що при максимальній водопровідності вугільного пласта ($2 \text{ м}^2/\text{доб}$) величина пластового притоку складає близько $250\text{-}300 \text{ м}^3/\text{год}$. Це означає, що цілик вугілля повинен мати розміри, при яких водоприток по вугільному пласту не перевищує вищезгаданої величини.

Гідродинамічна задача встановлення розмірів ціликів вирішена для умов, коли ширина зони розвитку руслових піщаників послідовно змінюється від 1000 до 100 м , а їх потужність – від 60 до 10 м , що відповідає палеофаціальним умовам накопичення теригенних осадових відкладень в межах Західного Донбасу в нижньокарбонівий час [77].

Гідродинамічна роль пісковиків з використанням двовимірної геофільтраційної моделі шахтного поля враховується завданням підвищеної водопровідності від 5 до $30 \text{ м}^2/\text{доб}$ в розрахунковому шарі, що моделює процес фільтрації в продуктивній товщі карбону.

З результатів рішення, представлених на рис. 2.6, видно, що розміри ціликів в залежності від ширини зони поширення алювіальних пісковиків і їх потужності, змінюються від 650 до 0 м . Остання величина характерна для стометрової зони поширення пісковиків, потужність яких не перевищує 10 м . Отже, розвиток алювіальних пісковиків такої морфометрії не робить істотного впливу на величину водопритоку (і відповідно на техногенний режим гідросфери), тому може не враховуватися при веденні гірничих робіт. З наведених розрахункових даних також випливає й те, що розміри ціликів залежать як від ширини зони розвитку пісковиків, так і від їх потужності. Тому для отримання узагальнених, необхідних для практики результатів, слід знайти залежність між площею поширення руслових піщаників і розмірами гідрозахисних ціликів. Ця задача вирішена з використанням регресійного аналізу.

Рівняння регресії, що пов'язує розміри ціликів (C) з площею поширення алювіальних пісковиків (S) в покрівлі вугільного пласта, має вигляд

$$C = 0,015S \quad (2.14)$$

При 24 -х вихідних значеннях величин площі розвитку алювіальних пісковиків і відповідних їм розмірами ціликів, стандартна середньоквадратична помилка отриманого рівняння становить $0,0016$ при t – значенні Стьюдента $9,97$. Цим параметрам відповідає практично сто відсоткова довірна ймовірність отриманого рівняння. Графік, побудований за рівнянням (2.14), представлений на рис. 2.7.

При залишенні ціликів встановлених розмірів максимальне зниження рівнів підземних вод в водоносних горизонтах мезо-кайнозою становить $2\text{-}4 \text{ м}$, а втрати річкового стоку становлять близько $60\text{-}100 \text{ м}^3/\text{рік}$ (20% від величини пластових притоків) і не надають помітного впливу на гідрологічний режим поверхневих водотоків.

Наведені результати отримані для умов, що цілик залишається як в межах бремсбергового, так і уклінного частин шахтного поля при відпрацюванні гідрогеологічно відкритого вугільного пласта з розвитком алювіальних пісковиків в покрівлі.

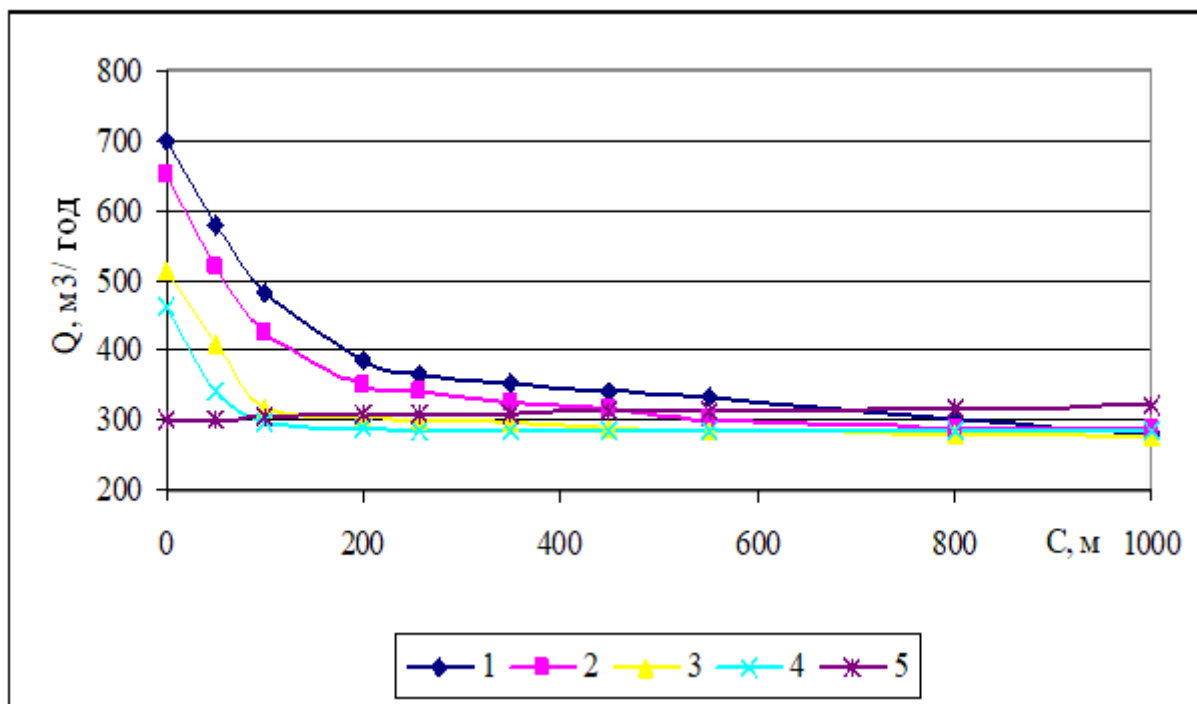


Рис. 2.6. Зміна ширини ціликів вугілля (C_1-C_4), що примикають до зони поширення руслових піщаників шириною 1000 м: 1, 2, 3, 4 – зміна пластових притоків при потужності пісковиків 60 м, 40 м, 20 м і 10 м, відповідно; 5 – пластовий приток по вугільному пласту при відсутності пісковиків

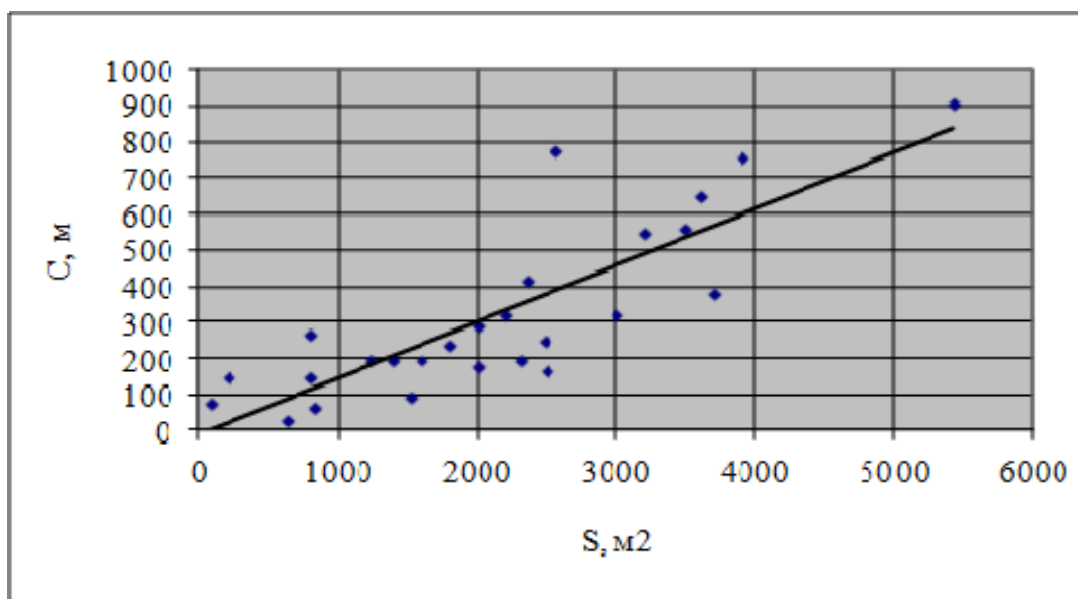


Рис. 2.7. Залежність розмірів гідрозахисних ціликів вугілля (C) від площі поширення алювіальних пісковиків (S), гідравлічно пов'язаних з водовмісною товщею мезокайнозою

Щоб підвищити повноту вилучення корисної копалини за рахунок зменшення розмірів ціликів, необхідно залишати цілики тільки в межах бремсбергової частини шахтного поля.

Якщо розмір цілика у бремсбергу буде вдвічі перевищувати встановлені його розміри в межах всього пласта (за умови, що розміри бремсберга і ухилу однакові), то приток зменшиться до $500 \text{ м}^3/\text{год}$ (при ширині зони пісковиків 1000 м і їх потужності 60 м), що в $1,6$ рази більше максимально можливої його величини ($250\text{-}300 \text{ м}^3/\text{год}$).

Зменшити втрати запасів вугілля при залишенні ціликів можна за рахунок зменшення зони безпечного ведення гірничих робіт на ділянках виходу вугільних пластів під водовмісні бучакські відкладення. У зв'язку з цим слід зазначити результати проведених досліджень [88, 89, 90] на базі гідрогеомеханічного моделювання та натурних експериментів з вивчення механізму формування водопровідних тріщин при веденні гірничих робіт під водним об'єктом. При цьому залишається актуальною задача уточнення цих результатів, що зроблено в розділі 3 цієї роботи.

У згаданих роботах теоретично встановлено і експериментально підтверджено (для умов відпрацювання вугільного пласта C_8^H 834-й і 832-й лавами шахти "Тернівська" ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля"), що в умовах Західного Донбасу кратність подрібки можна зменшити з $20m$ до $15m$, де m - потужність вугільного пласта, що виймається. При потужності пласта 1 м і куті падіння $3\text{-}5$ градусів ширину зони безпечного ведення гірничих робіт можна зменшити в $2,5$ рази (з 500 до 200 м). Відпрацювання вугільних пластів здійснено укороченими лавами, що дозволяє збільшити повноту виїмки корисних копалин при забезпеченні безпеки гірничих робіт за рахунок використання водозахисних функцій гірського масиву [96, 97].

2.2.2. Оцінка параметрів водоохоронних технологій, що суміщуються з відпрацюванням шахтопластов.

Роль поверхневих вод, затоплених мульд зрушення і палеорусел кам'яновугільного віку у формуванні загальношахтних водопритоків та техногенного режиму гідросфери розглянута на прикладі шахти ім. М.І. Сташкова з метою управління відпрацюванням вугільних пластів в заплаві р. Самари.

Шахта ім. М.І. Сташкова є найбільш водозбагаченою шахтою в Україні, де величина загальношахтного притоку досягала $1720 \text{ м}^3/\text{год}$. Наявні прогнозні оцінки водопритоку, виконані, головним чином, за методом аналогій [119] не перевищували величини $2000 \text{ м}^3/\text{год}$ за промисловими вугільними пластами першочергового відпрацювання ($C_{10}^B, C_8^B, C_8^H, C_7^B, C_6, C_6^1, C_5, C_4^2$). Очевидно, що ці прогнози не відповідають дійсності. Так, на шахті в 1989-1990 р.р. розпочато відпрацювання вугільних пластів C_6 (лави 601, 605) і C_5 (лави 503, 505, 507, 509, 511) з водопритоком до $1300 \text{ м}^3/\text{год}$ (приток по пласту сягав $1000 \text{ м}^3/\text{год}$), тоді як на відпрацьованих пластах (очисні роботи були розпочаті в 1983 р) C_8^B та C_8^H , величина водопритоку не перевищувала $450 \text{ м}^3/\text{год}$.

Причини такого інтенсивного зростання водопритоку не з'ясовані, що обумовлює необхідність встановити особливості їх формування.

Різке зростання водопритоку на вугільних пластах (C_5 , C_6) призвело до істотного (до 30 м) зниження рівнів підземних вод мезо-кайнозойських відкладень і фактично до виведення з ладу Самарського водозабору, що є джерелом водопостачання шахт ім. М.І.Сташкова, "Самарська", "Дніпровська".

Вельми показово й те, що при повному відпрацюванні вугільних пластів C_8^B , C_8^H , які виходять під відкладення мезо-кайнозою і гідравлічно з ними пов'язані, величини зниження рівнів підземних вод покривної товщі коливаються в межах 1,3-3,62 м, збільшуючись в місцях руслових розмивів пластів до 9,87-11,4м (табл. 2.4). Середня величина зниження рівнів підземних вод в покривних відкладеннях становить 3,46 м. Зафіксовані величини знижень рівнів підземних вод мезо-кайнозойських відкладень при відпрацюванні гідрогеологічно відкритих вугільних пластів C_8^B , C_8^H , практично повністю збігаються з розрахунковими величинами, що підтверджує зроблені раніше висновки про незначну ролі вугільних пластів, як провідників води, у формуванні техногенного режиму водних ресурсів.

Питання формування шахтних водопритоків розглянуті, ґрунтуючись на вивченні їх зв'язку з фактичними даними про довжину фронту гірничих робіт, периметр контуру стоку і площу відпрацьованого шахтного поля.

Таблиця 2.4

Зниження рівнів підземних вод на полі шахти ім. М.І. Сташкова при відпрацюванні вугільних пластів (за даними Павлоградської ГРЕ)

№№ свердловини	Індекс віку водовмісних порід	Абсолютна відмітка рівня води в природному режимі, м	Абсолютна відмітка рівня води станом на 30.12.1988р. м	Зниження рівня води, м
14981	P ₃ hr	77,87	74,25	3,62
15574	P ₃ hr	72,98	71,81	1,17
15072	P ₃ hr	71,30	70,00	1,30
15241	P ₂ kv	н.с.	75,44	--
13410	P ₂ бч+ kv	71,53	61,66	9,87
37889	P ₂ бч	76,46	73,58	2,88
15573	P ₂ бч	73,00	61,60	11,40
3740a	P ₂ бч	71,90	70,31	1,59

Якщо вугільні пласти є основними провідниками води в шахту, то між величиною пластових притоків і довжиною фронту гірничих робіт повинна існувати прямо пропорційна (близька до лінійної) залежність. Однак такий вид залежності фіксується тільки для вугільного пласта C_8^H . Для вугільного пласта C_8^B прямо пропорційна залежність між притоком і довжиною фронту гірничих робіт характерна тільки при відпрацюванні східного крила шахтного поля. На західному крилі, де фіксуються руслові розмиви пласта, величина водотоку залежить, головним чином, від периметра контуру стоку. Довжина фронту гірничих робіт в цьому випадку має підлегле значення і є статистично незначною.

Що стосується вугільного пласта C_5 , то для нього статистично значущий зв'язок водопритоку фіксується тільки з параметром периметра контуру стоку. Якщо виходити з того, що основним провідником води є сам вугільний пласт C_5 , то в цьому випадку слід припускати величину його водопровідності в межах 30-40 м² /добу, проте результати дослідно-фільтраційних робіт не дають для цього жодних підстав.

Максимальна величина коефіцієнта фільтрації вугільних пластів (в тому числі і C_5) не перевищує 2 м/добу, а пісковиків 0,1-0,5 м/добу, що відповідає даним масових випробувань фільтраційних властивостей вміщуючих порід нижнього карбону в Західному Донбасі.

У зв'язку з цим слід припустити, що основним джерелом надходження води в гірничі виробки пласта C_5 є руслові пісковики, які залягають в його покрівлі, які і формують підвищені водопритоки і, як результат, досить значні порушення гідродинамічного режиму водовмісної покривної товщі і поверхневих вод.

Описані геоморфологічні особливості пісковика, а також специфічний склад їх цементу (глинистий) дозволяють зробити висновок про їх алювіальних генезис. На рисунках (рис. 2.8, 2.9) видно, що ці пісковики в гідродинамічному відношенні об'єднують вугільні пласти, C_5 , C_6 та C_8^B, C_8^H і це необхідно враховувати при прогнозуванні водопритоків і техногенного режиму підземних вод.

Зважаючи на складність геолого-гідрологічних умов шахтного поля, а також у зв'язку з необхідністю отримання кількісних оцінок складових водного балансу при формуванні водопритоку, як метод досліджень використано математичне моделювання геофільтрації. Його застосування дозволяє, по-перше, кількісно врахувати різні фактори, що впливають на формування водопритоку і техногенного режиму гідросфери, і, по-друге, використовувати гідродинамічні моделі як постійно діючі при відпрацюванні шахтного поля. Описувана нижче геофільтраційна модель шахтного поля шахти ім. М.І. Сташкова є першою подібною моделлю для регіону Західного Донбасу і тому її розробка представляє науково-методичний та практичний інтерес.

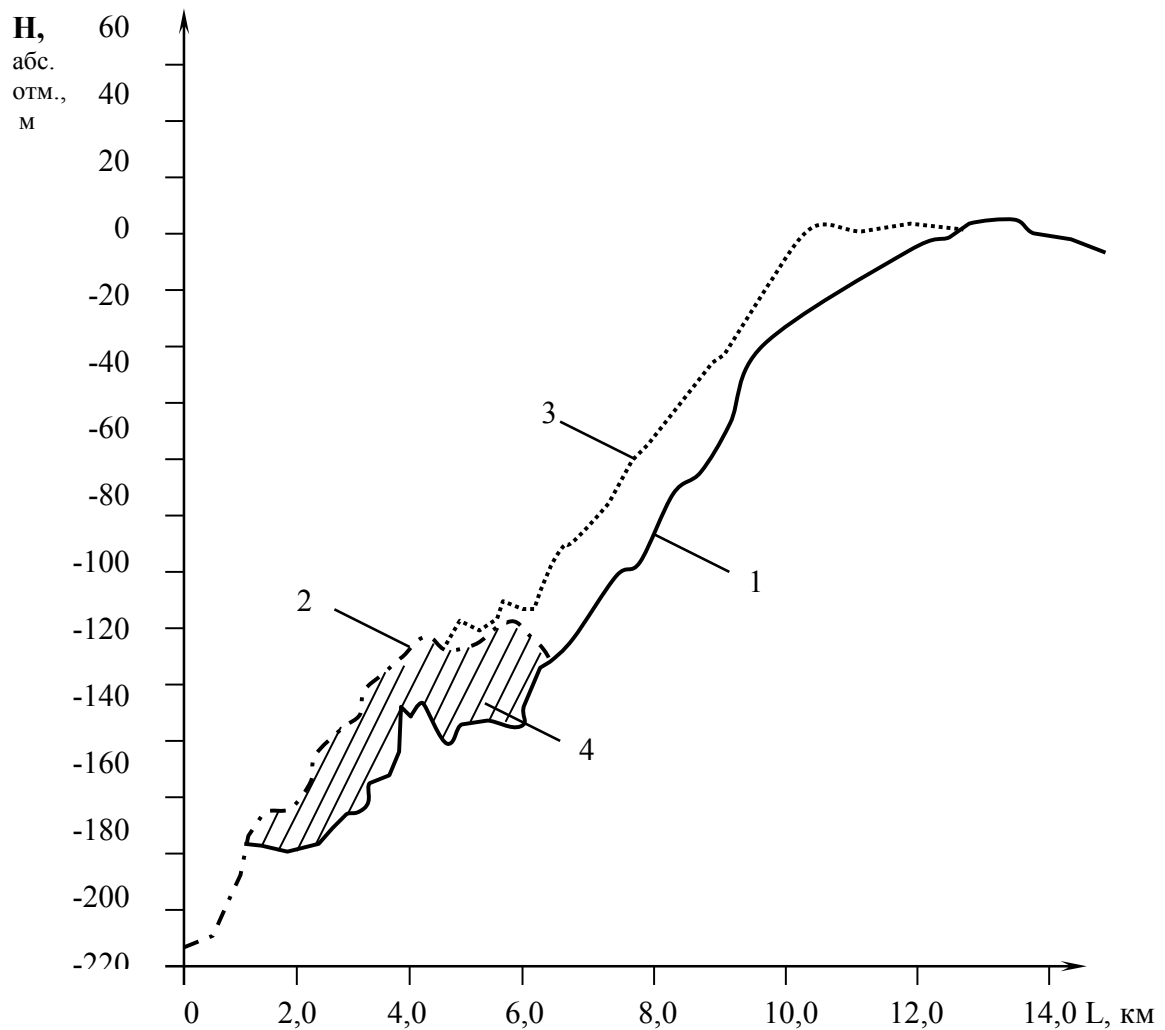


Рис. 2.8. Характер залягання вугільних пластів C_5 , C_6 і пісковиків руслових розмивів в покрівлі пласта C_5 : 1 – гіпсометрія покрівлі пласта C_5 ; 2 – гіпсометрія покрівлі пісковиків в покрівлі пласта C_5 ; 3 – гіпсометрія покрівлі пласта C_6 ; 4 – потужність пісковиків.

Достовірність гідрогеологічних моделей у визначальній мірі залежить від точності гідрогеодинамічної схематизації геолого-гідрогеологічних умов шахтного поля. Тому ці питання розглянуті стосовно досліджуваного шахтного поля.

Поле шахти ім. М.І. Сташкова розташовано на детально розвіданому Дмитрівському комплексі ділянок. Межами шахтного поля є: на півночі і північному сході – Поздовжній скид, Апофіз "В" і 1-й Петровський скид; на північному заході – Богдановський скид; на заході і південному сході - вихід вугільного пласта C_1 під бучаксько-київські відкладення. У південному, південно-східному і південно-західному напрямках усі вугільні пласти, починаючи з C_{10}^B і закінчуючи C_1 , виходять під водовмісні відкладення мезокайнозою, тобто є пластами гідрогеодинамічного відкритого типу.

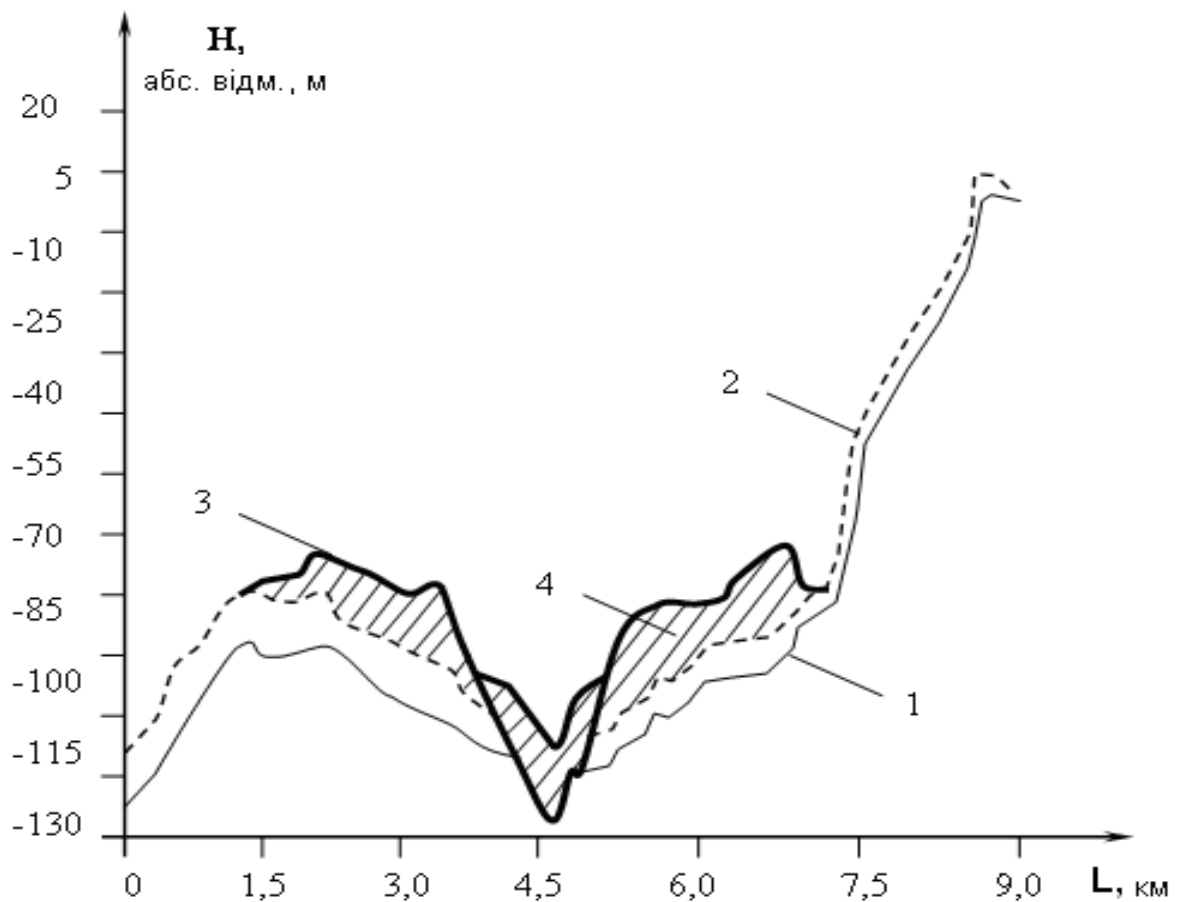


Рис. 2.9. Характер залягання вугільних пластів C_8^B, C_8^H , і пісковиків руслових розмивів в покрівлі пласта C_8^B : 1 – гіпсометрія покрівлі пласта C_8^H ; 2 – гіпсометрія покрівлі пласта C_8^B ; 3 – гіпсометрія пісковиків; 4 – потужність пісковиків.

У межах шахтного поля промисловими є 12 вугільних пластів, які виділяються в 6 самостійних пачок: 1 – пласт C_{10}^B , що залягає безпосередньо під бучакськими відкладеннями; 2 – зближені пласти C_8^B, C_8^H , віддалені один від одного на відстані 3-11 м і розташовані нижче пласта C_{10}^B на 50 м; 3 – пласт C_7^B , віддалений від вищерозташованих вугільних пластів на 23-26 м; 4 – зближені пласти C_6 та C_6^1 , розташовані на відстані 11 м один від одного і залягають на 40 м нижче вугільного пласта C_7^B ; 5 – вугільні пласти C_5 и C_4^2 знаходяться на відстані 11-15 м один від одного і залягають на 30 м глибше пластів C_6^1, C_6 ; 6 – пачка вугільних пластів C_4^B, C_3, C_2, C_1 , віддалених один від одного на 10-17 м. Ця пачка пластів залягає глибше пласта C_4^2 на 35 м.

Такий характер розташування вугільних пластів в межах шахтного поля, беручи до уваги відомі закономірності формування зони водопровідних тріщин при веденні видобувних робіт [13, 23, 24, 31, 42, 51], передбачає можливість розглядати незалежність формування водопритоку в кожній із згаданих вугільних пачок, а отже і те, що кожній вугільній пачці відповідає окрема геофільтраційна модель.

Однак наявність руслових піщаників, гідродинамічно об'єднуючих вугільні пласти C_4^2 , C_5 , C_6 , C_6^1 дозволяють об'єднати п'яту і шосту вугільні пачки в єдину геофільтраційну модель. Отже, геофільтраційна модель шахтного поля шахти ім. М.І. Сташкова складається з п'яти самостійних гідрогеодинамічних моделей.

Враховуючи екологічну спрямованість проведених досліджень, найбільший інтерес буде представляти гідродинамічна модель, що включає пласти C_4^2 , C_5 , C_6 , C_6^1 .

Зовнішні та внутрішні границі в межах кожної з моделей є однотипними.

Обґрунтування зовнішніх границь моделей виконано з урахуванням даних [99, 126], де доведено, що тектонічні порушення є екранами на шляху руху підземних вод, що визначає необхідність завдання уздовж них непроникної у гідродинамічному відношенні межі з нульовою витратою підземного потоку.

На півдні, південному заході та південному сході, де всі вугільні пласти мають безпосередньо гідравлічний зв'язок з бучаксько-київським водоносним горизонтом, завдано границю третього роду, що відображає взаємозв'язок величини витрати потоку підземних вод бучаксько-київського водоносного горизонту з продуктивною товщею карбону (в залежності від різниці гідродинамічних напорів в останній, що обумовлено дренажним впливом шахтного водовідливу). В якості фільтраційного опору (k/m) виступає значення коефіцієнта фільтрації бучаксько-київських відкладень і їх сумарна потужність, перерахована відповідно до розмірів розрахункових блоків моделей.

Внутрішніми межами на моделях є очисні виробки, що моделюються як граничні умови першого роду із заданою величиною гідродинамічного напору, що дорівнює абсолютній відмітці підошви вугільних пластів. Розташування границь першого роду (очисних виробок) в межах кожного модельованого вугільного пласта визначається календарним планом його відпрацювання.

Особливістю моделювання процесу відпрацювання вугільних пластів є врахування зміни водопровідності порід міжпласт'я в межах контурів виїмкових діляниць, що пов'язано з підробкою надвугільної товщі порід. Виходячи з існуючих теоретичних уявлень про залежність проникності породного масиву від кратності його підробки [23, 31, 42, 51], величина провідності підроблюваної товщі в межах модельованих очисних виробок збільшувалася в середньому в 5-20 разів (рис. 2.10).

Кількість розрахункових шарів, що відображають водоносні горизонти, в межах кожної з п'яти моделей визначалася характером розташування двох пачок пісковиків, що залягають вище покрівлі вугільних пластів, відповідно в межах зони безладного обвалення (безпосередня покрівля) і зони розвитку водопровідних тріщин (основна покрівля). Для з'ясування особливостей поширення надвугільних пісковиків побудований комплект карт ізопотужності і гіпсометрії покрівлі (підошви) в межах кожної із зон. Якщо при аналізі карт виявлялося, що підошва пісковиків залягає в межах потужності безпосередньої покрівлі, то їх вплив на формування водопритоку і техногенний режим гідросфери враховувався шляхом відповідного збільшення потужності,

водопровідності і водовіддачі вугільного пласта. Пісковики, що розташовуються в основній покрівлі в межах зони розвитку водопровідних тріщин, виділялися в самостійний водоносний горизонт шляхом введення в гідрогеодинамічну модель додаткового розрахункового шару. В якості самостійного водоносного горизонту пісковики виділялися при моделюванні вугільних пластів $C_{10}^B, C_8^B, C_7^B, C_5, C_2$.

Всі моделі розроблялися в масштабі 1:5000. Крок дискретизації становив 150×200 м, що дозволило врахувати конфігурацію очисних виробок в межах пластів, що відпрацьовуються і конфігурацію їх границь у межах шахтного поля.

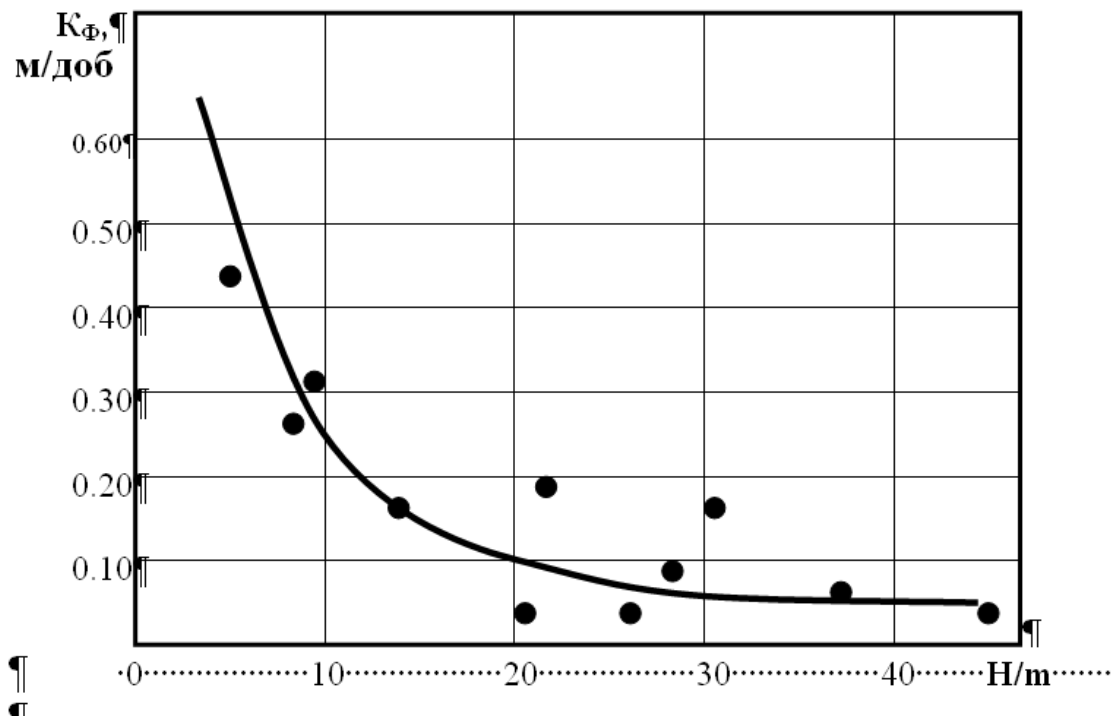


Рис. 2.10. Залежність зміни коефіцієнта фільтрації підроблюваної товщі від кратності підробки H/m

Етапу прогнозів передував етап епігнозного моделювання, мета якого полягала в тому, щоб навчити модель адекватно реагувати на обурення, обумовлені дренажним впливом водовідливу. Як відомо, в процесі епігноза здійснюється коригування гідродинамічної ролі зовнішніх границь водоносних пластів і їх геофільтраційних параметрів. В даному випадку епігнозне моделювання спрощувалося тим, що коригуванню підлягали тільки геофільтраційні параметри вугільних пластів і пісковиків, так як гідродинамічна роль зовнішніх границь водоносних пластів не викликала сумніву на підставі результатів проведених раніше численних робіт з вивчення гідрогеологічних умов регіону.

Основою для коригування гідрогеологічних параметрів були результати дослідно-фільтраційних робіт, проведених Димитрівською ГРЕ в межах шахтного поля. В цілому необхідно відзначити, що, незважаючи на значні інтервали опробування (які часто не враховують особливості геологічної будови шахтного поля, в зв'язку з чим ряд фільтраційних випробувань виявився мало інформативним), дослідні роботи дали значення коефіцієнтів

фільтрації і п'єзопровідності вугільних пластів і пісковиків, близькі до типових значень відповідних літологічних різниць нижнього карбону [28].

Коригування фільтраційних параметрів проводились в умовах нестационарного режиму фільтрації, що обумовлено динамікою розвитку фронту гірничих робіт у часі. Основним критерієм правильності рішення обернених задач були дві умови: 1) схожість величин фактичних і модельних водопритоків по пластах, що відпрацьовуються; 2) збалансованість моделі за величинами витрат фільтраційного потоку, як в межах вугільного пласта, так і в кожній розрахунковій секції. При вирішенні зворотних задач геофільтрації значення гідродинамічних параметрів водоносних шарів не повинні виходити за рамки допустимих меж, визначених геолого-гідрологічними особливостями досліджуваного об'єкта (т.зв. метод факторно-діапазонного аналізу).

Результати розв'язку обернених задач по пластах $C_6 + C_5 + C_4^2$ показують (табл. 2.5, рис. 2.11), що похибка між фактичними і модельними водопритоків становить $50 \text{ м}^3 / \text{год}$, а відносна похибка не перевищує 8%.

Таблиця 2.5

Величини водопритоку в очисні виробки вугільних пластів $C_6 + C_5 + C_4^2$

Рік	Фактичний водоприток, $\text{м}^3/\text{год}$	Водоприток за результатами моделювання, $\text{м}^3/\text{год}$	Абсолютна похибка, $\text{м}^3/\text{год}$	Відносна похибка, %
1990	447,4	481,9	34,5	7,7
1991	562,3	617,4	55,1	9,8
1992	722,2	679,4	42,8	5,9
1993	996,8	908,4	88,4	8,8
Середнє			56,2	8,1

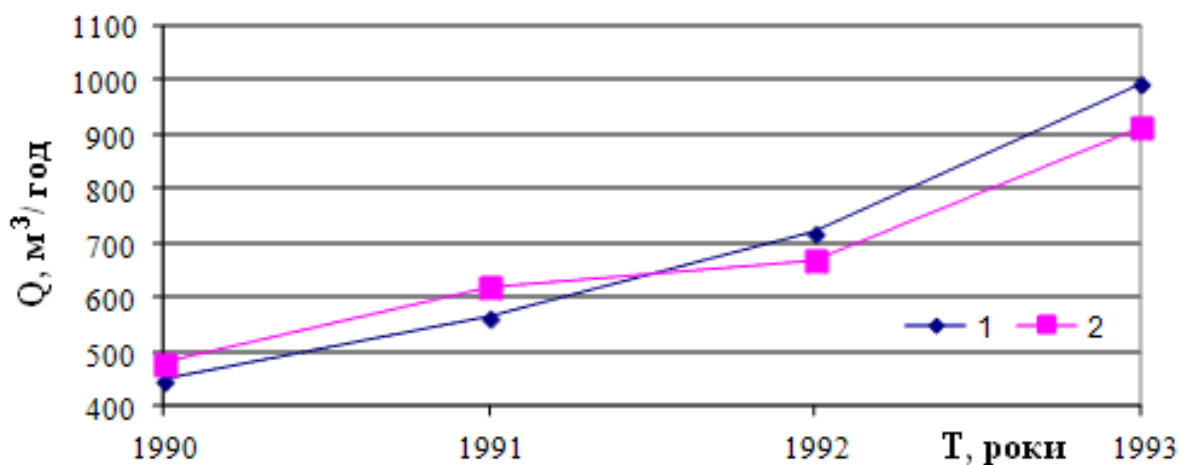


Рис. 2.11. Графіки зміни фактичних і модельних водопритоків по пластах $C_6 + C_5 + C_4^2$ (ш. ім. М.І. Сташкова ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля): 1 – фактичний водоприток; 2 – приток на моделі.

Величини коефіцієнтів фільтрації вугільних пластів за результатами рішення обернених задач змінюються в межах 0,2-2,5 м/добу (максимальні їх величини приурочені до зон мульдopodobного залягання вугільних пластів), а коефіцієнти фільтрації пісковиків змінюються у межах 0,1-0,5 м/добу. Значення коефіцієнтів п'єзопровідності вугільних пластів і пісковиків змінюються в діапазоні 10^5 - 10^6 м²/доб, гравітаційна водовіддача пісковиків за результатами моделювання становить 0,01-0,02, а вугільних пластів – 0,005.

При обґрунтуванні адекватності розроблюваних геофільтраційних моделей встановлені основні закономірності формування шахтного водовідливу для вугільних пластів $C_6 + C_5 + C_4^2$ і масштаби порушення режиму підземних вод мезокайнозоя і поверхневих вод р. Самари.

Зростання водопритоку, починаючи з 1989 р, пов'язано з перехопленням поверхневого стоку і переведенням його в підземний. При цьому роль поверхневих вод в величині притоку до вугільних пластів $C_6 + C_5 + C_4^2$ досягає 75%. У разі відсутності поверхневих вод, водоносні горизонти у відкладеннях мезокайнозоя були б здреновані протягом двох років і максимальна величина притоку не перевищувала 300 м³ / год.

Особливості порушення гідродинамічної обстановки в межах шахтного поля при відпрацюванні вугільних пластів $C_6 + C_5 + C_4^2$ показані на рис. 2.12-2.14, де зображені фактичні і прогнозні депресійні криві підземних вод бучаксько-київського і неоген-четвертинного водоносних горизонтів, а також рівень поверхні р. Самари.

Аналіз результатів, представлених на рис. 2.12-2.14, свідчить, що при відпрацюванні вугільного пласта C_5 під алювіальними пісковиками відзначається повне осушення бучаксько-київського водоносного горизонту, при цьому площа осушених порід складе 2,25 км² (1,5×1,5 км); підземні води неоген-четвертинного водоносного горизонту також будуть відчувати значний дренальний вплив шахтного водовідливу. Рівень підземних вод в цьому горизонті знизиться більш ніж на 20 м, а основним джерелом живлення його будуть поверхневі води р. Самари, стік якої буде повністю перехоплюватися і залучатися до шахтного водовідливу, приводячи до осушення річки.

Знизити водопріток і негативний вплив шахтного водовідливу на стан водних ресурсів можливо за допомогою управління відпрацюванням вугільних пластів, а саме за рахунок залишення ціликів. Враховуючи значну потужність руслових пісковиків до 60 м в покрівлі вугільного пласта C_5 , ширина цілика має складати 600 м на площі 513, 515, 517 лав, що відпрацьовуються (рис. 2.15). При залишенні цілика вугілля, що примикає до правого борту стародавнього русла, водопріток по пластах $C_6 + C_5 + C_4^2$ на кінцевий період їх відпрацювання можна зменшити в 2,5 рази. При цьому характер порушення гідродинамічного режиму підземних вод покривної товщі практично не буде відрізнятися від досягнутого на даний час (див.рис. 2.12.-2.14.).

Таким чином, на прикладі найбільш водозбагаченої шахти в Україні показано, що формування високих водопритоків і негативного впливу гірничих робіт на гідросферу обумовлено гідродинамічною взаємодією сучасних русел і

палеорусел нижнього карбону, літологічно представлених алювіальними пісковиками, що мають зв'язок з водомісною товщею мезо-кайнозою. Показано також, що залишення фільтраційних бар'єрів в межах розвитку палеорусел є ефективним і досить простим способом керування гірничими роботами, що дозволяє в 2,5-3,5 рази знизити пластові притоки і, як наслідок, негативний вплив гірничих робіт на водні ресурси.

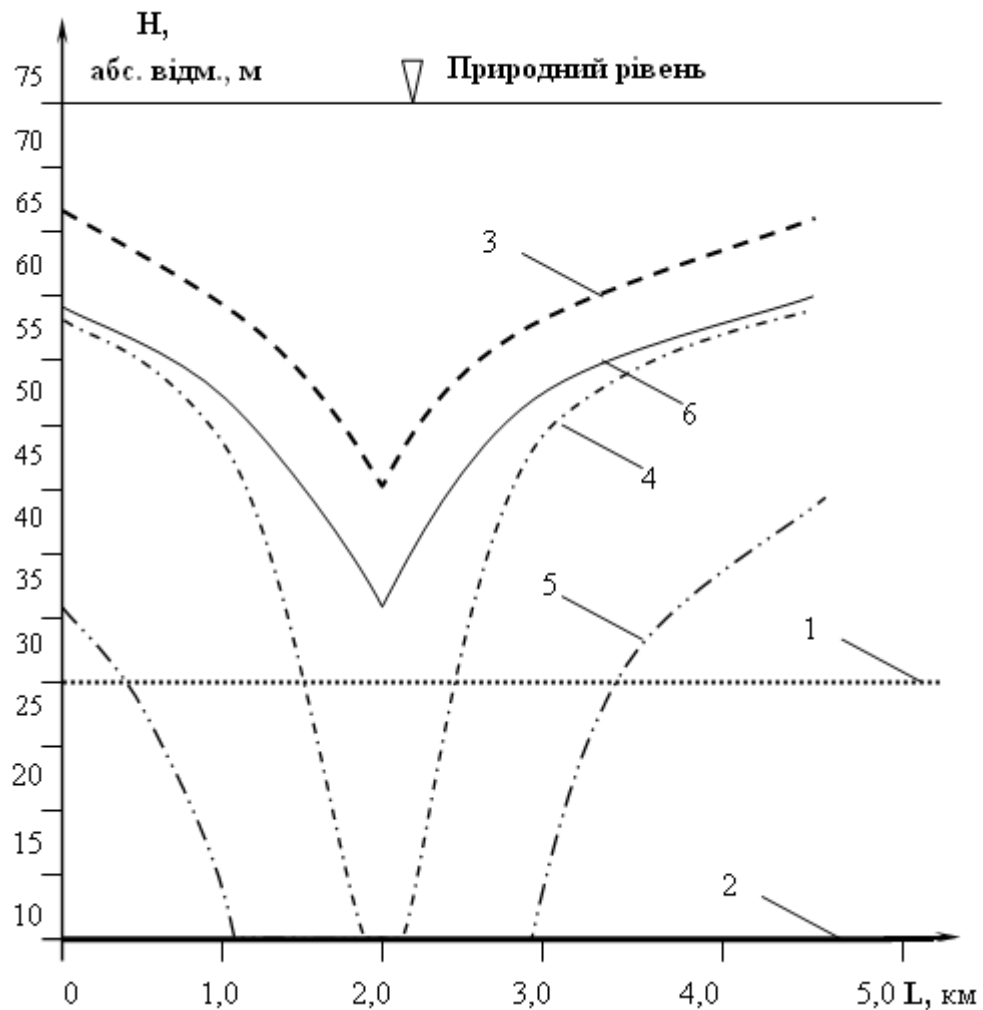


Рис. 2.12. Депресійні криві (абс. позначки) підземних вод бучаксько-київського горизонту при роботі шахти (північ-південь): 1 – покрівля; 2 – підшва; 3, 4 – станом на 1992 та 1995 рр.; 5, 6 - прогноз при відпрацюванні вугільних пластів без залишення ціликів і з ціликом, відповідно

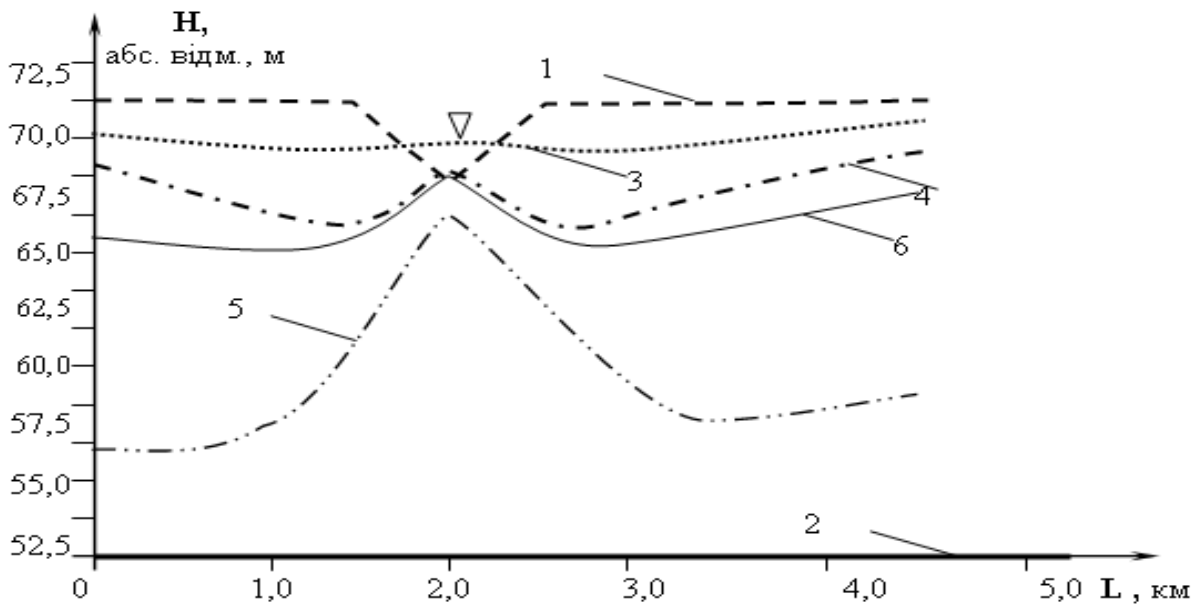


Рис. 2.13. Депресійні криві (абс. позначки) підземних вод неоген-четвертинного горизонту при роботі шахти (північ-південь): 1 – покрівля; 2— підшва; 3, 4 – відповідно, станом на 1992 та 1995 рр.; 5, 6 – прогноз при відпрацюванні вугільних пластів без залишення ціликів і з ціликом, відповідно

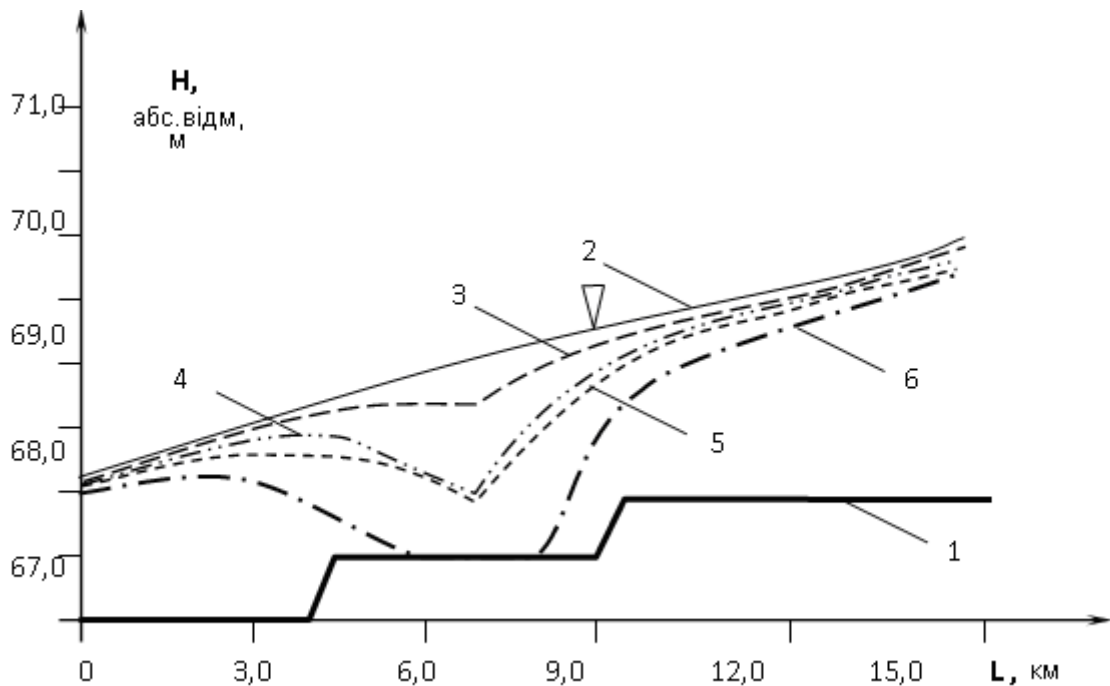


Рис. 2.14. Зміна рівневої поверхні русла р. Самари при роботі шахти (захід-схід): 1 – рельєф дна; 2 – природний рівень; 3, 4 – станом на 1992 та 1995 рр., відповідно; 5, 6 – на 2035 р при відпрацюванні вугільного пласта без залишення цілика і з ціликом

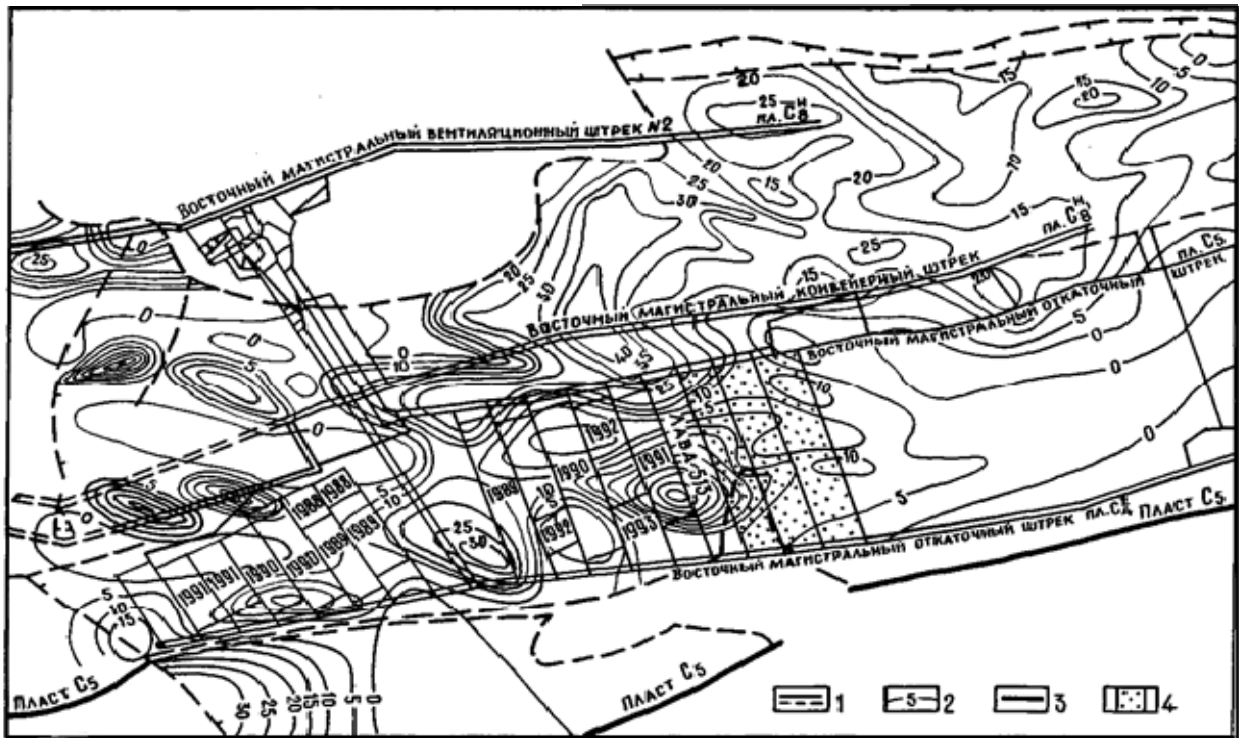


Рис. 2.15. Схема розташування фільтраційного бар'єру при відпрацюванні вугільного пласта C_5 на шахті ім. М.І. Сташкова: 1 – штрек; 2 – ізоляції потужності пісковиків у покрівлі пласта C_5 ; 3 – вихід вугільного пласта C_5 на поверхню карбону; 4 – цілик.

2.2.3. Аналіз ефективності схем водорегулювання.

Незважаючи на те, що на шахті ім. М.І. Сташкова апробовані і реалізовані технічні рішення щодо оцінювання фільтраційних бар'єрів в межах розвитку давніх палеорусел карбону, питання зниження притоку води до гірничих виробок і техногенного навантаження на приповерхневу гідросферу залишаються актуальними і зумовлюють пошук нових технологічних схем водорегулювання.

Тому завданням наступних досліджень було оцінити ефективність технологічних схем водорегулювання на основі чисельного моделювання фільтраційних і гідравлічних потоків в межах поля шахти ім. М.І. Сташкова з хронологічним відтворенням всіх етапів відпрацювання шахтного поля і встановленням закономірностей зміни техногенної проникності гірського масиву в часі.

На основі аналізу геологічних, гідрогеологічних та гірничо-технічних умов поля ш. ім. М.І. Сташкова, а також техногенного режиму підземних вод, що сформувався в зоні ведення гірничих робіт східної групи шахт, обґрунтована розрахункова гідродинамічна схема для побудови моделі шахтного поля.

Поле шахти апроксимовано сіткою 77×43 блоки (рис. 2.16) і в реальних координатах має розмір $15,4 \times 8,6$ км. У кожній вузловій точці сітки відображена гіпсометрія пласта, фільтраційні і ємнісні параметри водоносних горизонтів і поділяючих товщ.

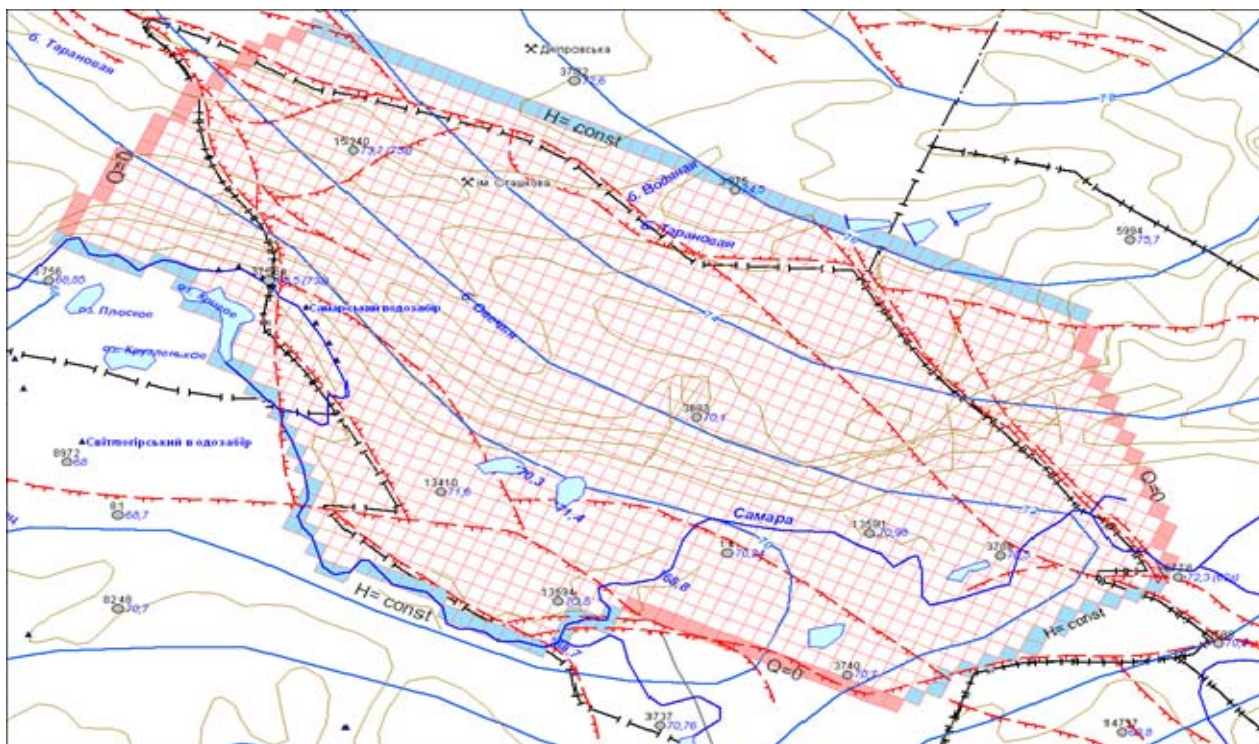


Рис. 2.16. Геометрія і границі області, що моделюється

У вертикальному розрізі модель шахтного поля представляє 8-ми шарову товщу, де верхній шар (1) відображає водоносний комплекс мезокайнозойських відкладень, а нижні - відпрацьовані й ті, що розробляються, вугільні пласти і палеоруслові пісковики (C_{10} , C_8 , C_7 , C_6 , C_5 , C_4 , C_{1-3}), які мають безпосередній вихід під шар 1 (рис. 2.17).

Зовнішні гідродинамічні границі першого розрахункового шару бучаксько-київських відкладень (рис. 2.16) відображають природні умови живлення і розвантаження підземного потоку в річку Самара (гранична умова I-го роду $H = const$), а бічні границі в межах шахтного поля - гранична умова II-го роду відповідає лініям струмів з нульовою витратою ($Q = 0$).

У плані гідродинамічні границі модельованих вугільних пластів є межами шахтного поля, які відповідають зонам тектонічних порушень (Поздовжній, Петровський, Богдановський і Нікольський скиди) та являються непроникними екранами на шляху фільтрації підземних вод ($Q = 0$).

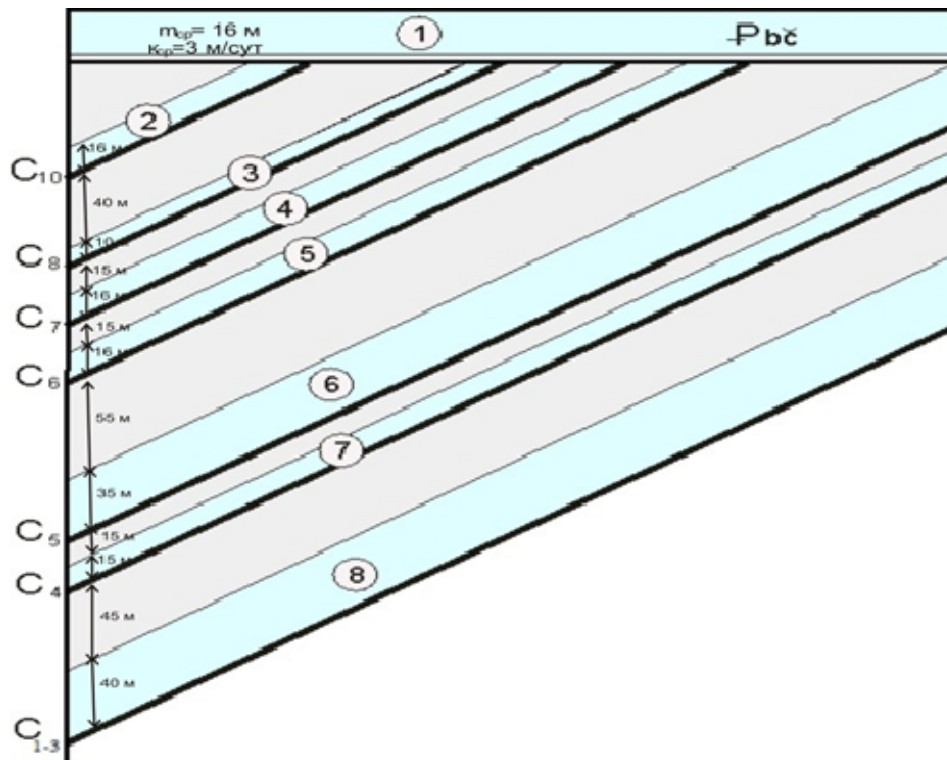


Рис. 2.17. Схематичний розріз моделі

Межі виходів пластів під бучаксько-київські відкладення є гідродинамічними границями III роду і відображають взаємозв'язок рівня і витрат під впливом дренажної дії шахтного водовідливу (рис. 2.18).

Внутрішні границі моделі - це гірничі виробки, які є контуром дренажу також для пісковиків, що залягають в безпосередній покрівлі або зоні водопровідних тріщин. У такій постановці пісковики розглядаються як частина гірничої виробки, тобто як контур дренажу з заданим зниженням рівня підземних вод на позначці підошви вугільного пласту.

Чутливість схеми-моделі визначена шляхом оцінки зв'язку між змінами фільтраційних параметрів моделі або граничних умов і реакцією моделі, що відповідає критеріям її фізичної правдоподібності на ці зміни, у вигляді розподілу напорів і складових балансу підземних вод.

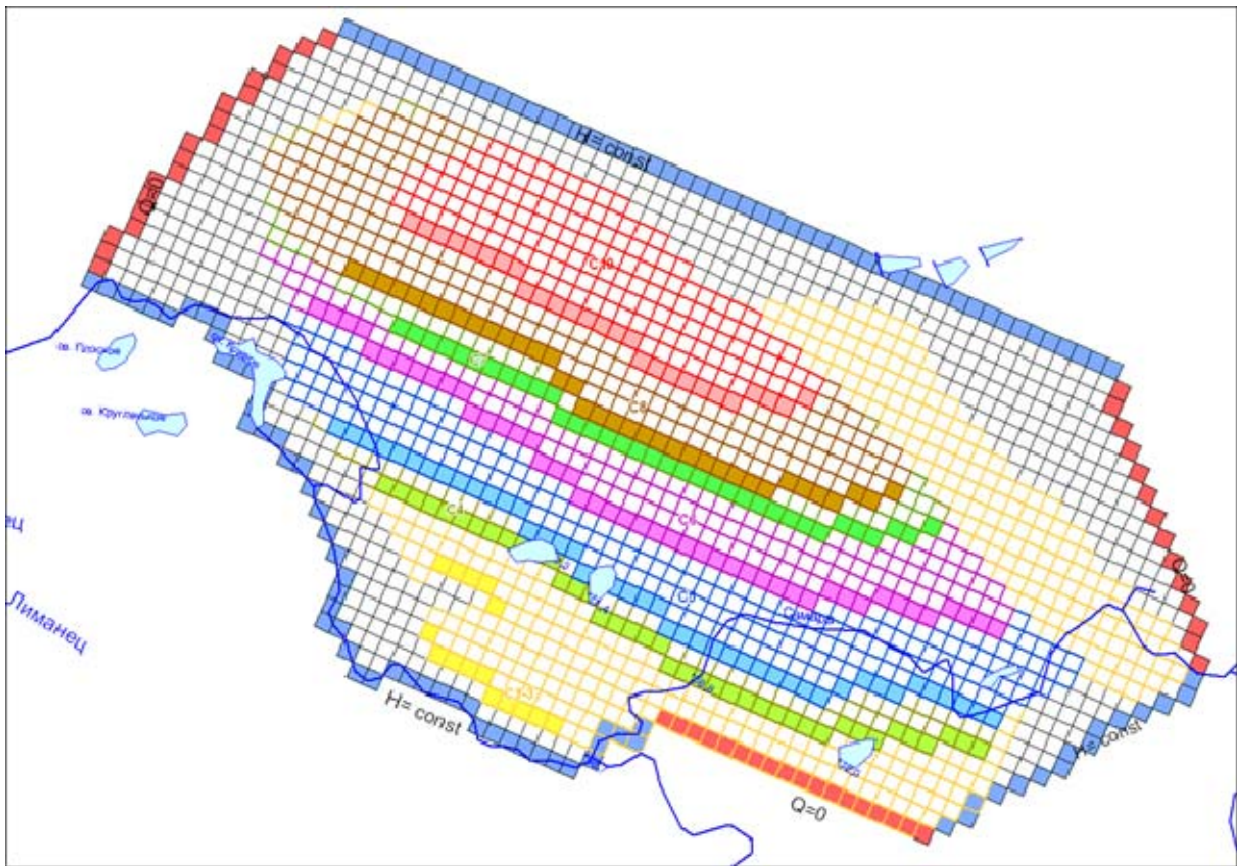


Рис. 2.18. Проекція виходів вугільних пластів під бучакські відкладення

Представлена схема моделі дозволяє врахувати тісний гідравлічний зв'язок вугленосної товщі карбону і покривних відкладень, а також передумову про переважаючу роль алювіальних пісковиків у формуванні аномально високих величин водопритоків.

Створення моделі супроводжується вирішенням ряду ідентифікаційних або обернених задач у природній і порушеній гірничими роботами гідродинамічній обстановці. В результаті їх вирішення за положенням в плані і розрізі рівневих поверхонь, величин водопритоків уточнюються граничні умови, фільтраційні і ємнісні параметри.

Остаточна оцінка результатів ідентифікації виконується за даними функціонування об'єкта, тобто встановлюється функціональна відповідність, і на моделі відтворюються процеси, фактичні дані протікання яких були зафіксовані в натурних умовах. Для цього на моделі повторюється процес відпрацювання вугільних пластів відповідно до планів гірничих робіт в періоди, де зафіксовані найбільш характерні зміни водопритоку (рис. 2.19). В результаті аналізу динаміки притоків води в гірничі виробки виділено 5 періодів: 1983-90 рр., 1999-94 рр., 1994-1998 рр., 1998-2006 рр., 2006-2012 рр.

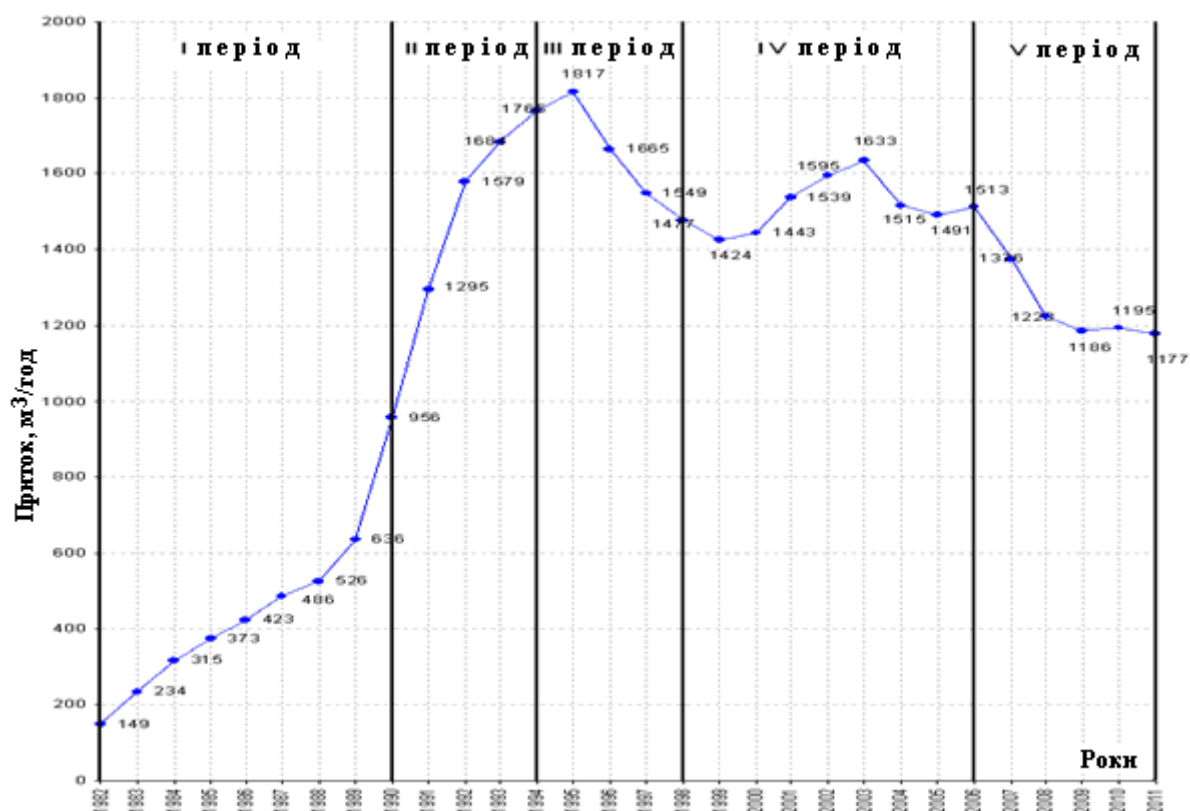


Рис. 2.19. Динаміка формування шахтних водопритоків

Для створення масивів вихідної інформації використані карта гіпсометрії поверхні землі, гідрогеологічні карти на різні часові періоди, геологічні та гідрогеологічні розрізи, дані про фільтраційні параметри порід, карти гіпсометрії покрівлі і підосви водоносних горизонтів, відомості про режимні спостереження, дані про водопритоки до гірничих виробок за багаторічний період.

При створенні масивів покрівель і підосви водоносних горизонтів використані дані про геологічну будову досліджуваної території, геологічні розрізи, плани гірничих робіт.

Масив інфільтраційного живлення на моделі відображає перетікання підземних вод з вищезалягаючих водоносних горизонтів у водоносний горизонт бучаксько-київських відкладень. На початковий період заданий однієї зоною з величиною 20 мм/рік.

Масив коефіцієнтів фільтрації створений на основі даних, отриманих при проведенні гідрогеологічних досліджень в різні періоди часу. Коефіцієнт фільтрації бучаксько-київських відкладень прийнятий рівним 3 м /доб. Коефіцієнт фільтрації водомістких порід карбону розрахований як середньозважений в розрізі з урахуванням наявності водопровідних пісковиків в покрівлі і змінювався від 0,1 до 3,1 м/доб. Максимальні величини приурочені до вугільних пластів С₈ і С₅, що пояснюється наявністю в їх покрівлі зон підвищеної проникності палеоруслових пісковиків.

Масив анізотропії відображає особливості фільтрації підземних вод в кам'яновугільних відкладах за напрямком X та Y . Згідно з дослідженнями, проведеними на території Західного Донбасу, усереднений коефіцієнт анізотропії прийнятий рівним 2.

Масиви гравітаційної і пружної водовіддачі сформовані за літературними даними. Початкові значення гравітаційної водовіддачі склали для бучаксько-кйївських відкладень – 0,2; для кам'яновугільних відкладень – 0,001, а пружної водовіддачі, відповідно, – 0,00001 і 0,000001.

Взаємозв'язок підземних вод з поверхневими на моделі відображається масивами абсолютних відміток рівня води, абсолютних відміток подошви подруслових відкладень і параметром взаємозв'язку підземних вод з поверхневими.

Для визначення *абсолютних відміток рівня* води в р. Самара використані топографічні карти, дані водопостів, гідрологічні розрізи. В межах досліджуваної території абсолютні позначки рівня води в р. Самара змінювалися від 67,5 до 71,7м.

Параметри взаємозв'язку підземних вод з поверхневими водотоками розраховані за наступними залежностями:

для лінійного і недосконалого водотоку

$$DL = \frac{TS \cdot N}{L + \Delta L}$$

для площадного водотоку

$$DL = \frac{k_0 F \epsilon}{m_0},$$

де TS – водопровідність водовмісної товщі; N – довжина водотоку в розрахунковому блоці; L – відстань від центру блоку до водотоку; ΔL – гідродинамічна недосконалість; k_0 , m_0 – коефіцієнт фільтрації і потужність ярового аллювію; km – водопровідність водоносного горизонту.

Гідродинамічна недосконалість водотоку визначена відповідно до формули

$$\Delta L = \sqrt{\frac{k \cdot m \cdot m_0}{k_0}}.$$

Початкові значення параметрів взаємозв'язку підземних вод з поверхневими водотоками прийняті для р. Самара – 200 м²/доб; для ставка – 150 м²/доб.

Параметр взаємозв'язку водоносних горизонтів розраховується за залежністю:

$$TR = \frac{K_0}{m_0} \times 10^6,$$

де K_0 , m_0 – коефіцієнт фільтрації і потужність розділюючого шару в розрахунковому блоці; 10^6 – перерахунковий коефіцієнт.

В якості контрольних даних використані дані величин водопритоку в гірничі виробки шахти, режимних спостережень, гідродинамічної зйомки і змін положення рівня підземних вод в бучакських відкладеннях (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Фактичні дані про величини водопритоку в ш. ім. М.І Сташкова

Роки	Вугільні пласти (розрахункові шари), м ³ /год							Приток по шахті, м ³ /год	Зниження рівня в бучакських відкладеннях, м
	C ₁₀ (2)	C ₈ (3)	C ₇ (4)	C ₆ (5)	C ₅ (6)	C ₄ (7)	C ₁₋₃ (8)		
I період									
(1982-1990)	45	335			–			690	15
II період									
(1990-1994)	122	455	–	163	649	386	–	1788	27
III період									
(1994-1998)	146	287	–	163	412	369	–	1454	29
IV період									
(1998-2006)	302	115	–	125	556	387	–	1510	31
V період									
(2006-2012)	204	97	–	72	463	325	–	1176	32

Відтворення на моделі гідродинамічної картини на **доексплуатаційний період (до 1980 року)** свідчить про те, що в природних гідродинамічних умовах підземні води бучаксько-київського горизонту розвантажуються в р. Самара, що підтверджується положенням гідроізогіпсу біля річки і напрямком руху фільтраційних потоків (рис. 2.19, 2.20).

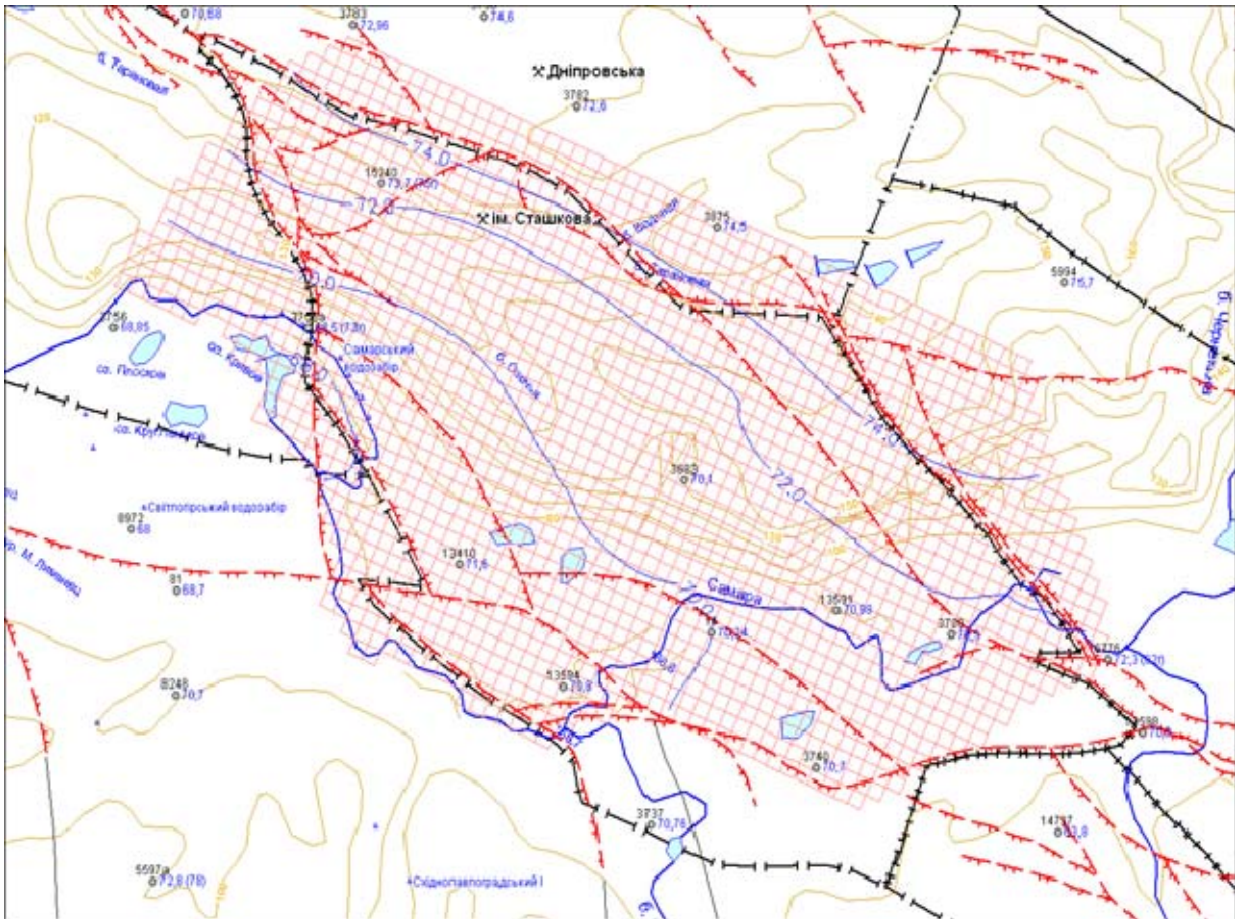


Рис. 2.19 Положення гідроізогіпс (абс. відм.) водоносного горизонту бучаксько-київських відкладень

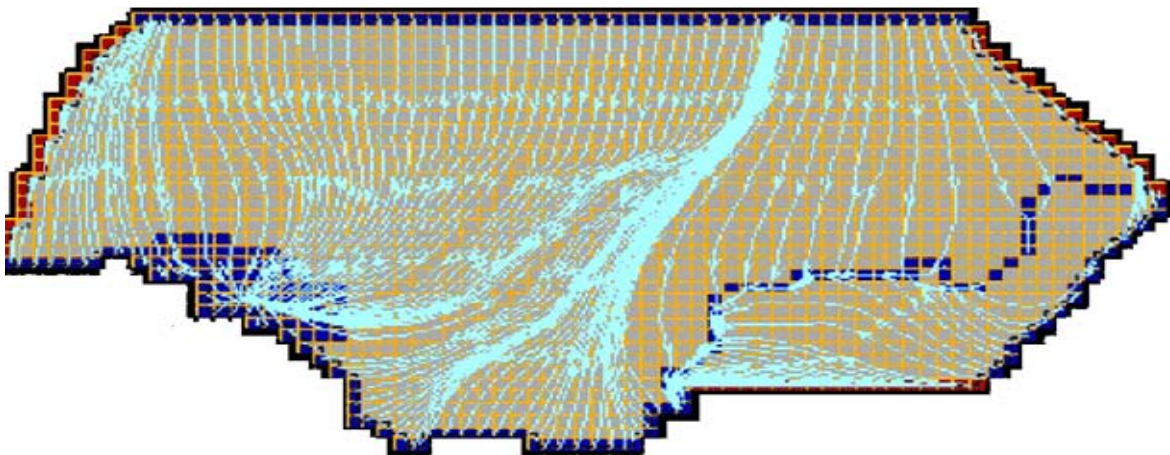


Рис. 2.20 Напрямок руху підземних вод в бучаксько-київських відкладах

Достовірність отриманих результатів підтверджується контрольними даними за положенням рівневих поверхонь водоносних горизонтів (табл. 2.7, 2.8) і збігом балансових складових чисельної моделі і об'єкта.

Таблиця 2.7

Збіжність результатів моделювання і фактичних даних положення рівня підземних вод бучаксько-київських відкладень

№ з/п	Індекс порід	№ свердловини	№ розрахункових блоків на моделі	Абс. відм. гирла / глибина свердловини	Абсолютна відмітка рівня підземних вод, м 1954-1980 гг.	
					об'єкт	модель
1	kv+bc	3782	11/4	-	72,6	74,3
2	kv+bc	3875	37/3	-	74,5	75,4
3	kv+bc	13410	30/30	73,53/-	71,6	69,3
4	kv+bc	13594	40/34-35	-	70,8	69,2
5	kv+bc	3740	57-58/32	72,27/-	71,6	70,6
6	kv+bc	13591	54/22-23	-	70,98	70,7
7	kv+bc	13564	65/13-14	-	71,8	71,9
8	bc	3700	62/20-21	72,74/-	70,49	70,9
9	bc	14	48/27	71,83/-	70,24	69,7
10	bc	3683	42/19	126,76/-	70,1	71,2
11	bc	15573	57/17	82,3/68,5	71	71,9
12	bc	3756a	14/20-21	74,01/65,5	68,5	68,3

Таблиця 2.8

Дані результатів моделювання рівненної поверхні підземних вод карбону і контрольних замірів

№ п/п	№ свердловини	№ розрахункових блоків на моделі	Абс. відм. гирла	Абсолютна відмітка рівня підземних вод, м 1954-1980 гг.	
				на об'єкті	на моделі
1	3787	18/7	121,6	70,4	70,4
2	3849	29-30/15	135,99	71,5	70,9
3	1313	43/11	138,15	73,5	72,5
4	3681	43/19	126,87	70,2	70,2
5	15	48/26	71,86	70,6	70,1
6	3739	57-58/32	73,55	70,7	70,4
7	1334	63/20	72,69	70,99	71,0

Період 1982-1990 рр. характеризується відпрацюванням вугільного пласта C_8 і проходженням магістральних виробок по пласту C_{10} . Водоприток на моделі в гірничі виробки пласта C_8 становить $373,3 \text{ м}^3/\text{год}$, причому $90,5 \text{ м}^3/\text{год}$ або 24% притоку становить перетікання води з р. Самари. Про це свідчить формування депресійної воронки в бучаксько-київському водоносному горизонті (рис. 2.21) і характерна зміна умов живлення і дренажування.

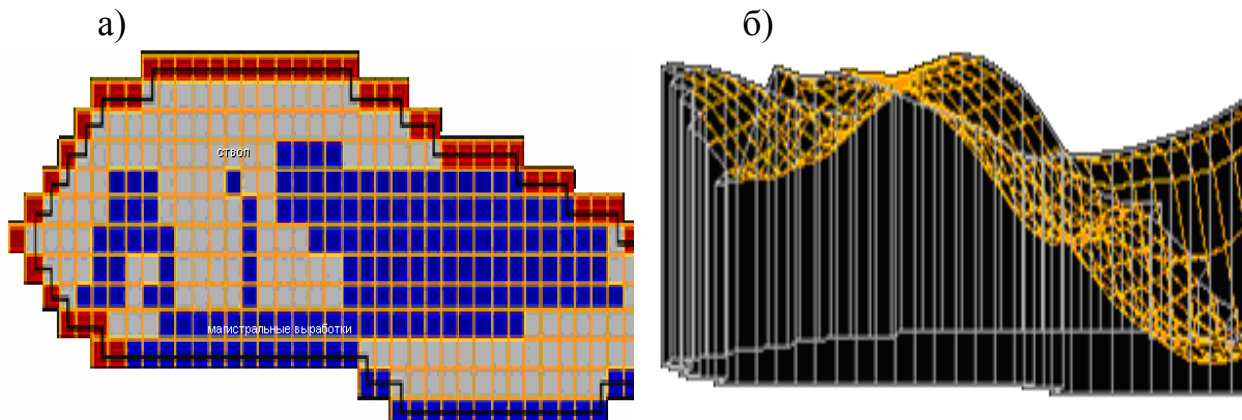


Рис. 2.21 Схематичний план гірничих робіт по пласту C_8 на моделі (а) і сформована рівненна поверхність (б)

Зміна напрямку фільтраційних потоків біля річки показує, що річка із зони розвантаження перетворюється в зону живлення бучаксько-київського водоносного горизонту (рис. 2.22). Величина зниження рівня підземних вод в бучакських відкладеннях досягає 13,5 м.

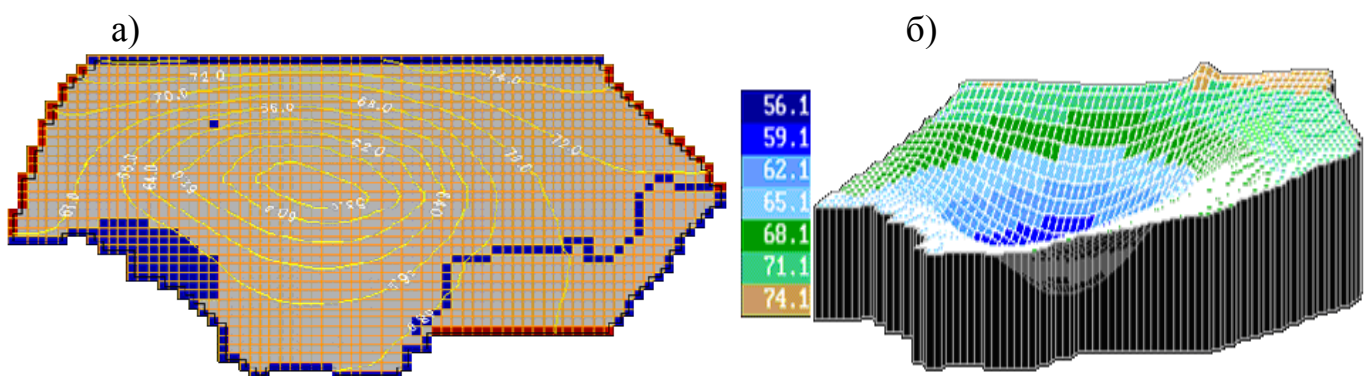


Рис. 2.22 Карта гідроізогіпс (абс. відм., м) підземних вод бучаксько-київських відкладень (а) і тривимірне зображення воронки депресії (б).

Період 1990-94 рр. Даний час характеризується максимальними величинами притоку води у шахту і відпрацюванням вугільних пластів C_8 , C_6 , C_5 , C_4 . Основним завданням моделювання на даному етапі є кількісна оцінка факторів і причин формування аномально високих притоків по пласту C_5 .

Отриманий на моделі водоприток до гірничих виробок аналогічний фактичному (табл. 2.9). В результаті відпрацювання вугільних пластів і обвалення покрівлі в кам'яновугільних відкладах сформувалися відповідні депресійні воронки (рис. 2.23).

Таблиця 2.9

Водоприток до гірничих виробок на період 1990-94 рр.

Вугільні пласти	C_8	C_6	C_5	C_4	Загальношахтний
Фактичний приток до гірничих виробок, м ³ /год	455	163	649	386	1788
Приток в гірничі виробки за результатами моделювання, м ³ /год	433	166	822	230	1768

Аналіз факторів формування водопритоку свідчить, що в період їх аномально високих значень, гірничі роботи ведуться як в зоні поширення палеоруслових пісковиків (пласти C_8 і C_5) з водопровідністю порівняною з провідністю бучакських відкладень, так і в безпосередній близькості (в 200-ох метрах) від русла р. Самара (рис. 2.24).

Аналіз балансових складових (табл. 2.10) показує, що водоприток до гірничих виробок по пласту C_5 на 69% (570 м³ / год) формується за рахунок перетікання з водоносного горизонту бучакських відкладень і безпосередньо підтікання річкових вод. Іншими словами водоприток в шахту на період 1994 р на 40% обумовлений фільтрацією води з річки Самара.

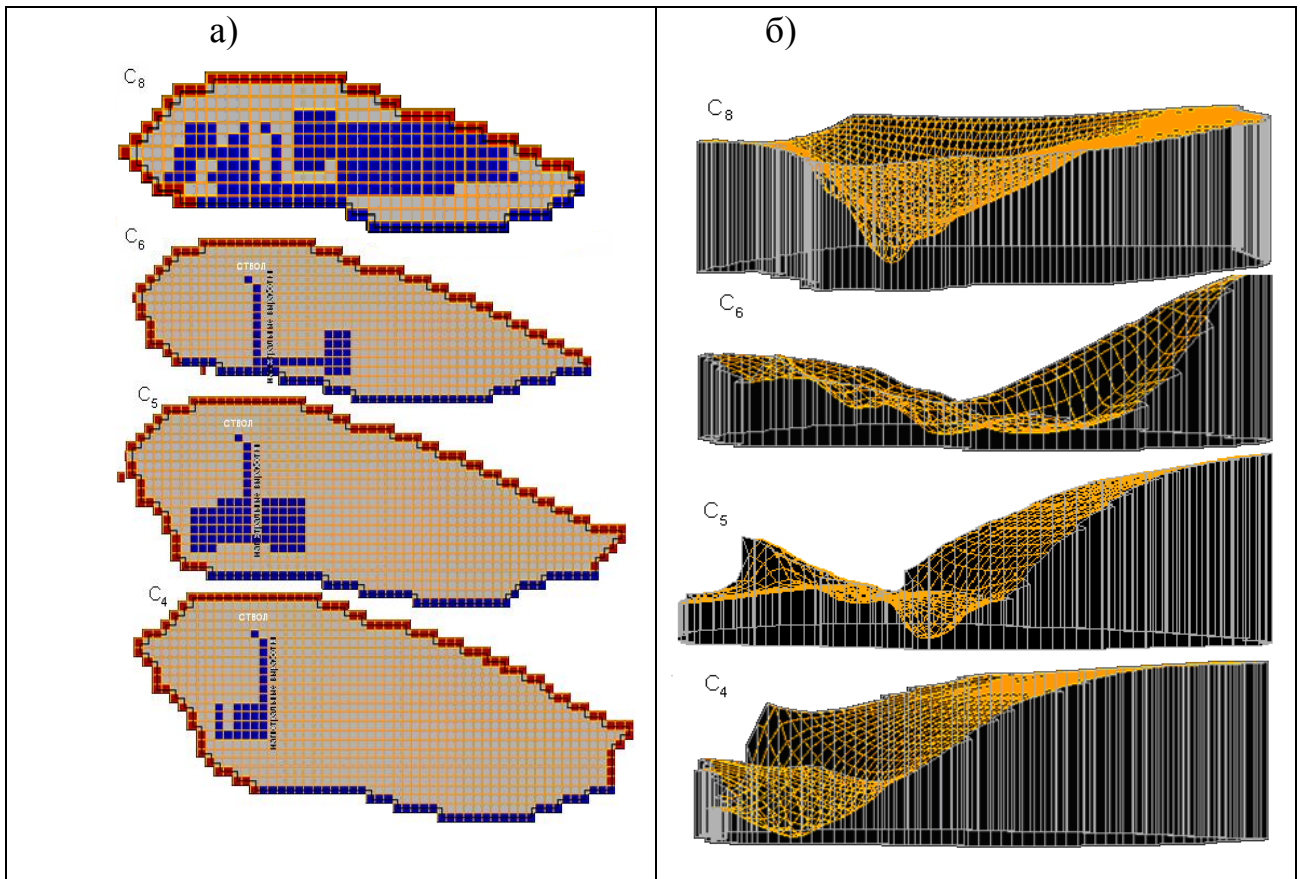


Рис. 2.23 Схематичний план розвитку гірничих робіт по пластах (а) і відповідна рівнева поверхня (б) карбонових відкладень

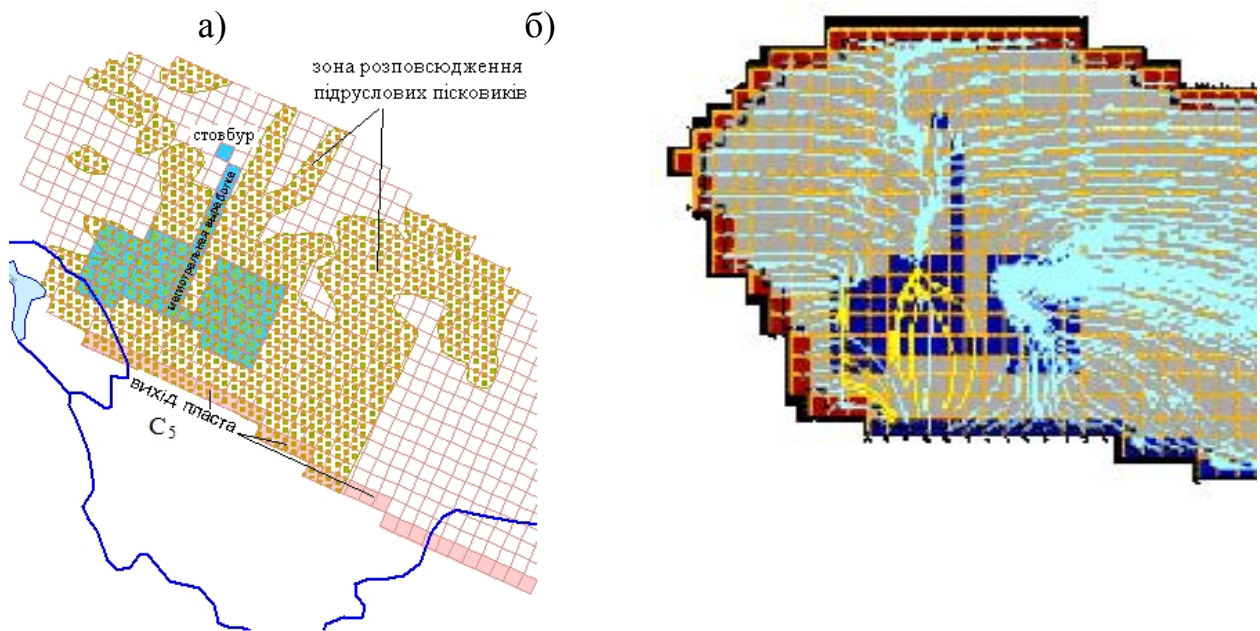


Рис. 2.24. Проекція апроксимованої площі відпрацювання і зони поширення палеоруслових пісковиків (а) і напрямок фільтраційного потоку (б) по пласту C_5

Таблиця 2.10

Складові водного балансу пласта C_5

Витратні статті балансу	Водоприток, м ³ /год
Взаємозв'язок гірничих виробок з підземними водами (в тому числі перетікання з бучакського водоносного горизонту за рахунок фільтрації з р. Самара)	822 (570)
Перетікання через покрівлю горизонту в вище залягаючи водоносні горизонти	0,9
Перетікання через підшову в нищележачі водоносні горизонти	53,7

За результатами моделювання депресійна воронка в водоносному горизонті бучакських відкладень в даний період зміщується в напрямку до річки (рис. 2.25), а зниження рівня досягає 31 м (рис. 2.26), що відповідає даним режимних спостережень станом на 1994 р.

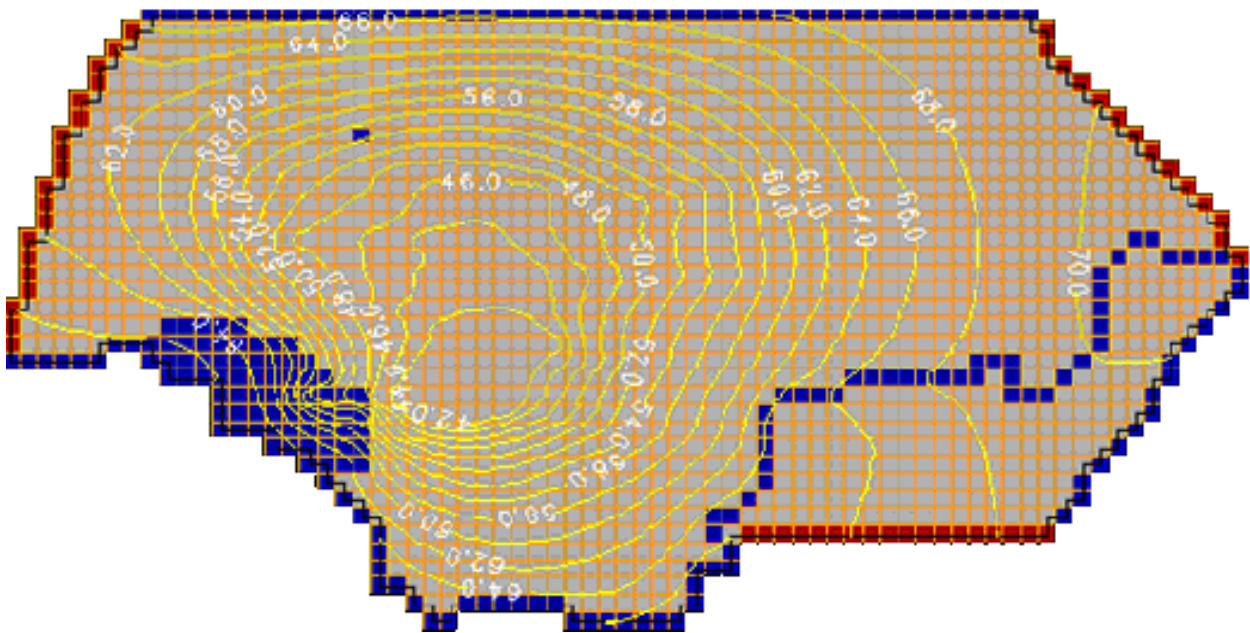


Рис. 2.25. Рівнева поверхня підземних вод бучакських відкладень за результатами моделювання на 1994 р.

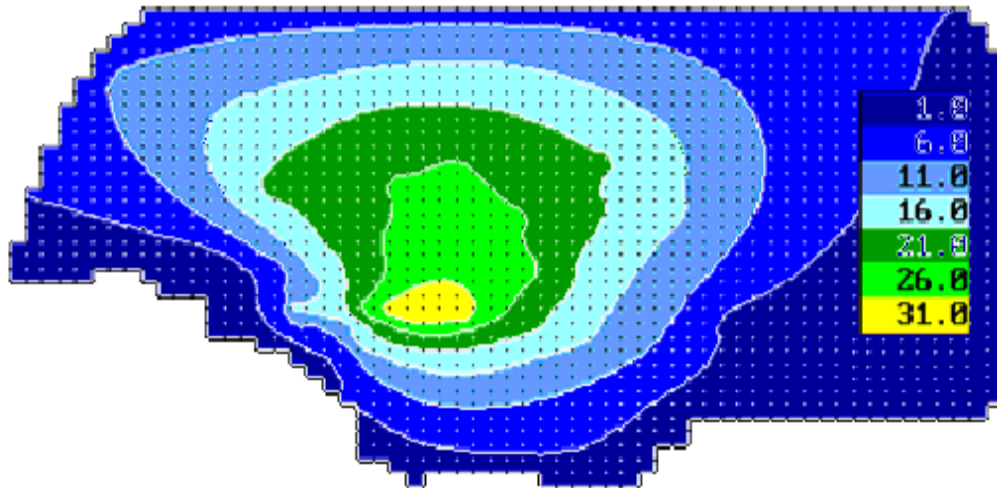


Рис. 2.26. Величина зниження рівня підземних вод в бучакських відкладеннях за результатами моделювання на 1994 р.

В період 1994-98 рр. спостерігається загальне зниження величин водопритоків до гірничих виробок шахти (з 1788 до 1454 м³/год). Відпрацьовуються вугільні пласти С₈, С₇, С₆, С₅, С₄. За пластом С₁₀ фіксується водоприток у магістральні виробки. Приток води за пластами на моделі наведений у таблиці 2.11. За результатами моделювання зниження рівня підземних вод бучаксько-київських відкладень становить 29 м.

Таблиця 2.11

Величини водопритоків на період 1994-98 рр.

Вугільні шари	С ₁₀	С ₈	С ₇	С ₆	С ₅	С ₄
Фактичний приток до гірничих виробок, м ³ /год	146	287	33	163	412	369
Приток до гірничих виробок за результатами моделювання, м ³ /год	129	250	52	122	463	245

Період 1998-2006 рр. Відпрацьовуються вугільні пласти С₁₀, С₈, С₇, С₆, С₅, С₄. Триває зниження загальношахтних водопритоків, яке пов'язане з віддаленням зони ведення гірничих робіт від зони виходу вугільних пластів під покривні відкладення. За результатами моделювання загальношахтний водоприток склав 1462 м³/год (фактичний – 1510 м³/год).

Період 2006-2012 рр. Фактична величина шахтного водотоку знизилася до 1176 м³/год (за результатами моделювання - 1130 м³/год). Максимальні величини водопритоку 463 м³/год або 40% загальношахтного водотоку фіксуються по пласту С₅. Це пояснюється як найбільшою площею відпрацювання пласта (рис. 2.27), так і наявністю в безпосередній і основній покрівлі вугільного пласта палеоруслових пісковиків.

З аналізу динаміки формування притоку по пласту С₅ (табл. 2.12) в період з 1990 по 2006 рр. простежується тенденція зниження перетікання води (від 69% до 17%) з річки Самари в бучаксько-київський водоносний горизонт і в гірничі виробки шахти. Це обумовлено віддаленням гірничих робіт від зони виходу пласта під бучаксько-київські відкладення і зменшенням потужності підруслових пісковиків в східній частині шахтного поля.

Таблиця 2.12

Динаміка формування водного балансу по пласту С₅
(«+» - прибуткові, «-» - відємні елементи)

Статті балансу	1994 р.		1998 р.		2006 р.		2012 р.	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Приток до гірничих виробок (в тому числі підток з бучакського водоносного горизонту за рахунок фільтрації річкових вод), м ³ /год	-	822 (570)	-	463 (250)	-	590 (159)	-	452 (76)
Перетікання через покрівлю, м ³ /год	868	0,9	612,3	2	785,2	1,1	619	-
Перетікання через підшову, м ³ /год	19,3	53,7	29	158,3	28	205	40,2	207,8

Величина водопритоку в шахту 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, через 5-10 років зменшується в два рази і перестає виконувати дренажну функцію через 15-20 років (рис. 2.28).

Встановити подібні трансформації для конкретних гірничо-геологічних умов можливо шляхом вирішення тривалого (15-20 років) часового ряду нестационарних ідентифікаційних задач, що є обов'язковим етапом в методиці створення адекватних моделей шахтних полів і отримання довгострокових прогнозів високої вірогідності.

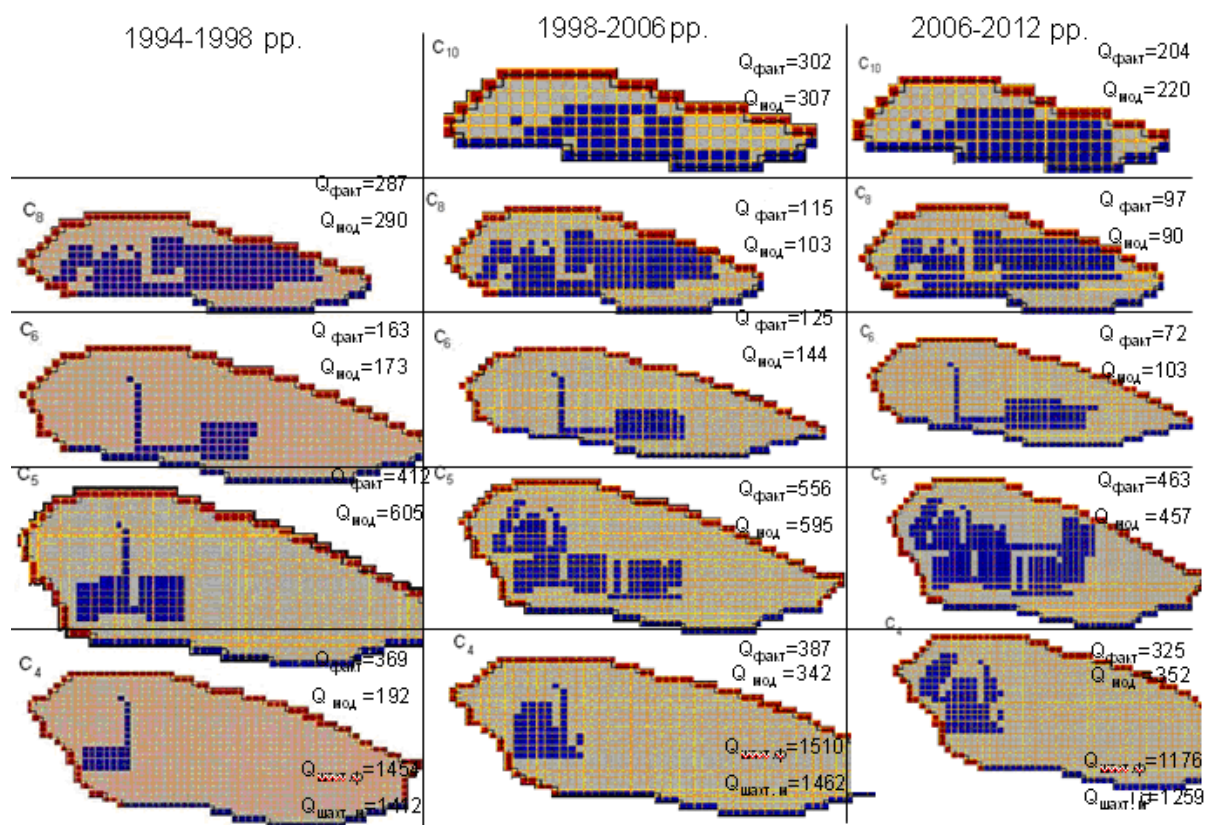


Рис. 2.27. Зміна площі відпрацювання і величин водопритоку за періодами

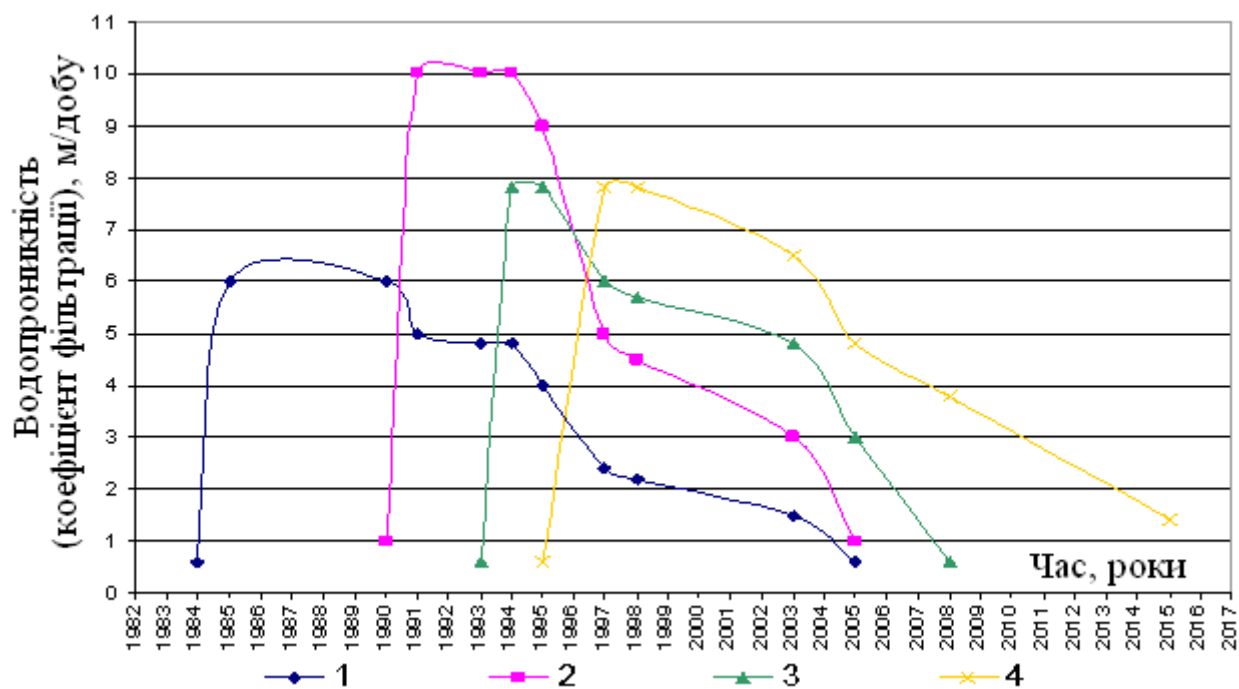


Рис. 2.28. Зміна водопроникності по пласту C₅ на ділянках (1-4), відпрацьованих в різні періоди часу

На підставі встановленої при моделюванні гідродинамічної структури, параметрів зон підвищеної проникності і її динаміки, аналізу технічних можливостей і технологічних аспектів розглянута ефективність наступних варіантів технічних рішень з водорегулювання.

Варіант 1. Спорудження протифільтраційної перемички

Результати детальної гідродинамічної зйомки в гірничих виробках шахти, рішення обернених ідентифікаційних задач і аналіз технічних можливостей є підставою для розгляду двох підваріантів: *1а* – блокування проникності перемичкою 519-го збірного штреку пласта C_5 (рис. 2.29) і *1б* – створення перемички у зоні штучного перепуску води з пласта C_6 на C_5 .

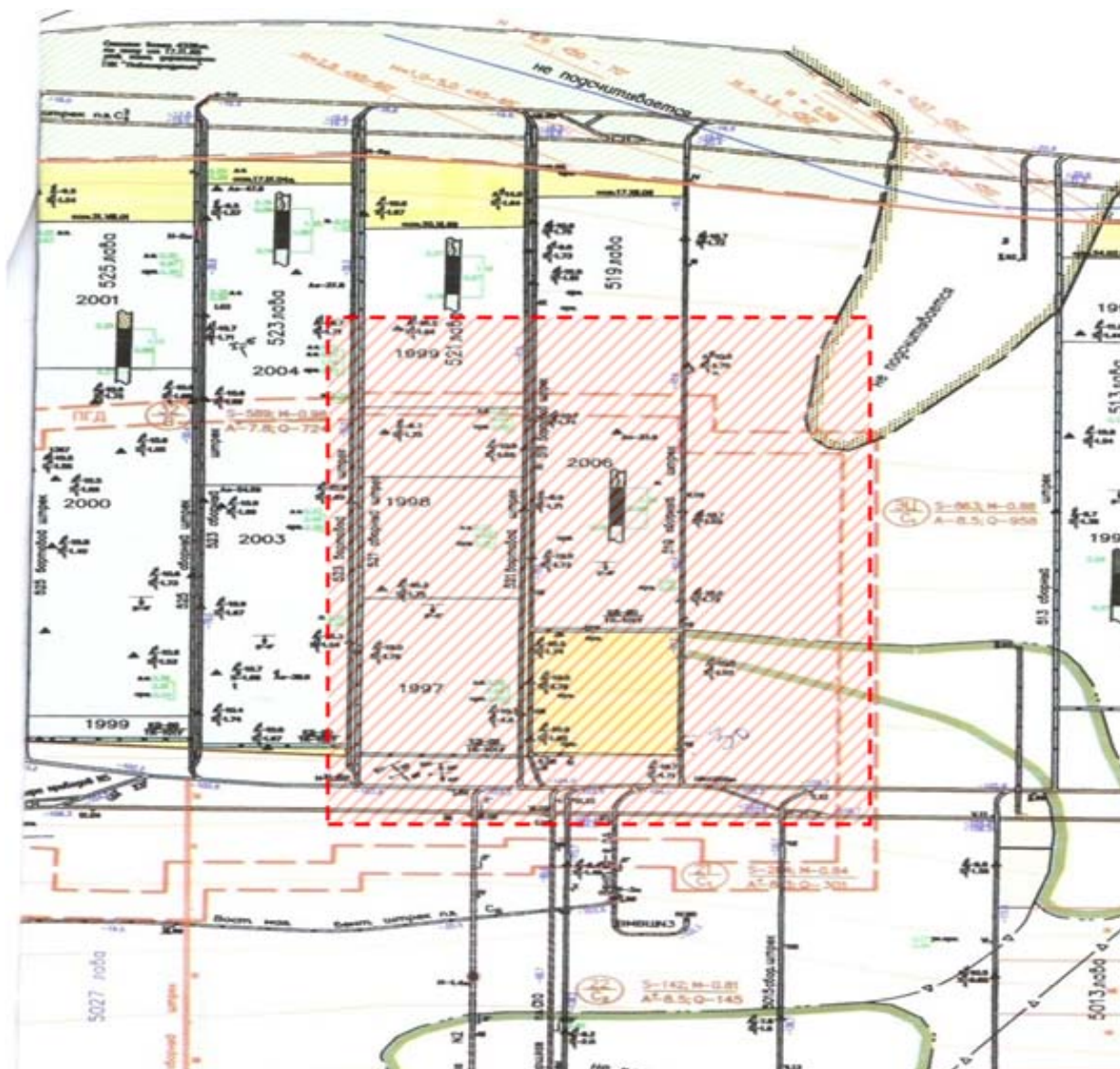


Рис. 2.29. Фрагмент плану гірничих робіт по пласту C_5 (ділянка досліджень виділена штриховкою)

Об'єкт досліджень за *варіантом 1a* розташований в східній бремсберговій частині шахтного поля в зоні дренавання 519-го збірної штреку (рис. 2.29). Водоприток з погашеної гірничої виробки становить близько $30 \text{ м}^3/\text{год}$. Слід зазначити наявність сполучення 519-го збірної штреку і захисних ціликів (рис. 2.29).

Реалізація на моделі даного варіанту управління водопритоком можлива шляхом фрагментації об'єкта і створення локальної гідродинамічної моделі ділянки. Локальна модель представлена двошаровою товщею і відображає фрагменти пластів C_5 і C_6 з кроком сітки $20 \times 20 \text{ м}$. Гідродинамічна схематизація фрагмента шахтного поля в плані по пласту C_5 зображена на рис. 2.30.

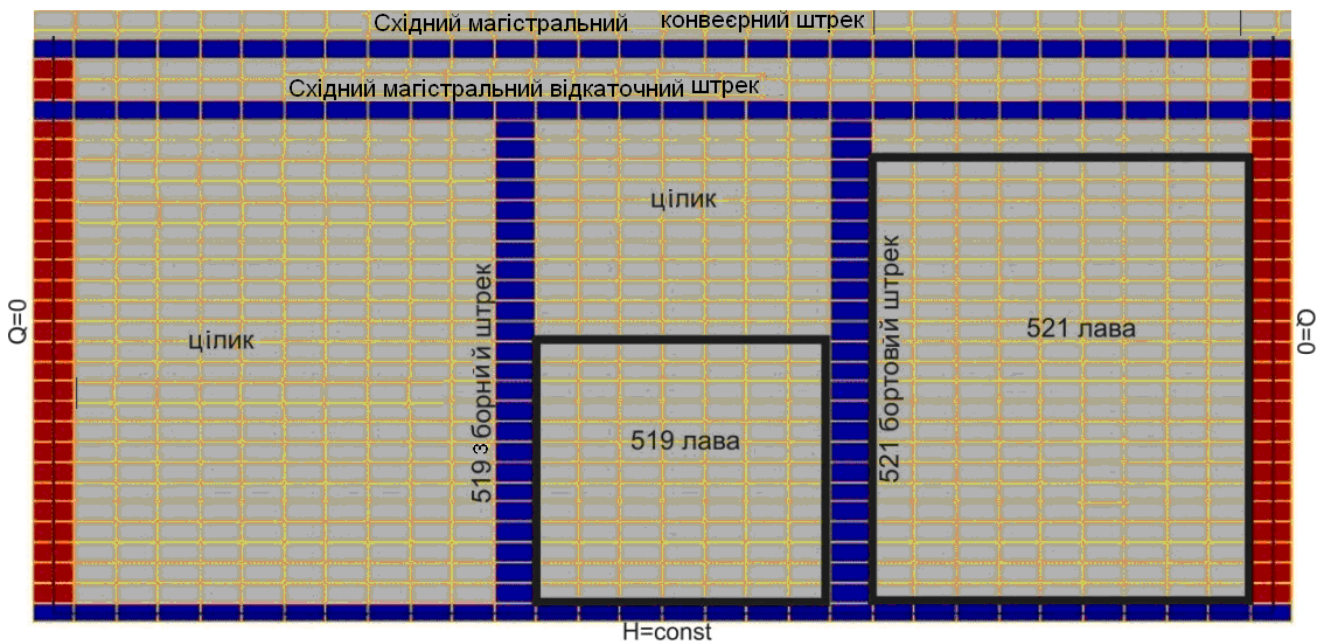


Рис. 2.30. Геометрія фрагмента по пласту C_5

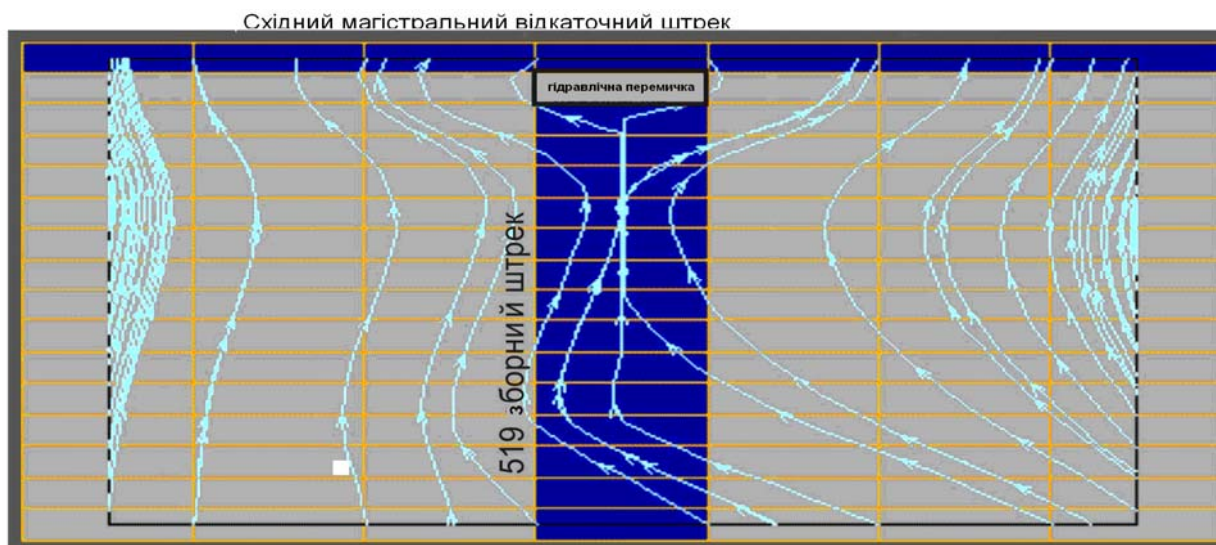


Рис. 2.31. Напрямок руху фільтраційних потоків при створенні перемічки

Спорудження протифільтраційної перемички у зоні дренування 519-го збірного штреку призводить до перерозподілу потоків підземних вод (рис. 2.31), створення підпору через 1 рік до 7,2 м в зоні перед перемичкою і зниження рівня до 5,7 м поза нею (рис. 2.32 і 2.33).

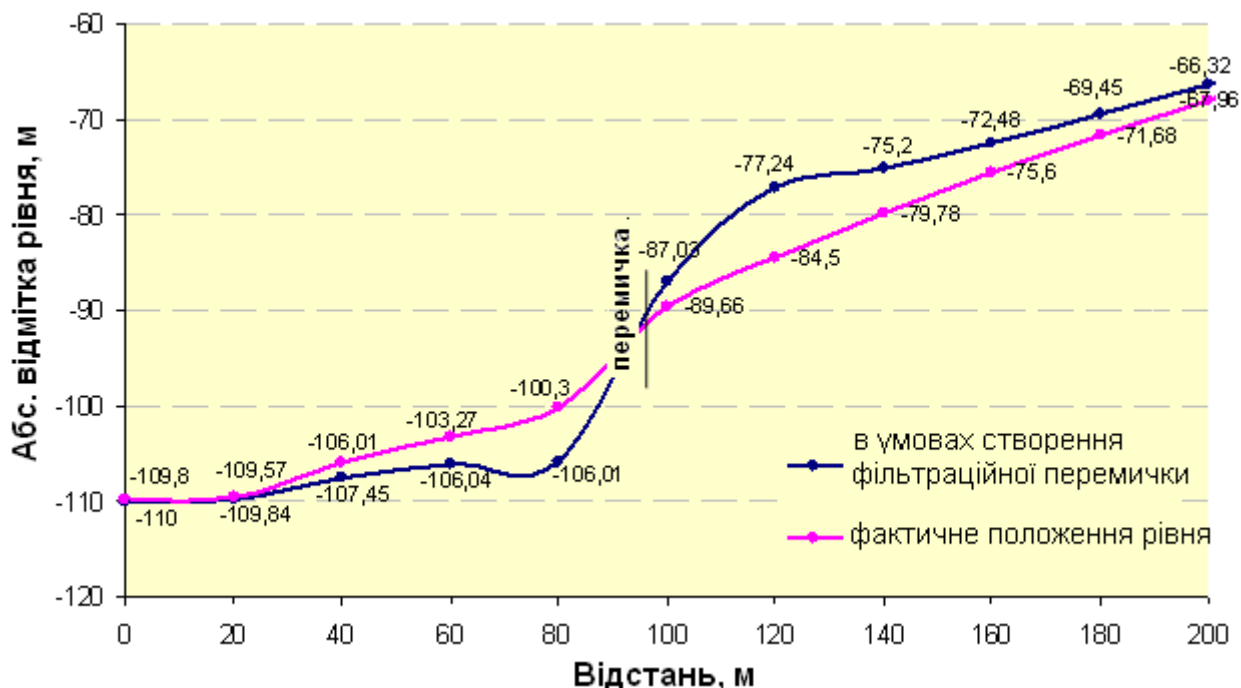


Рис. 2.32. Формування підпору в зоні спорудження перемички

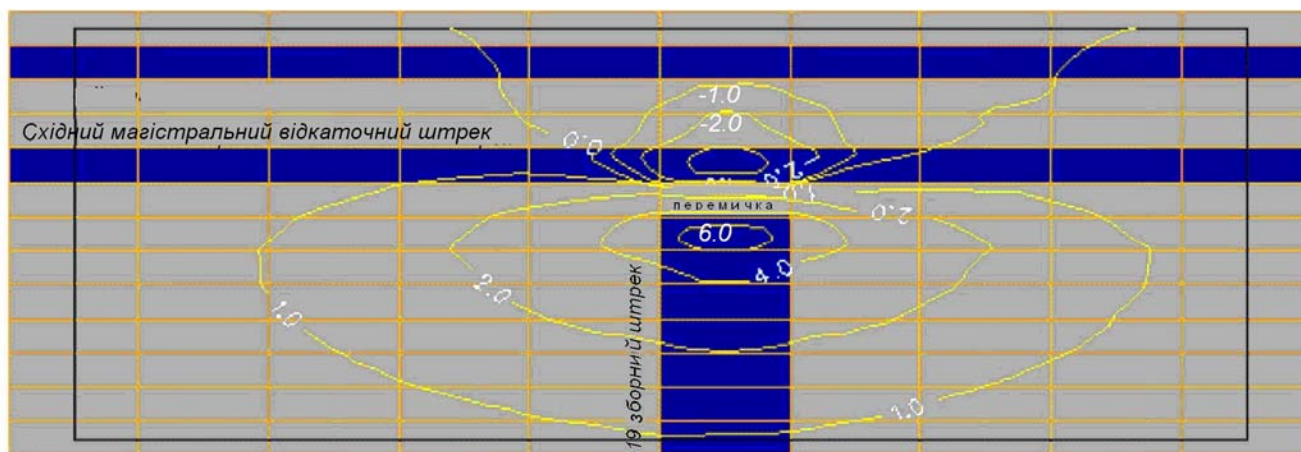


Рис. 2.33. Розподіл поля напорів у зоні перед та поза протифільтраційною перемичкою ("+" і "-" відповідно, підвищення і зниження напору, м)

Слід зазначити, що процес формування поля напорів нестационарний у часі і для початкового періоду (1 місяць) характерна величина підпору 3,1 м.

Створенням протифільтраційної перемички в умовах сталого режиму фільтрації вдається перехопити фільтраційний потік по 519-ому збірному штреку на 67%, а в східному магістральному відкаточному штреку на даній ділянці на 10% (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Зміна величин водопритоку при сталому режимі фільтрації

Гірничі виробки	Водоприток на моделі, м ³ /год		
	До створення перемички	Після створення перемички	Зниження, м ³ /год / %
Східний магістральний конвеєрний штрек	22,7	22,5	0,2 / 0,009
Східний магістральний відкаточний штрек	225,0	201	24 / 10,1
519 збірний штрек	32,3	10,6	21,7 / 67,5

Варіант 1 б. На ділянці сполучення 627-го збірного штреку і східного магістрального відкатувального штреку (рис. 2.34) організований штучний перепуск води через свердловину з пласта С₆ на С₅ в кількості до 100 м³/год (значення орієнтовне, оскільки прямий доступ до ємності переливу утруднений).

Створення додаткової стокової поверхні для пласта С₆ з дренуючими відмітками на підшві вугільного пласта С₅ є додатковим джерелом обводнення шахтного поля. Запропонованим варіантом технічних рішень передбачається ліквідація штучної дрени (перепуску) і оцінка нових умов формування водопритоку і напорів (табл. 2.14).

Таблиця 2.14

Зміна балансу водопритоку при ліквідації зони перепуску

Вугільні пласти	Водоприток на моделі, м ³ /год				Величина підпору, м
	В умовах перепуску води	Величина гідравлічного перетікання свердловиною	При ліквідації перепуску води	Збільшення «+», зменшення «-» м ³ /год	
С ₆	79	78	102	+23	20
С ₅	444		398	-46	
Загальний	1123		1100	-23	

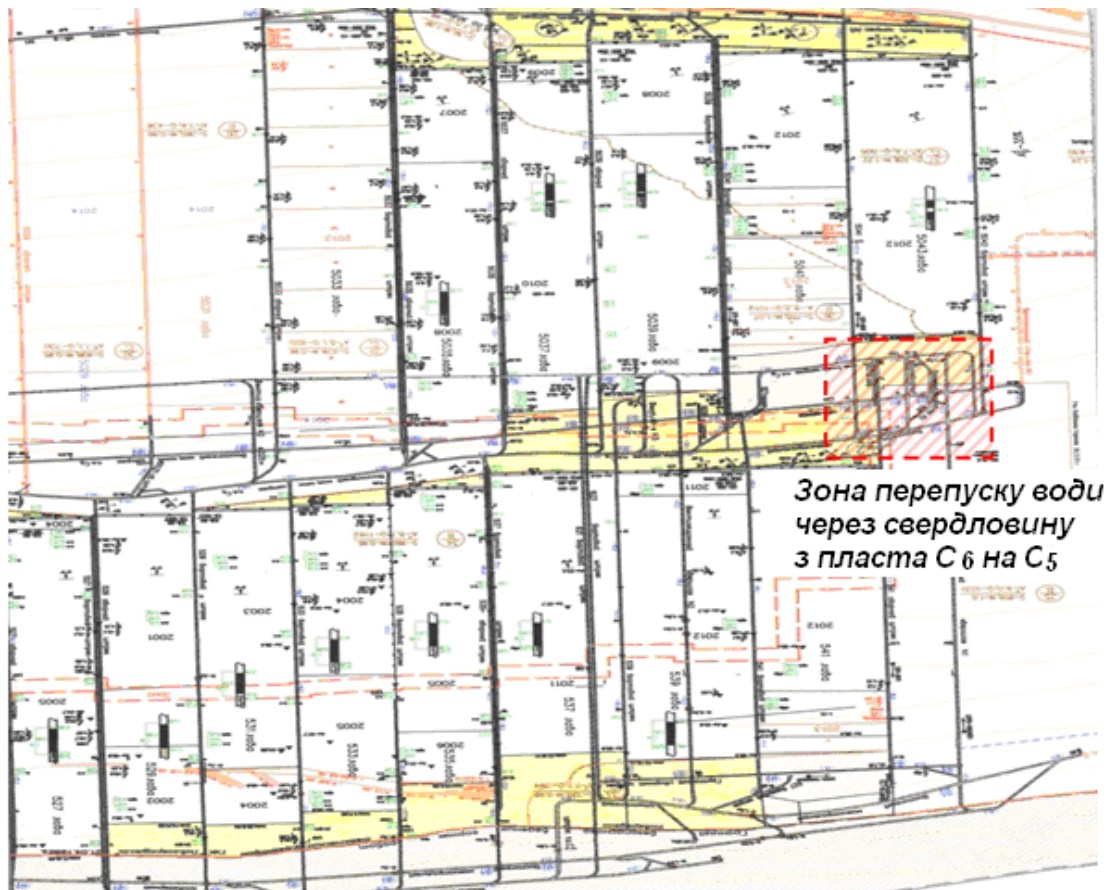


Рис. 2.34. Фрагмент схеми гірничих виробок пласта C_5 у зоні перепуску води

Прямий гідравлічний перепуск води на моделі становить $78 \text{ м}^3/\text{год}$. При його ліквідації водопріток по пласту C_6 збільшується на $23 \text{ м}^3/\text{год}$, а по C_5 зменшується на $46 \text{ м}^3/\text{год}$ в умовах сталого режиму фільтрації (через 1 рік). При цьому відновлення рівнів у верхньому шарі призводить до формування напорів до 20 м (табл. 2.14).

Варіант 2 Управління затопленням відпрацьованих блоків шахтного поля. Зниження водопритоку в цьому випадку відбувається за рахунок зменшення розмірів здренованих площ.

Реалізація даного варіанту можлива при затопленні відпрацьованих ділянок пластів C_5 і C_4 на 300-му горизонті до позначки -115 м (рис. 2.35). На моделі процес затоплення здійснюється відключенням внутрішніх граничних умов.

Слід зазначити, що в умовах невизначеності фільтраційних параметрів і наявності фільтраційних опорів відпрацьованого в різні періоди гірського масиву, слід розглянути два підваріанти:

- 2а, коли дрени, що підтримують рівень затоплення на позначці – 115 м, є досконалими, а масив котрий затоплюється, представлений обваленим виробленим простором з проникністю на порядок вище природної;

- 2б, в умовах затоплення гірського масиву з підвищеним фільтраційним опором, коли виробки-дрени, що підтримують позначку затоплення – 115 м, є недосконалыми.

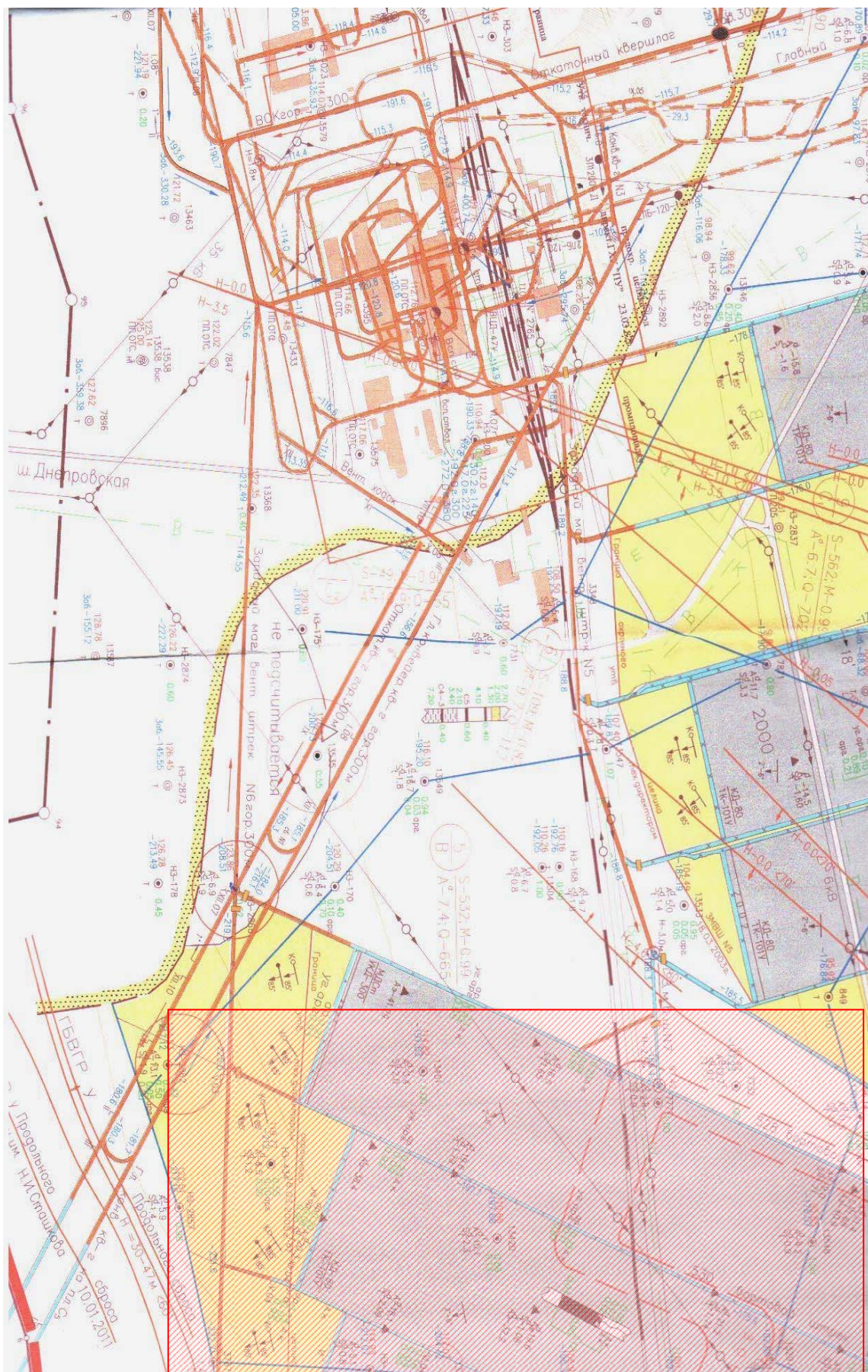


Рис. 2.35. Ділянка затоплення (заштрихована) на схемі ґрничих робіт по пласту С₅

Результати рішень за варіантом 2а показують, що затоплення горизонту до абсолютної позначки -115 м відбувається протягом одного року (рис. 2.36). При цьому шахтний водоприток в перший місяць затоплення зменшується на $188 \text{ м}^3/\text{год}$ (17%), у другій - на $175 \text{ м}^3/\text{год}$, а період повного затоплення 300-го горизонту (1 рік) характеризується зниженням загальношахтного водотоку до $50 \text{ м}^3/\text{год}$. На загальному фоні зменшення водопритоку в шахті очікується на кінцевий період збільшення при на $60 \text{ м}^3/\text{год}$ у західний магістральний відкаточний штрек на горизонті 225 м. Формування рівної поверхні підземних вод на період до і після затоплення показані на рис. 2.37 і рис. 2.38.

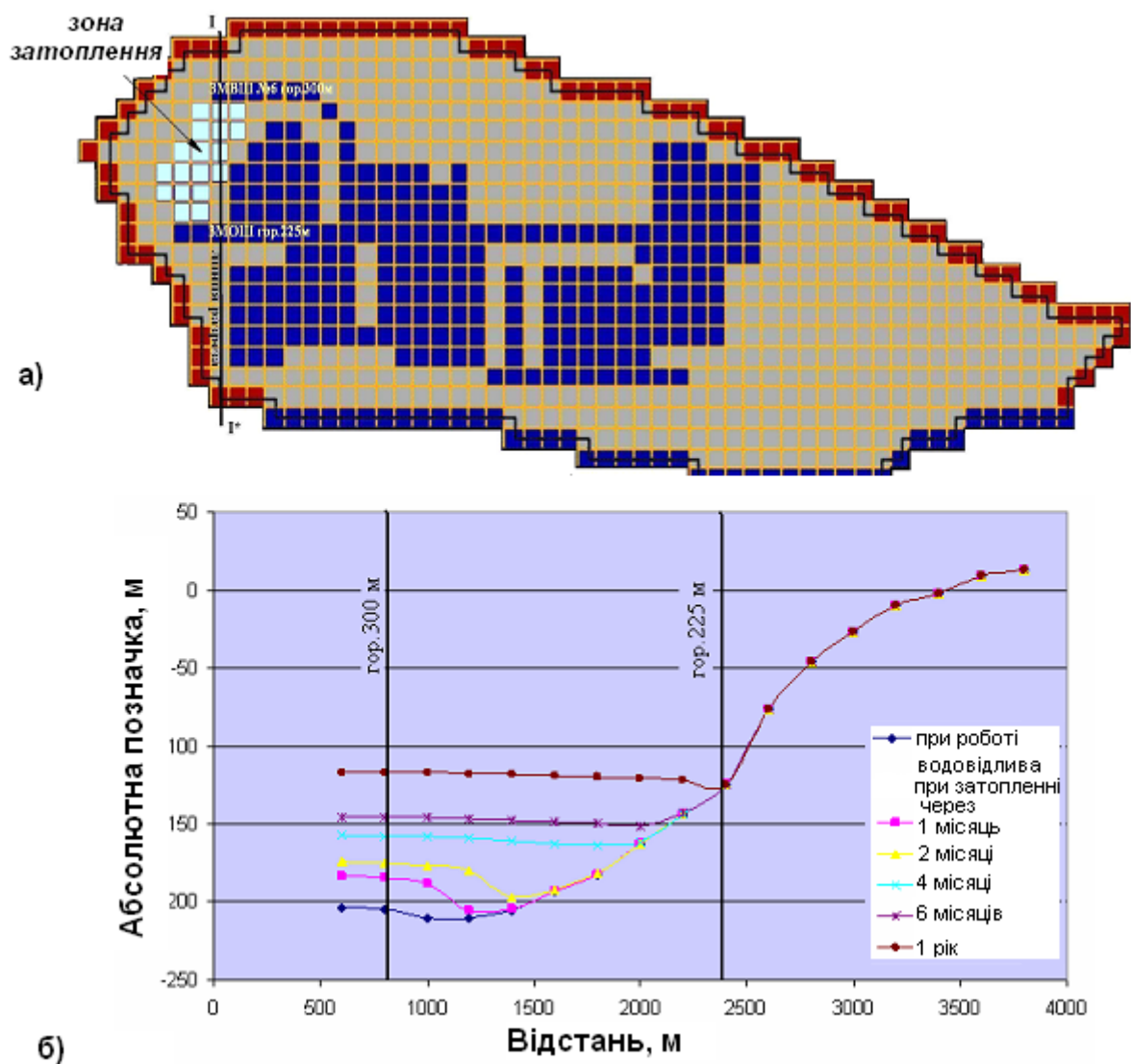


Рис. 2.36. Схема управління водопритоком шляхом затоплення частини шахтного поля: а) площа затоплення по пласту C_5 ; б) динаміка затоплення 300-го горизонту до позначки -115 м за лінією перерізу I-I*

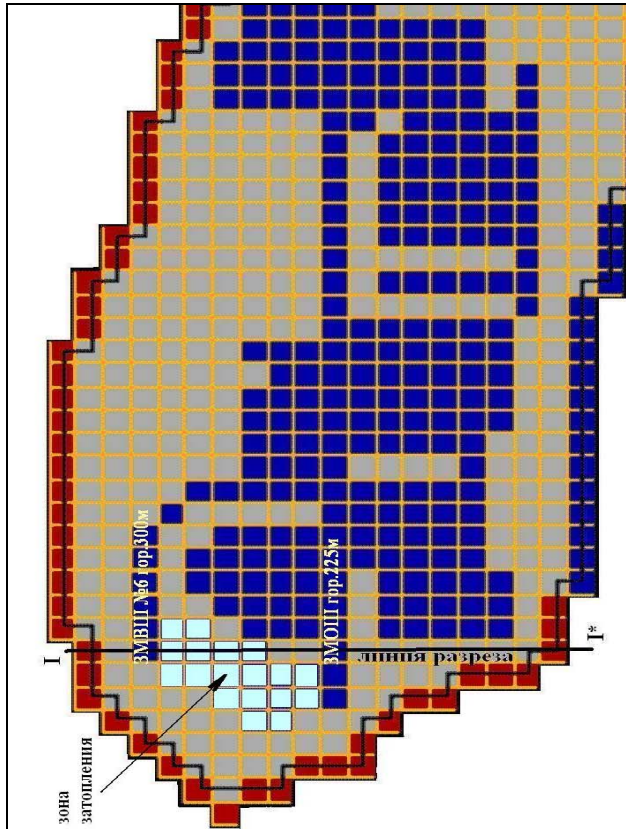
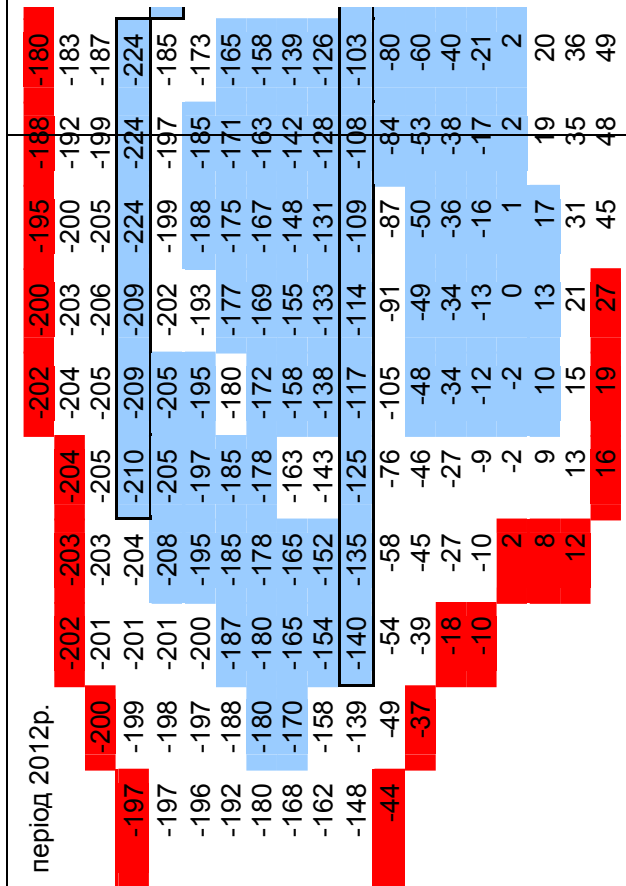


Рис. 2.37. Абс. позначки рівня підземних вод в західній частині пл. С₅ при роботі водовідливу на гор. 300м

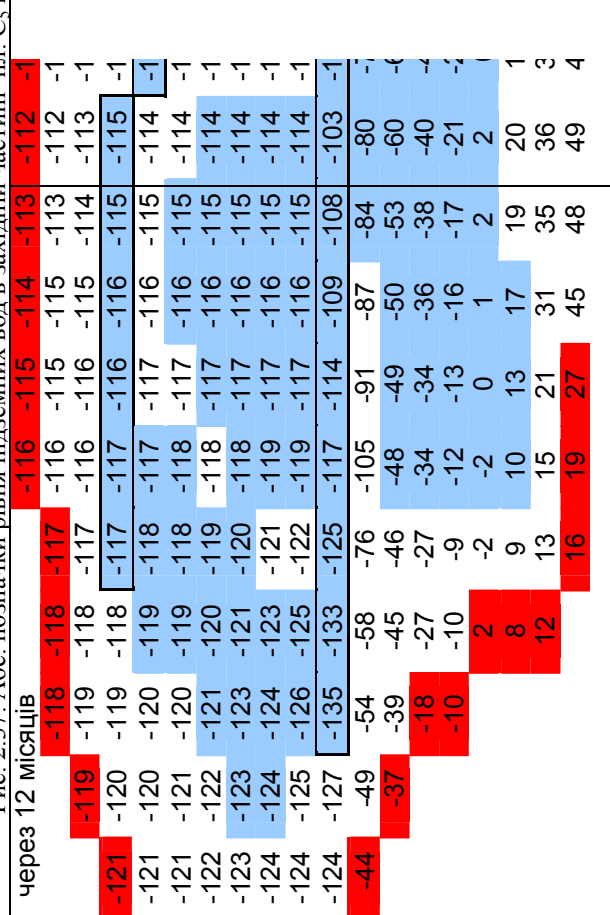
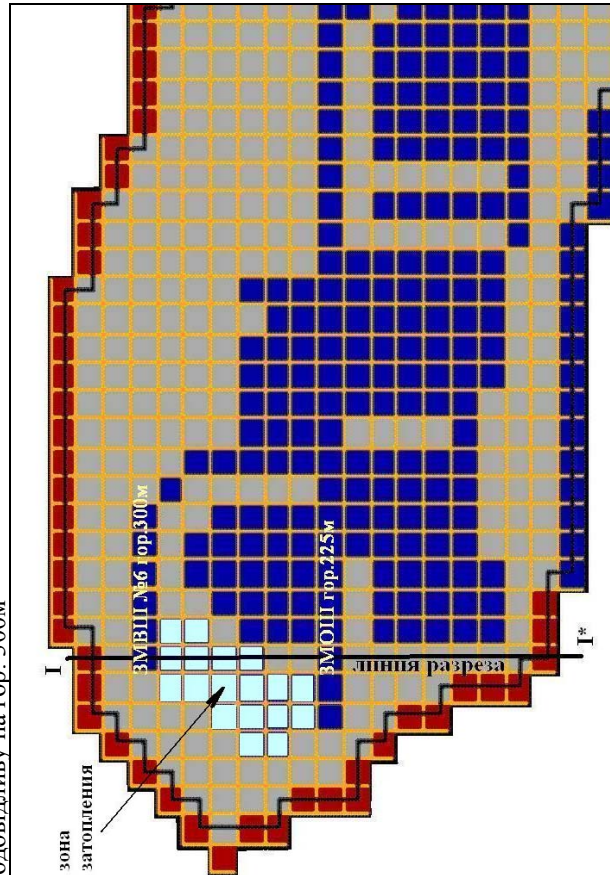


Рис. 2.38. Абс. позначки рівня підземних вод в західній частині шахтного поля по пл. С₅ при затопленні гор. 300 м



Збільшення напорів по пластах C_4 і C_5 (рис. 2.39) призводить до відновлення воронки депресії на 1 м в бучакського водоносному горизонті (рис. 2.40).

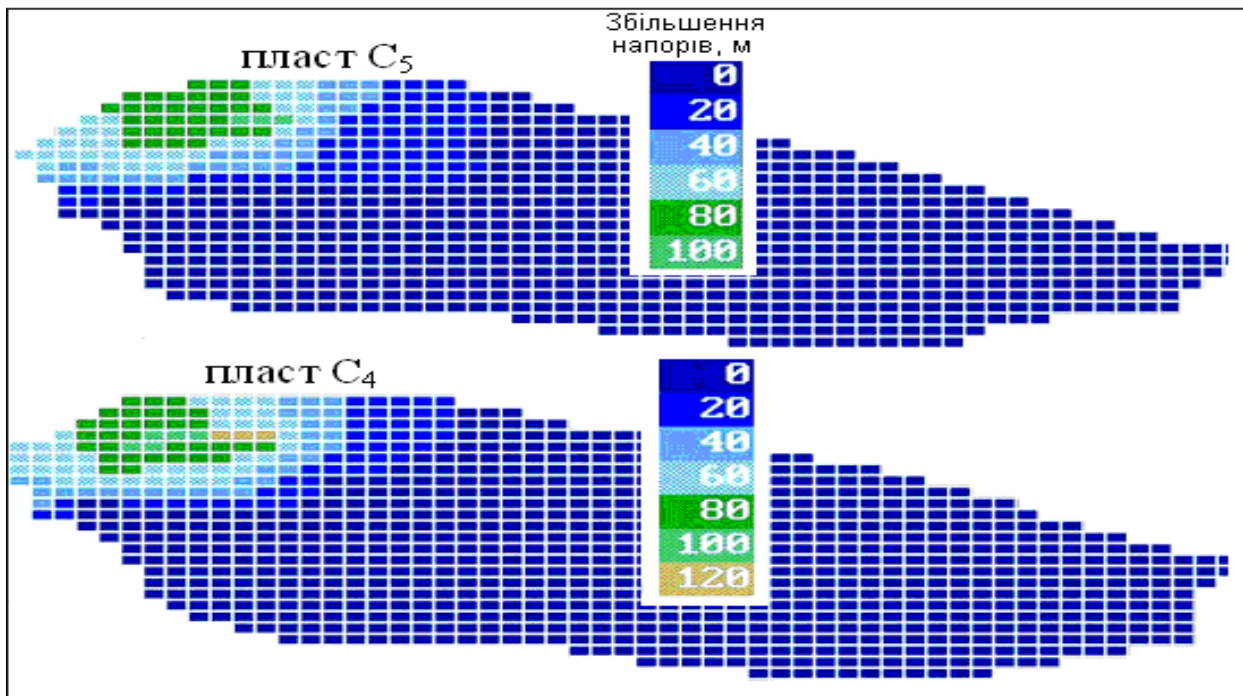


Рис. 2.39. Зростання напорів на ділянці затоплення

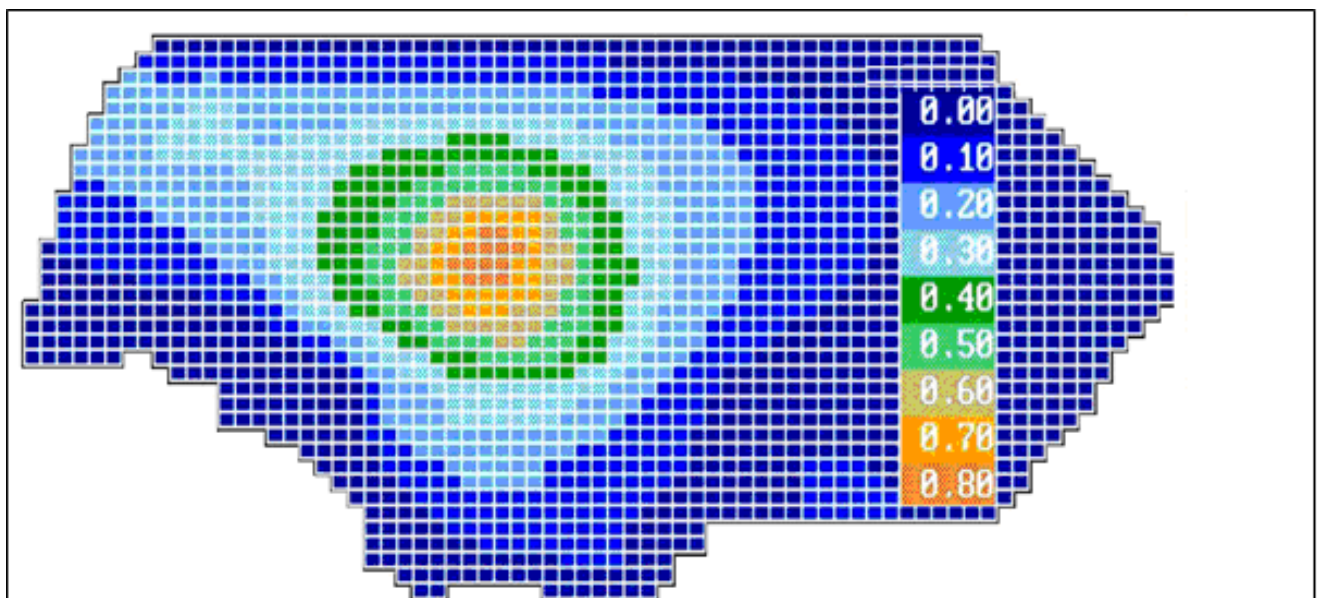


Рис. 2.40. Підйом рівня бучакського водоносного горизонту

Результати рішень за варіантом 2б свідчать, що при формуванні фільтраційних напорів до 4-6 м в межах відпрацьованої і затопленої площі, загальна динаміка відновлення рівня зберігається (варіант 2а), але величина зниження водопритоку на кінцевий період затоплення складає до $70 \text{ м}^3/\text{год}$ (табл. 2.15).

Величини водопритоків при затопленні гор. 300 м в умовах формування фільтраційних опорів

Вугільні пласти	Величина водопритоку, м ³ /год		Водоприток при затопленні, м ³ /год
	Факт	Модель	
C ₁₀	204	198	199,4
C ₈	97	77	78
C ₇	-	21	21,5
C ₆	72	79	81,4
C ₅ + c ₄	788	748	674,2
Загальношахтний водоприток	1161	1123	1053
Зниження водопритоку, м ³ /год			70

Варіант 3 Створення тампонажної протифільтраційної завіси (ПФЗ).

Аналіз факторів формування водопритоку в шахту за результатами розв'язку обернених ідентифікаційних задач свідчить про переважання ролі алювіальних пісковиків при підробці заплави річки Самари. Тампонування зон підвищеної проникності в зоні виходу пластів найбільш раціонально розглянути, використовуючи схему вертикально-горизонтального буріння.

На період 2012 року фактичний водоприток у шахту складає 1161 м³/год, при цьому 85% або 992 м³/год становить приток по пластах C₁₀ + C₅ + C₄. З урахуванням цього і динаміки руху воронки депресії в бучакському водоносному горизонті (рис. 2.41) розглянуті різні варіанти створення фільтраційної завіси, де змінювалися:

- величина проникності ПФЗ від 10⁻³ до 10⁻¹ м / добу (варіант 3а);
- лінійні розміри ПФЗ аж до повного перекриття виходів пластів (варіант 3б);
- кількість пластів, що перекриваються (варіант 3в).

Результати рішень за варіантом 3а показують найбільшу ефективність ПФЗ при коефіцієнті фільтрації 10⁻² м/добу (зниження загальношахтного водотоку на 25%, табл. 2.16), який приймався як базовий в розрахунках за варіантами 3б та 3в.

Наявність відкритого гідравлічного зв'язку карбонівих відкладень і бучакського водоносного горизонту обумовлюють активну реакцію моделі на збільшення лінійних розмірів ПФЗ. Наприклад, при максимальному перекритті виходів пластів C₁₀, C₅, C₄ можливе зменшення водопритоку в шахту до 695м³/год (-38%, табл. 2.16).

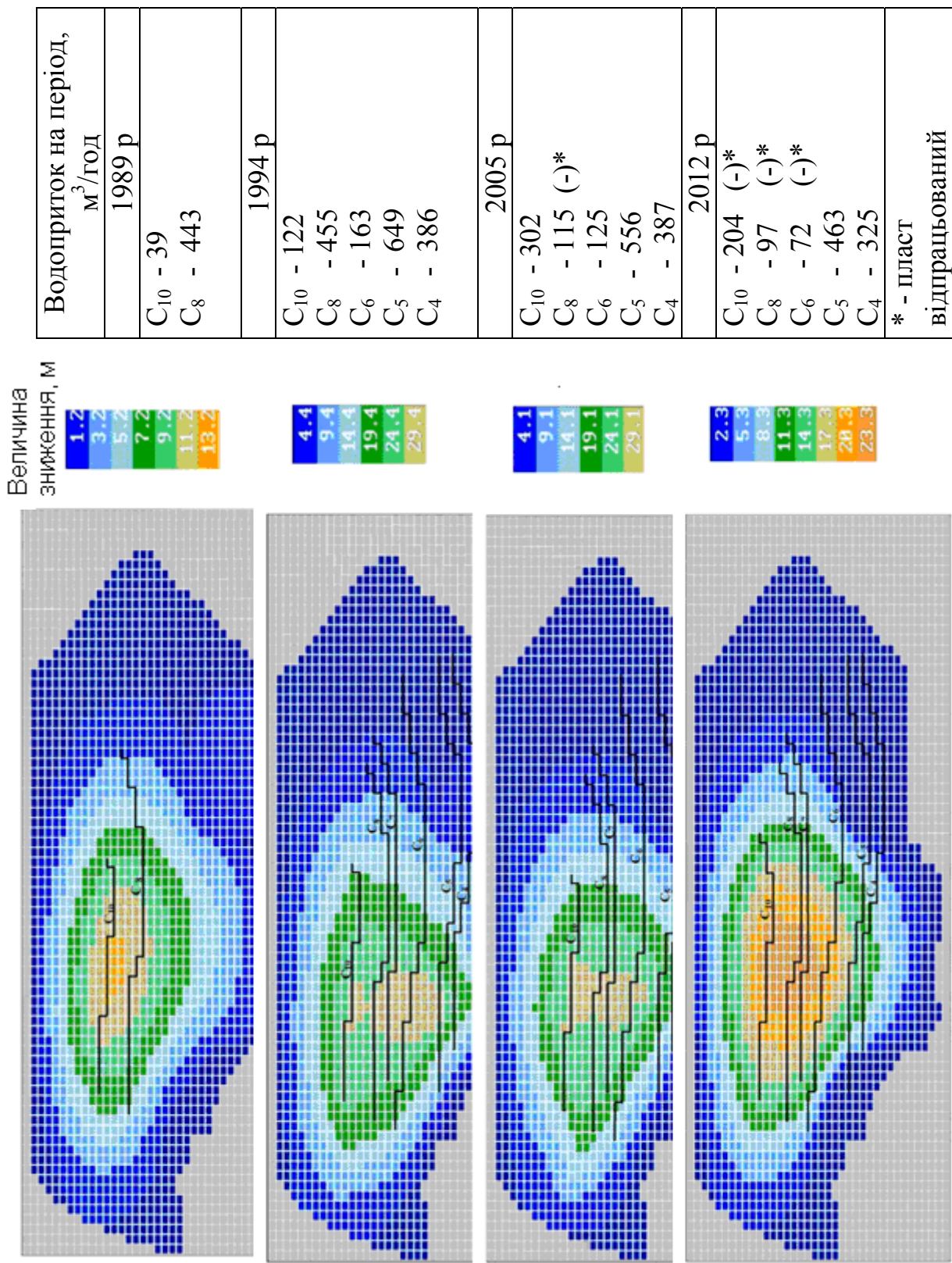


Рис. 2.41. Міграція воронки депресії в бучакському водоносному горизонті з 1989 до 2012 роки

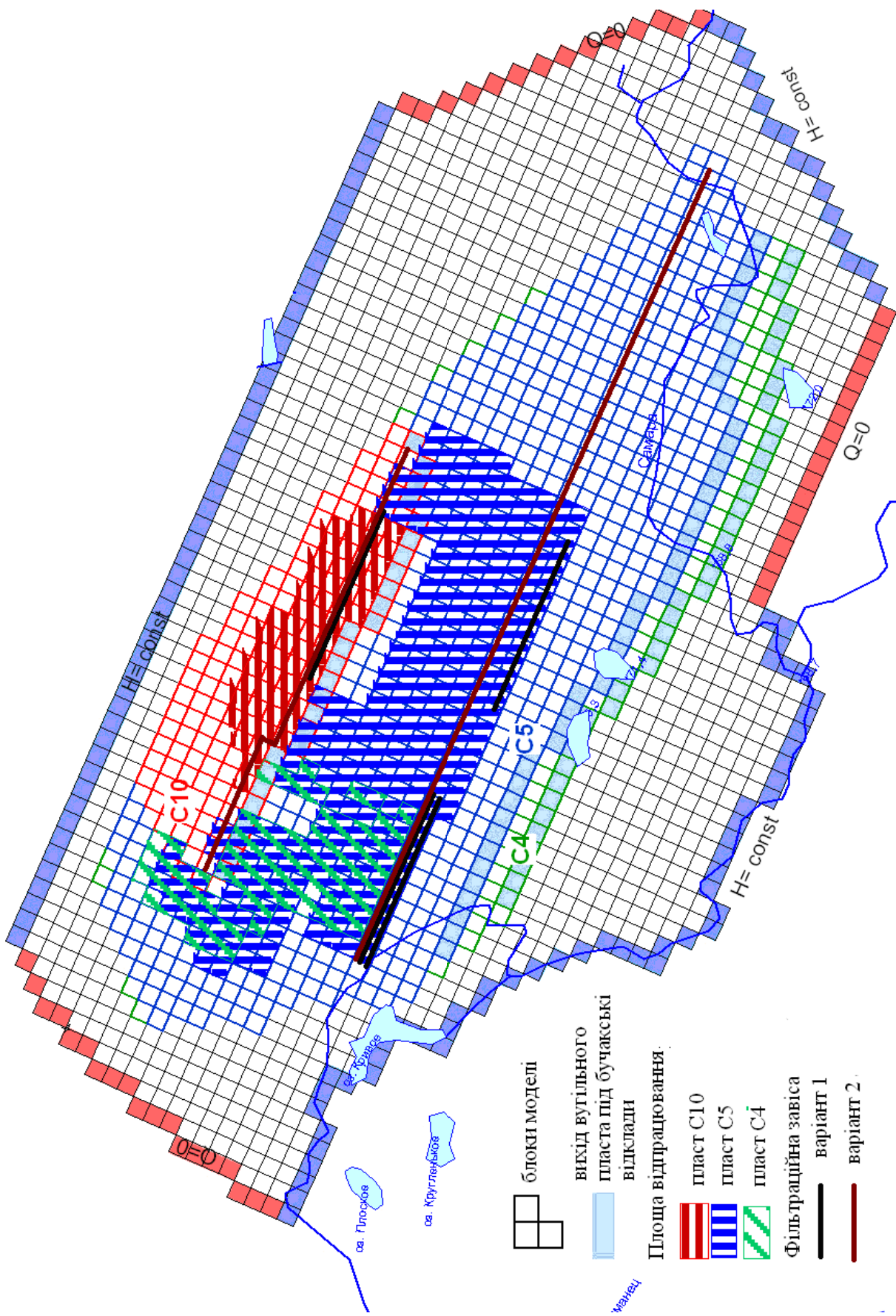


Рис. 2.42. Схема до обґрунтування параметрів фільтраційної завіси

Таблиця 2.16

Зміна водопритоку при створенні протифільтраційної завіси (ПФЗ)

Вугільні пласти	Без водо-регулювання	Величина водопритоку на моделі, м ³ /год («-» зниження водопритоку, м ³ /год / %)				
		ПФЗ у зоні підвищеної проникності вугільних пластів C ₁₀ , C ₅ , C ₄		ПФЗ у зоні підвищеної проникності вугільних пластів C ₅ , C ₄		Зменшення лінійних розмірів LC ₅ =2000 м (східне крило), LC ₄ =2000 м.
		При зміні проникності ПФЗ	При максимальній протяжності ПФЗ	Лінійні розміри LC ₅ =4000 м (західне та східне крило), LC ₄ =2000 м.	К _ф =10 ⁻²	
C ₁₀	198	K _ф =10 ⁻³ 87 (-111/-55%)	K _ф =10 ⁻² 87 (-111/-55%)	K _ф =10 ⁻¹ 91 (-107/-53%)	K _ф =10 ⁻² 46 (-152/-76%)	199
C ₈	77	78	78	78	78	77
C ₇	21	21	21	21	21	21
C ₆	79	79	79	79	79	79
C ₅	444	325 (-119/-26%)	329 (-115/-25%)	354 (-90/-20%)	271 (-175/-39%)	329 (-115/-26%)
C ₄	304	230 (-74/-24%)	231 (-73/-24%)	245 (-59/-19%)	200 (-104/-34%)	231 (-73/-24%)
Шахтний водоприток	1123	820 (-303/-26%)	898 (-225/-25%)	936 (-187/-20%)	695 (-428/-38%)	936 (-187/-16%)
Підняття рівня в бучацькому в.г., м	-	+7	+7	+5,7	+8,5	+2,64
Лінійні параметри завіси	варіант 3а протяжністю ПФЗ (L) у зоні підвищеної проникності пластів C ₁₀ , C ₅ , C ₄ LC ₁₀ =2000 м, LC ₅ =4000 м (західне та східне крило), LC ₄ =2000 м.		варіант 3б LC ₁₀ =5400 м, LC ₅ =8800 м, LC ₄ =8000 м		варіант 3в	

Варіант 4. Гідроізоляція перетікання з р. Самара. Передбачає створення водонепроникної «стіни в ґрунті», що перешкоджає підтіканню з р. Самари. Під час ведення гірничих робіт в 200 м прируслової зоні (період 1994р.) підтік з річки по пласту С₅ становив 570 м³/год або 69% притоку пласта. При віддаленні фронту ведення гірничих робіт підтік зменшився і на період 2012 року становив 76 м³/год (17%, табл. 2.17). В таких умовах ведення гірничих робіт можливо в 2 рази зменшити підтік з річки до 31 м³/год шляхом гідроізоляції прируслової зони (зона гідроізоляції показана на рис. 2.43).

Таблиця 2.17

Вплив р.Самара на формування водопритоку пласта С₅

Період часу, роки	1994	1998	2006	2012
Приток до гірничих виробок пласта С ₅ , в тому числі підтік з р.Самара, <u>м³/год</u> %	832	605,5	595	457
	<u>570</u> (69 %)	<u>329</u> (54 %)	<u>159</u> (27%)	<u>76</u> (17%)
Без заходів з гідроізоляції прируслової зони				
Загально шахтний приток, <u>м³/год</u>	1123			
При гідроізоляції прируслової зони р. Самари				
Загально шахтний приток, <u>м³/год</u>	<u>1078</u>			
Зниження, (м ³ /год / %)	45 / 4			

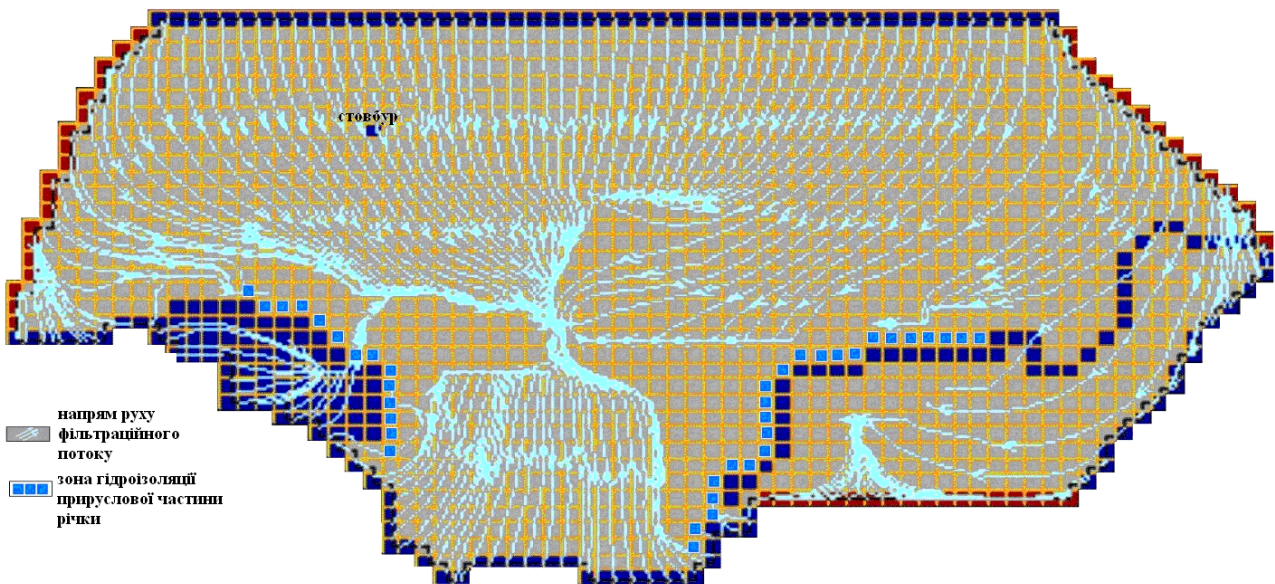


Рис. 2.43 Зміна напрямку руху фільтраційних потоків при гідроізоляції прируслової зони (бучакський водоносний горизонт)

Реалізація розглянутих технологічних схем водорегулювання дозволяє знизити приток води в шахту від 10 до 38%. При цьому застосовуватися вони можуть як незалежно один від одного на різних етапах експлуатації шахти, так і одночасно.

2.3. Обґрунтування гідрогеологічних моделей стоку на підроблюваних територіях

Деформування поверхневого ландшафту при підземній розробці вугільних пластів досить точно прогнозується з використанням маркшейдерських методик [5, 6, 41]. Цілком очевидно, що зміна відміток рельєфу впливає на гідрогеологічні характеристики водотоків над зоною гірничих підробок і, як вже показано, на параметри підроблюваних водоносних горизонтів, а також їх взаємозв'язок з гірничими виробками. Дослідимо динаміку формування водотоку на вході в зону підробки, як джерела, що вимагає кількісної оцінки.

Вихідною інформацією в гідрогеології є тимчасові ряди вимірів рівнів і витрат води на станціях і постах. Для обробки і аналізу цих даних цілком природно інтерпретувати тимчасові ряди як реалізацію випадкових процесів [25, 52, 66] і виявляти їх закономірності в термінах імовірнісних характеристик.

Всі види часових рядів поділяються на три великих класи: стаціонарні (засновані на припущенні, що процес залишається в рівновазі щодо постійного середнього рівня); нестационарні (що не мають природного середнього рівня) і сезонні (ряди мають періодичність з періодом S , коли подібні особливості ряду повторюються після S опорних тимчасових інтервалів). Гідрологічні дані є сезонними тимчасовими рядами. При використуванні в прогнозах річкового стоку щомісячних даних, опорний часовий інтервал дорівнює 1 місяцю, а період S дорівнює 12 місяцям.

Для прогнозування значень часових рядів використовуються доступні до моменту часу дані спостережень часового ряду (Z_1, Z_2, \dots, Z_t) . Передбачається при цьому, що спостереження доступні в дискретні, рівновіддалені моменти часу. Функція $\tilde{Z}_t(l)$, дає в момент часу t прогнози для всіх майбутніх часів попередження $(l=1, 2, \dots, n)$, називається прогнозуючою функцією в момент t .

Найбільш вживаними для опису випадкових процесів є моделі авторегресії, моделі змінного середнього і змішані моделі авторегресії змінного середнього.

У моделі авторегресії значення процесу виражається як кінцева лінійна комбінація попередніх його значень і випадкового імпульсу a_t . Позначимо значення процесу в рівновіддалені моменти часу $t, t-1, t-2, \dots$ як $Z_t, Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots$. Нехай $\tilde{Z}_t, \tilde{Z}_{t-1}, \tilde{Z}_{t-2}, \dots$ будуть відхиленнями від μ , наприклад $\tilde{Z}_t = Z_t - \mu$.

Тоді

$$\tilde{Z}_t = \Phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \Phi_2 \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \Phi_p \tilde{Z}_{t-p} \quad (2.18)$$

називається процесом авторегресії порядку p . Модель виду (2.18) містить $p + 2$, параметрів, що підлягають визначенню: $\mu, \Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p; \sigma^2 a$ – дисперсія білого шуму.

Якщо визначити оператор авторегресії порядку p як

$$\Phi(B) = 1 - \Phi_1 B + \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p,$$

то модель (2.18) можна записати у вигляді

$$\Phi(B)\tilde{Z}_t = a_t, \text{ або } \tilde{Z}(t) = \psi(B)a_t, \text{ де } \psi(B) = \Phi^{-1}(B).$$

Процеси авторегресії можуть бути стаціонарними або нестаціонарними.

У моделі змінного середнього поточне значення процесу $Z(t)$ виражається через попереднє значення a_{t-1}, a_{t-2}, \dots білого шуму a_t .

Процес

$$\tilde{Z}(t) = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (2.19)$$

називається процесом змінного середнього порядку q . Ця модель містить $q + 2$ невідомих параметри $\mu, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q; \sigma^2 a$.

Якщо визначити оператор змінного середнього порядку q як

$$Q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q,$$

то модель виду (2.19) можна записати у вигляді

$$\tilde{Z}_t = \theta(B)a_t.$$

Для досягнення більшої гнучкості в підборі моделей для опису реальних випадкових процесів доцільно об'єднати в одній моделі авторегресії і змінного середнього. Ця модель має вигляд

$$\tilde{Z}_t = \Phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \dots + \Phi_p \tilde{Z}_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (2.20)$$

або

$$\Phi(B)\tilde{Z}_t = \theta(B)a_t,$$

в якій є $p+q+2$ невідомих параметрів, які повинні оцінюватися за спостереженнями $\mu; \Phi_1, \dots, \Phi_p; \theta_1, \dots, \theta_q; \sigma^2 a$. Усі вище описані типи моделей відносяться до стаціонарних часових рядів, що традиційно розглядаються в математичній літературі. Проте, як показано в роботах [3, 16, 26], перераховані типи моделей успішно використовуються і для нестационарних рядів. Це пов'язано з тим, що властивості нестационарних часових рядів в деякому сенсі є однорідними. Наприклад, рівень, щодо якого відбуваються флуктуації, може бути різним у різні періоди часу, поведінка рядів з урахуванням відмінностей в рівні виявляється багато в чому схожою. Такий ряд може бути представлений узагальненим оператором авторегресії $\varphi(B)$, який має вигляд

$$\varphi(B) = \Phi(B) \cdot (1-B)^d,$$

де $\Phi(B)$ - стаціонарний оператор.

Узагальнена модель, що описує однорідний нестационарний процес, має вигляд

$$\varphi(B)Z_t = \Phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B)a_t, \quad (2.21)$$

тобто

$$\Phi(B)\omega_t = \theta(B)a_t,$$

де

$$\omega_t = \nabla^d Z_t. \quad (2.22)$$

Співвідношення, зворотне (2.22) має вигляд

$$Z_t = S^d \omega_t, \quad (2.23)$$

де оператор підсумовування визначено як

$$S \cdot \omega_t = \sum_{j=0}^{\infty} \omega_{t-j}.$$

З цього випливає, що однорідний нестационарний процес може бути описаний моделлю, яка вимагає, щоб d -я різниця цього процесу була стаціонарною. На практиці зазвичай d дорівнює 0 або 1, в крайньому випадку, 2.

Процес, визначений (2.21) або (2.22), являє собою ефективну модель для опису стаціонарних і нестаціонарних часових рядів і називається процесом авторегресії змінного середнього порядку (p, d, q).

Сезонні тимчасові ряди містять періодичні компоненти з відомими періодами. При цьому для переходу до стаціонарного процесу w_t треба застосувати до процесу Z_t замість різностороннього оператора деякий інший різницевий оператор, який знищить періодичні компоненти. Таким оператором є спрощений нестаціонарний оператор $(1-B^S)$ [26], де S - довжина періоду (при використанні середньомісячних спостережень $S = 12$ місяців). Ряди, що мають сезонні особливості з відомим періодом S , представляються у вигляді двовимірних таблиць: рядки відповідають щомісячним даними в межах року, а стовпці - річним значенням ознаки протягом кожного з 12-ти місяців. Структура таблиць підкреслює, що в періодичних даних важливий не один, а два тимчасові інтервали, відповідно місяцю і року. Тобто можна очікувати, що існують певні співвідношення між спостереженнями за послідовні місяці цього року, з одного боку, і спостереженнями того ж місяця в наступні роки.

Сезонний ефект повинен проявитися в такому способі: спостереження за будь-який місяць певного віку повинні бути пов'язані зі спостереженнями за той же місяць попереднього року.

Якщо Z_t спостереження за будь-який місяць певного року, то можна пов'язати його з спостереженнями за той же місяць в попередньому році моделлю такого вигляду

$$\Phi(B^S) \cdot \nabla_S^D \cdot Z_t = \theta(B^S) \cdot \alpha_t, \quad (2.24)$$

де $S = 12$;

$\nabla_S = 1 - B^S$, $\Phi(B^S)$, $\theta(B^S)$ - поліноми B^S ступенів P та Q .

Для іншого місяця матимемо

$$\Phi(B^S) \cdot \nabla_S^D \cdot Z_{t\pm 1} = \theta(B^S) \cdot \alpha_{t\pm 1}.$$

Помилки моделей ($\alpha_t, \alpha_{t-1}, \dots$) не обов'язково повинні бути некорреліровані. Для того, щоб врахувати можливості зв'язку вводиться друга модель

$$\Phi(B^S) \cdot \nabla^d \cdot \alpha_t = \theta(B) \cdot a_t, \quad (2.25)$$

де a_t - білий шум; $\Phi(B), \theta(B)$ - поліноми B^S ступенів p та q ; $\nabla = \nabla_1 = 1 - B$.

Підставляючи (2.25) в (2.24) отримуємо остаточну модель сезонного тимчасового ряду

$$\Phi(B) \cdot \Phi_p(B^S) \nabla^d \nabla_S^D Z_t = \theta_q(B) \theta_Q(B^S) a_t, \quad (2.26)$$

що має порядок $(p, d, q) (P, D, Q) s$.

Процес побудови моделей з використанням формул (2.24) або (2.26) полягає у встановленні відповідності обраного класу статистичних моделей з

наявними даними і включає: ідентифікацію моделей, калібрування ідентифікованої моделі до тимчасового ряду і її діагностичну перевірку.

Розглянемо основні кількісні критерії, на підставі яких робиться висновок про придатність статистичної моделі для прогнозування сезонних тимчасових рядів.

Адекватність моделей даними спостереженнями здійснюється на підставі ряду процедур, що застосовуються до безлічі даних для виявлення типу моделей явищ, які мають сенс використовуватись в подальших дослідженнях. Конкретна мета полягає в тому, щоб отримати вказівку на те, які значення p , d , q , P , D , Q потрібні в загальній моделі сезонного часового ряду (2.26), і вибрати деякі значення параметрів. Визначення виду моделі (тобто вибір значень p , d , q , P , D , Q) ґрунтується на результатах ідентифікації, оцінювання параметрів і діагностичної перевірки адекватності моделі.

Ідентифікація ґрунтується на вивченні характеру зміни автокореляційної і приватної ковариційної функцій моделі. Оцінювання параметрів базується на дослідженні функцій правдоподібності. Діагностична перевірка полягає в обчисленні сукупного критерію згоди і вивченні поведінки кумулятивних періодограмм.

Вихідними даними для прогнозування фонових витрат річкового стоку на вході в промислову зону Західного Донбасу є середньомісячні режимні спостереження за динамікою його зміни на р. Самарі (в / п Коханівка) і її притоці р. Бик (в / п Самарське). Необхідно обґрунтувати, яким з двох видів моделей часових рядів ((2.24) або (2.26)) необхідно користуватися. Модель (2.24), як вказувалося раніше, пов'язує спостереження за будь-який місяць певного року зі спостереженням за той же місяць в попередньому році, а модель виду (2.26) виходить з того припущення, що всі спостережені дані взаємозалежні. Оцінити цю взаємозалежність можна з поведінки автокореляційних функцій даних спостережень.

Графіки зміни автокореляційних функцій для згаданих водомірних постів представлені на рис. 2.44, 2.45. Як видно з цих графіків, значимі величини автокореляційної функції для обох водомірних постів відзначаються для 12, 24, 36 і т. д. затримок і падають практично до нуля для інших величин лагів. Це однозначно свідчить про те, що в спостережених часових рядах витрати поверхневих вод залежать між собою тільки в межах кожного місяця протягом багаторічного періоду. Такий характер залежності дозволяє вибрати в якості вихідної модель виду (2.24). Цей висновок повністю відповідає результатам досліджень з інтерпретації багаторічних гідрогеодинамічних і гідрологічних [37, 66, 104] спостережень, відповідно до яких, аналізуватися повинні фазово-однорідні дані при постійному інтервалі часу, що розділяє ці значення, котрий дорівнює одному року.

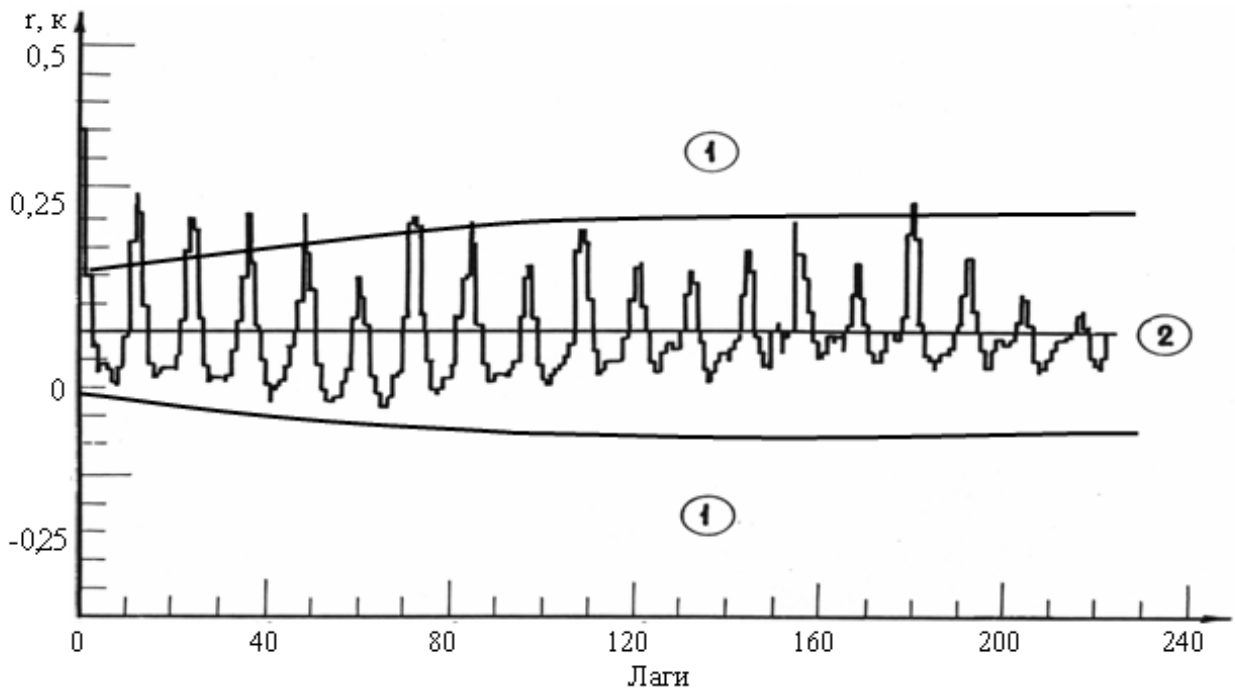


Рис. 2.44. Зміна автокореляційної функції (r_k) для даних спостережень за витратами р. Самари (в/п Коханівка): 1 - область значущих величин коефіцієнтів автокореляції; 2 - область незначущих величин коефіцієнтів автокореляції.

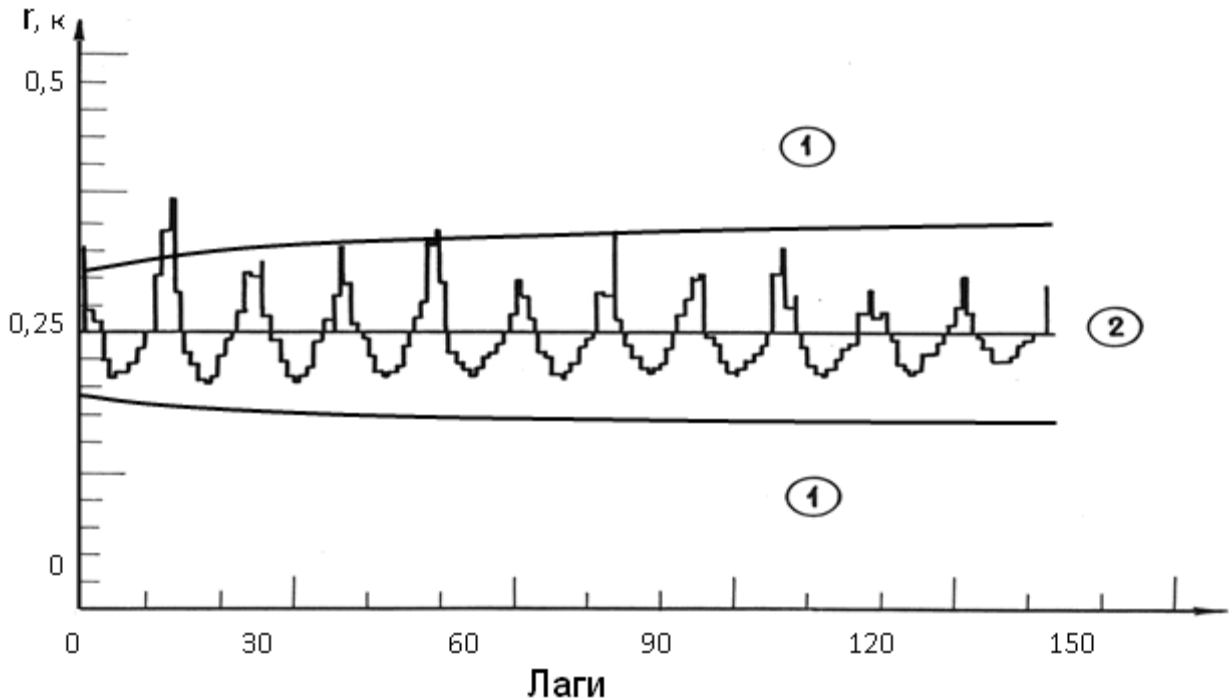


Рис. 2.45. Зміна автокореляційної функції (r_k) для даних спостережень за витратами р. Бик (в / п Самарське): 1 - область значущих величин коефіцієнтів автокореляції; 2 - область незначущих величин коефіцієнтів автокореляції.

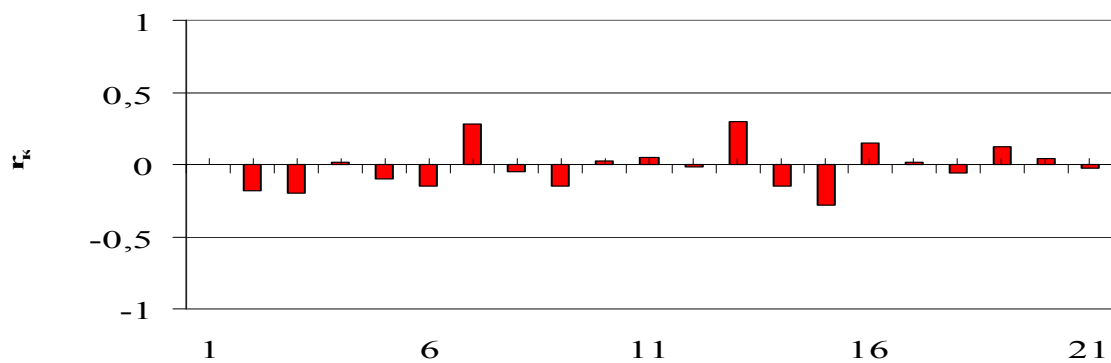
Таким чином, прогноз величин витрат поверхневих вод здійснюється дванадцятикратним застосуванням моделі виду (2.24) до режимних даних величин витрат річок Самара і Бик за весь період спостережень. Прогнозна витрата річкового стоку на вході в промислову зону буде дорівнювати сумі прогнозних витрат кожної з річок.

Перейдемо до параметрів цієї моделі. Необхідно перш за все обґрунтувати величини P , D , Q . Обґрунтування величини D не складає труднощів, так як апіорі відомо, що сезонні тимчасові ряди є нестационарними і в цьому випадку мінімальне значення D дорівнює 1. Величини P і Q можуть змінюватися відповідно до вищевикладених від 0 до 1. Необхідно вибрати найкращу з трьох типів моделей $(1,1,0)_{12}$, $(0,1,1)_{12}$, $(1,1,1)_{12}$.

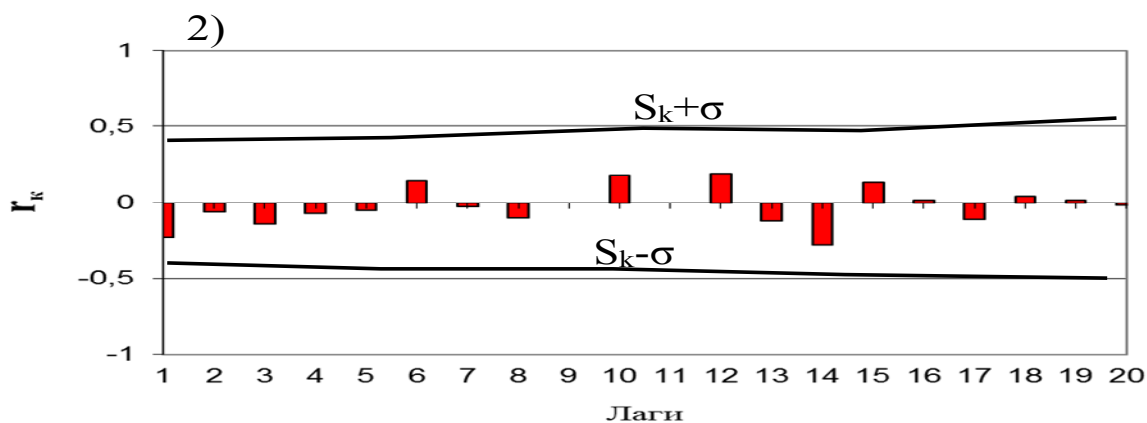
Перша модель відповідає моделі авторегресії, друга - моделі змінного середнього і третя - змішаної моделі авторегресії змінного середнього. Вибір адекватної моделі повинен здійснюватися на основі зазначених вище критеріїв - поведінки автокореляційної функції, суми квадратів відхилень, сукупному критерію згоди, кумулятивної періодограми і відповідності модельних величин витрат їх фактичним значенням.

Розглянемо як приклад вибір адекватної моделі сезонного часового ряду для січневих витрат р. Самари (в / п Коханівка). Для статистичного аналізу різних типів моделей сезонних тимчасових рядів (моделі Бокса-Дженкінса) використаний відомий пакет прикладних програм статистичної обробки даних "Статграфік".

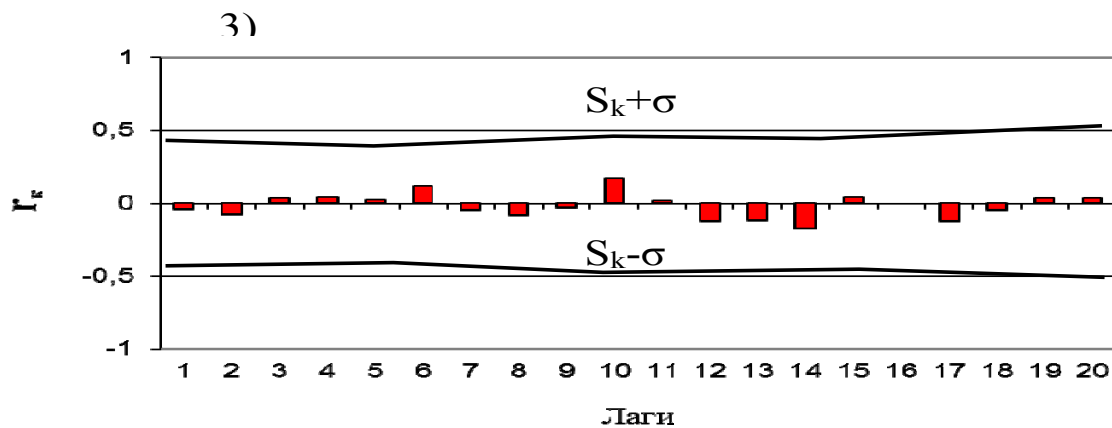
Поведінка автокореляційних функцій при різних затримках представлена на рис. 2.46. Характер зміни коефіцієнтів автокореляційних функцій не дозволяє віддати перевагу жодному з розглянутих типів моделей. Це обумовлено тим, що для них усі значення коефіцієнтів автокореляцій не виходять за межі довірчого інтервалу $(\rho_k \pm \sigma)$ і, отже, незначимо відрізняються від нуля при різних лагах.



Лаги



Лаги



Лаги

Рис. 2.46. Зміна автокореляційної функції різних типів моделей сезонних тимчасових рядів для січневих витрат р. Самари (в / п Коханівка): 1 – модель $(1,1,0)_{12}$; 2 – модель $(0,1,1)_{12}$; 3 – модель $(1,1,1)_{12}$

Найменші значення суми квадратів відхилень характерні для моделі типу $(1,1,1)_{12}$ (табл.2.18). Цей же тип моделі має і найменше значення сукупного критерію згоди, і найбільшу ймовірність відповідності моделі даними режимних спостережень (більш 98%).

Таблиця 2.18

Характеристика моделей сезонних часових рядів для січневих витрат р. Самари (в/п Коханівка)

Тип моделі	Номер ітерації	Сума квадратів відхилень	Сукупний критерій згоди	Імовірність відповідності моделі режимним даним
(1,1,0) ₁₂	1	131,78	5,51	0,854
	2	130,74		
	3	129,54		
	4	128,22		
	5	126,83		
	6	125,39		
	7	123,02		
	8	122,44		
	9	120,98		
	10	119,60		
	11	118,36		
	12	117,34		
	13	116,58		
	14	116,08		
	15	115,79		
(0,1,1) ₁₂	1	127,65	2,57	0,97
	2	126,58		
	3	125,26		
	4	121,83		
	5	119,42		
	6	116,24		
	7	112,48		
	8	109,35		
	9	107,87		
	10	107,47		
	11	107,35		
(1,1,1) ₁₂	1	129,04	2,66	0,988
	2	127,75		
	3	126,36		
	4	124,84		
	5	123,10		
	6	120,93		
	7	118,13		
	8	114,52		
	9	110,18		
	10	105,52		
	11	101,10		
	12	97,49		
	13	95,15		
	14	94,10		
	15	93,67		

Аналогічний висновок впливає також і з аналізу кумулятивних періодограм залишкових помилок розглянутих типів моделей (рис. 2.47). Для моделі (1,1,1)₁₂ розрахункова кумулятивна періодограма найближче до теоретичної, що представляє собою пряму лінію, початкові і кінцеві координати якої мають значення (0, 0); (0,5, 1).

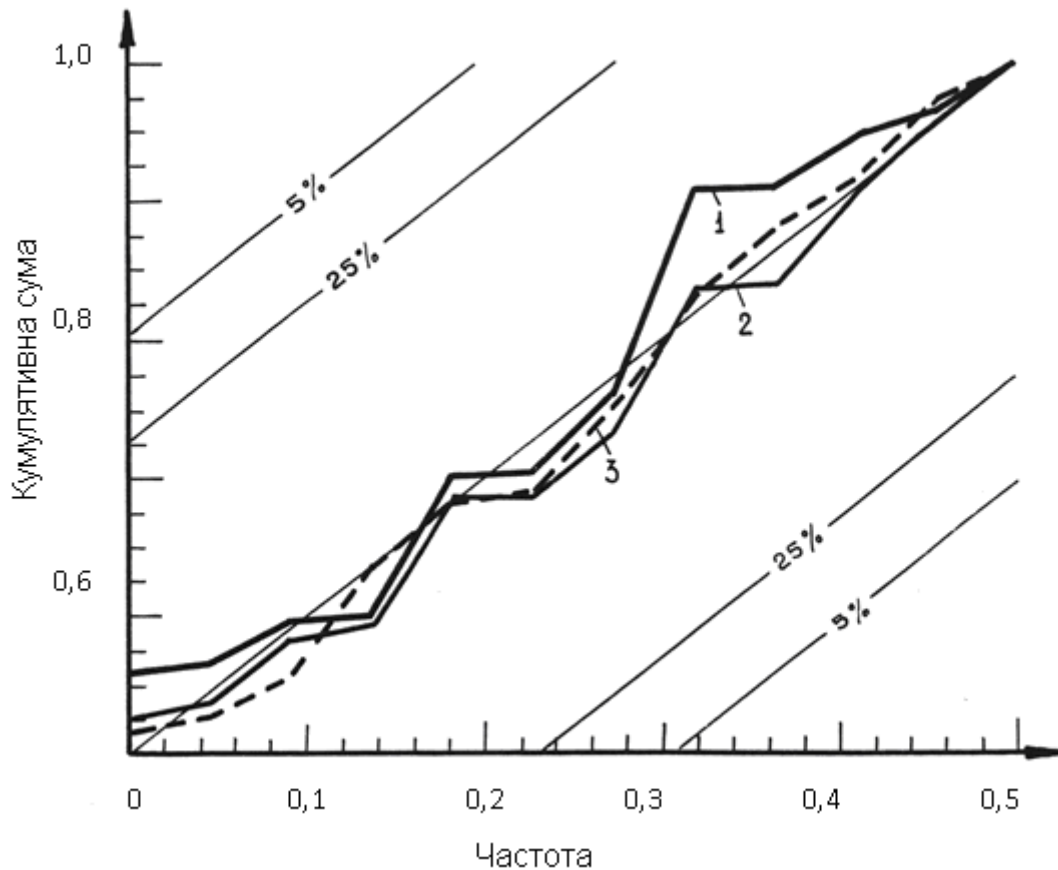


Рис. 2.47. Кумулятивні періодограми залишкових помилок різних типів моделей сезонних тимчасових рядів для січневих витрат р. Самари: 1 – модель $(1,1,0)_{12}$; 2 – модель $(0,1,1)_{12}$; 3 – модель $(1,1,1)_{12}$

Застосування досліджуваних типів моделей сезонних тимчасових рядів р. Самари дозволяє зробити остаточний висновок про те, що модель типу $(1,1,1)_{12}$ найкращим чином відображає гідрологічні особливості досліджуваного водотоку і має максимальну ймовірність відповідності із режимними даними.

Витрати р. Бик також досить задовільно описуються узагальненою моделлю авто регресії - ковзаного середнього.

Розглянемо далі питання кількісної оцінки прогнозних витрат річкового стоку на основі обраної моделі авторегресії – змінного середнього. З рівняння (2.24) маємо наступне співвідношення

$$\Phi(B^S)(1-B^S)Z_t = \theta(B^S)\alpha_t.$$

Беручи до уваги, що $(1-B^S)Z_t = Z_t - Z_{t-S}$, отримуємо рівняння, що зв'язує через коефіцієнти авторегресії і змінного середнього, спостереження за місяць певного віку зі спостереженням за той же місяць в попередньому році.

$$Z_t = Z_{t-S} + \theta(B^S) \cdot \Phi^{-1}(B^S)\alpha_t$$

Визначимо точність прогнозних оцінок величин поверхневого стоку р. Самари, отриманих з використанням обраної моделі типу $(1,1,1)_{12}$ на підставі фактичних витрат річки, замірених в 1991-1993 р.р. Результати зіставлення (табл. 2.19) показують, що розбіжність між фактичними і модельними прогнозами становить 3-12% при повній відповідності динаміки їх зміни в часі. Цей аналіз ще раз підтверджує правомірність використання моделі авторегресії-змінного середнього типу $(1,1,1)_{12}$. Для отримання достовірних прогнозних величин річкового стоку.

Таблиця 2.19

Дані фактичних і розрахункових витрат р. Самари ($\text{м}^3 / \text{с}$), отримані на моделі авторегресії-ковзного середнього типу $(1,1,1)_{12}$ *

Рік	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1991	$\frac{1,41}{1,34}_5$	$\frac{2,54}{2,38}_7$	$\frac{6,22}{6,91}_{10}$	$\frac{5,45}{5,56}_2$	$\frac{0,89}{0,79}_{12}$	$\frac{0,01}{0}_4$	$\frac{0,71}{0,75}_6$	$\frac{0,39}{0,35}_{12}$	$\frac{0,47}{0,51}_7$	$\frac{0,46}{0,50}_8$	$\frac{0,49}{0,44}_{10}$	$\frac{1,41}{1,34}_5$
1992	$\frac{0,97}{0,99}_3$	$\frac{2,65}{2,36}_{12}$	$\frac{8,26}{9,17}_{10}$	$\frac{2,32}{2,15}_8$	$\frac{0,46}{0,45}_3$	$\frac{0,75}{0,79}_5$	$\frac{0,09}{0,11}_{10}$	$\frac{0,09}{0,11}_{10}$	$\frac{0,35}{0,38}_{12}$	$\frac{0,70}{0,65}_8$	$\frac{0,59}{0,63}_6$	$\frac{2,54}{2,38}_7$
1993	$\frac{0,61}{0,67}_{10}$	$\frac{1,66}{1,81}_8$	$\frac{1,24}{1,32}_6$	$\frac{1,86}{1,71}_9$	$\frac{0,47}{0,42}_{12}$	$\frac{0,49}{0,51}_3$	$\frac{0,85}{0,81}_6$	$\frac{0,12}{0,14}_8$	$\frac{0,03}{0,03}_{10}$	$\frac{0,62}{0,56}_{11}$	$\frac{0,33}{0,37}_{12}$	$\frac{1,11}{1,23}_{10}$

* У чисельнику – фактичні витрати; в знаменнику – отримані за результатами моделювання; праворуч - похибка у %.

На підставі моделей сезонних тимчасових рядів виконані прогнози величин витрат річок. Тривалість прогнозного періоду (12 років) визначається обґрунтуваннями [78, 115, 119, 223], відповідно до яких, період прогнозу не повинен перевищувати 30% довжини наявних рядів спостережень. Прогнозні витрати р. Самари на вході в промислову зону Західного Донбасу наведені в табл. 2.20.

Таблиця 2.20

Прогнозні витрати р. Самара ($\text{м}^3/\text{с}$) на вході в промислову зону західного Донбасу

Рік	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1994	6,995	20,39	9,940	5,371	1,847	0,337	1,120	0,359	0,298	0,003	0,734	1,143
1995	2,221	1,076	3,818	2,960	1,705	0,340	0,228	0,276	0,529	0,212	0,664	1,358
1996	4,130	4,417	2,309	2,141	1,402	0,369	0,001	0,328	0,310	0,170	1,121	1,662
1997	0,819	4,402	2,972	2,143	20,49	0,340	0,457	0,564	0,444	0,328	0,883	1,987
1998	1,124	2,308	1,001	1,813	1,593	0,527	0,001	0,322	0,298	0,10	0,405	0,930
1999	2,191	6,140	2,652	4,061	0,911	1,589	0,856	0,001	0,210	0,001	0,225	1,170
2000	0,525	0,530	15,46	9,384	1,227	0,647	1,258	0,899	4,648	5,687	1,133	3,629
2001	0,880	14,74	5,643	3,567	1,684	0,310	1,261	1,590	3,071	1,335	2,103	1,918
2002	2,617	5,230	5,498	6,238	3,572	0,291	0,652	0,644	1,888	2,623	2,130	2,087

ГЛАВА 3

ПАРАМЕТРИ ГІДРОЗАХИСТУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК У ВОДОНОСНОМУ ВУГЛЕПОРОДНОМУ МАСИВІ

3.1. Постановочні аспекти вирішення задач гідрозахисту гірничих виробок.

Як зазначалося, гідрозахист гірничих виробок, шахт, рудників і т.д. об'єднують комплекс технологічних дій, направлених на зменшення водопритоку та забезпечення безпечних умов ведення гірничих робіт, виключаючи втрату стійкості гірських порід та затоплення виробок.

Аналіз факторів, що визначають гідромеханічну взаємодію гірничих виробок з водоносними породами, дозволяє розділити їх вплив за трьома ознаками – структурно-геологічному, технологічному та конструктивному. Це обумовлює просторово-часовий розвиток водопровідних тріщин в гірському масиві в поєднанні з гідравлічною системою самих гірничих виробок.

Провідним фактором, який визначає величини водопритоку, виділяють структурно-геологічний [70], згідно з яким шахти поділяються на два типи.

Перший – гідродинамічно відкритий, коли водоносні горизонти кам'яновугільних порід, що дреноються гірничими виробками, мають інтенсивний гідродинамічний зв'язок з поверхневими і атмосферними водами (рис. 3.1, а) або ж з покривними відкладами мезо-кайнозою (рис. 3.1, б). Найбільш помітно виражений цей зв'язок при розташуванні гірничих виробок на високих відмітках в зоні активного водообміну, водопритоки яких на 30-40% схильні до сезонних коливань. У формуванні водопритоку в шахти крім ємнісних запасів велику роль відіграють залучені ресурси за рахунок посилення інфільтрації атмосферних опадів і підтягування поверхневих вод, а також дреновання водоносних горизонтів покривних відкладень. В цьому випадку водопритоки в шахту визначають за кореляційною залежністю, аналогічно рівнянню плаского потоку

$$Q = a_0 + a_1 \frac{BS}{L}, \quad (3.1)$$

де a_0 – початковий член рівняння, який відповідає притоку, що формується за рахунок дреновання покрівлі, $m^3/добу$; a_1 – коефіцієнт, що характеризує осереднену водопровідність вугільного пласта на ділянці протяжністю від зони його виходу до фронту гірничих робіт, $m^3/добу$; B – ширина фронту гірничих робіт, m ; S – зниження рівня підземних вод продуктивної товщі від зони виходу вугільного пласта до фронту гірничих робіт, m ; L – відстань від границі безпечного ведення гірничих робіт до виходу вугільного пласта під покривні відкладення. Таким чином, дослідниками передбачається, що основним провідником води в шахтах гідрогеологічно відкритого типу є відпрацьовані вугільні пласти.

Другий – закритий гідродинамічний тип - характеризується відсутністю вираженого гідродинамічного зв'язку водоносних горизонтів кам'яновугільних

порід з водоносними горизонтами покривних відкладень. Гідравлічний зв'язок затруднений через перекриття його слабопроникними і водотривкими товщами (рис. 3.1, в) або внаслідок відсутності виходів розроблених вугільних пластів під обводнені покривні відкладення в межах гідродинамічно відкритих районів (рис. 3.1, г). Місцеве живлення водоносних горизонтів продуктивної товщі і зв'язок з поверхневими водами практично відсутній. Водопритоки в шахти формуються в основному за рахунок ємнісних запасів дренажних водоносних горизонтів кам'яновугільних порід, що характеризуються в основному невеликими величинами і незначним їх зростанням в процесі експлуатації шахт.

Притоки Q ($m^3/добу$) у виробки тісно корелюють з продуктивністю видобутку по шахтопласту P ($m/добу$) та площею очисних робіт F (m^2):

$$Q = a_0 + a_1P \quad (3.2)$$

$$Q = a_0 + a_2F, \quad (3.3)$$

де a_0 – початковий член рівняння, що показує початкову осереднену величину притоку в капітальні та підготовчі виробки, a_1 – коефіцієнт водозбагаченості, m^3/m ; a_2 – коефіцієнт середньої обводненості зон нового обвалення (або водопровідність тріщинуватої зони).

Відзначається [19], що в умовах шахт Західного Донбасу процеси тріщиноутворення значно підвищують фільтраційну здатність порід, що вміщують і сприяють активізації гідравлічного зв'язку між кам'яновугільними і посткарбонними водоносними горизонтами. При цьому величина проникності порушених порід зростає в зоні підробки на два-три порядки, а через 1,5 ... 2 місяці водотривкі властивості вуглевмісної піщано-глинистої товщі відновлюються. Однак, коефіцієнти фільтрації порушених порід залишаються вище показників, властивих непорушеному масиву.

Роль технологічних чинників у формуванні водопровідності безпосередньо в очисних виробках більш детально розкрита в роботі [83]. Показано, що основний вплив на розміри зон обводнення в лавах і її інтенсивність мають такі фактори, як швидкісний режим виїмки вугілля, перерви у веденні очисних робіт, циклічність вторинних осідань покрівлі, система розробки, конструктивні особливості кріплення очисних виробок. Серед інших чинників охарактеризована роль технологічної тріщинуватості бічних порід в очисній виробці.

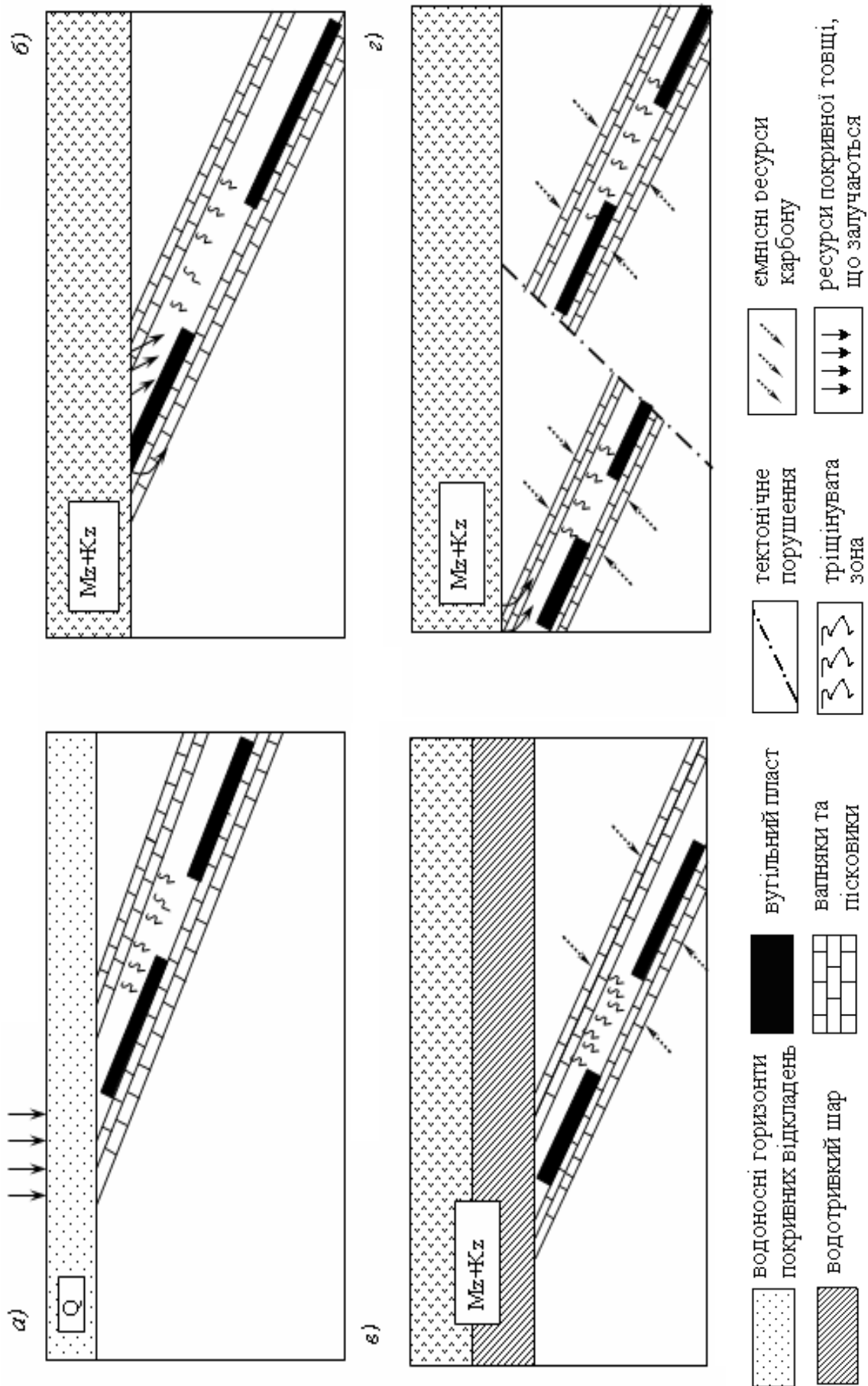


Рис. 3.1 Основні гідродинамічні схеми вугільних пластів: а, б – гідродинамічно відкритий тип; в, г – гідродинамічно закритий тип

Встановлено, що тріщини руйнування породних покрівель відображають характер їх зсувів за шириною лави, обумовлений розподілом реакції кріплення. Однак, як показано в роботах [107, 110], вплив кріплення на напружено-деформований стан порід покрівлі на відстані 5 ... 7 кратності потужності вугільного пласта практично відсутня.

Започаткована автором роботи [12] графічна інтерпретація водопрояву в очисних виробках, обумовлених комплексним впливом технологічних чинників, в умовах Західного Донбасу дозволила виділити чотири просторові зони формування водопрояву.

Контур першої зони за простяганням відповідає відстані між сполученнями лав з верхньою та нижньою нішами. Верхня межа її проходить по водоносним вугільним пластам і піщаниках, що залягають в 2 ... 6 м над пластом, що відпрацьовується. У межах цієї зони обвалення порід відбувається через кожні 1,5 ... 2,5 м і супроводжується водопроявами за всією лавою.

За характером порушення цілісності товщі, що розробляється, перша зона водопроявів відповідає зоні безладного обвалення.

Друга зона водопроявів за нормаллю до нашарування обмежена контурами залягання водоносних вугільних пластів і пісковиків. Вирішальний вплив на характер водопроявів в цій зоні відіграють показники міцності водовмісних порід, що в 1,5 ... 2 рази перевищують аналогічні показники для аргілітів і алевролітів. Надходження води в лаву в цьому випадку супроводжує осідання основної покрівлі та збігається з циклічністю їх проявів.

За умовами формування і характером руйнування підробленої товщі друга зона водопрояву відповідає зоні зрушень з розривом суцільності в напрямках, паралельних і перпендикулярних нашаруванню. Відзначено, що в межах зазначеного контуру рівень розвитку водопровідних тріщин досягає 18 м. Це досить добре узгоджується з результатами досліджень [23, 31, 41].

Третя зона, що характеризується розвитком водопровідних тріщин на висоту до 32 м, виникає на кінцевих ділянках лав поблизу виїмкових штреків. За умовами формування ця зона віднесена до області консольного прогину порід [19], що збігається з накопиченням непружних деформацій і розривів суцільності в породному масиві, навантаженому опорним тиском і концентрацією напружень навколо виїмкового штреку.

Формування четвертої зони водопрояву відбувається при надробці водоносних горизонтів, що залягають нижче підшви робочого шару на 1 ... 2 м. За умовами порушення цілісності надробленої товщі вона відповідає зоні підняття при досягненні граничних напруг розтягнення.

Виконана в роботі [12] інтерпретація фактичних даних крім диференціації водопроявів за зонами їх формування містить також геомеханічне трактування взаємодії "гірнична виробка – водоносний горизонт", що пов'язує зональність водопроявів з напружено-деформованим станом геомеханічно порушеного масиву.

На сучасному рівні наукових знань про гідрогеомеханічні процеси, що протікають в гірському масиві, доцільною представляється схема поділу підробленої і надробленої товщі в тому вигляді, в якому вона представлена в

діючих правилах охорони споруд і природних об'єктів [63], а також в роботі [19].

Відповідно до цієї схеми в підробленій товщі виділяються чотири зони. Перша - зона обвалення. Друга зона охоплює товщу порід, в межах якої відбувається формування системи гідравлічно пов'язаних нормальносічних тріщин і тріщин розшарування. До третьої зони відносять породні шари, в результаті прогину яких не утворюється єдиної системи водопровідних тріщин. І, нарешті, четверта зона є зоною опорного тиску над вугільним ціликом.

Висота зони безладного обвалення, що утворюється безпосередньо над виробленим простором при розробці пологих і похилих пластів, як правило не перевищує 3 ... 4-кратної потужності пласта, що виймається [83]. Водопроникність цієї зони за рахунок блочного руйнування і розпушення порід практично необмежена.

З віддаленням від виробленого простору в межах зони тріщин проникність підробленої товщі знижується, і на відстані, при якій деформації шарів не перевищують деякої граничної величини, її значення майже не відрізняється від проникності непорушеного масиву.

Очевидно, що параметри гідрозахисту гірничих виробок безпосередньо стосуються визначення безпечної підробки водоносних порід. Крім цього, практично не досліджувався механізм формування гідрогеомеханічної стійкості міжшахтних ціликів, що особливо важливо в сучасних умовах, коли гідрозахист працюючих та шахт, які закриваються, забезпечується ціликами.

Переходячи до останньої групи факторів - конструктивних, відзначимо, що вони, як і технологічні, відносяться до числа регульованих, тобто піддаються зміні та управлінню [83].

Одним з таких факторів є довжина лави. З досвіду експлуатації вугільних родовищ Західного Донбасу встановлено, що оптимальна гідродинамічна обстановка (за умови збереження технологічної ефективності видобутку корисних копалин) формується при довжині лави 100 ... 135 м, що пояснюється забезпеченням оптимального швидкісного режиму посування очисного забою щодо розвитку в гірському масиві реологічних процесів.

Другим показником, що дозволяє знизити негативні прояви фільтраційних процесів у вигляді інтенсифікації водопрояву і пов'язаним з ним наслідків (втрата стійкості порід внаслідок розмокання і пучіння підшви), є безнішева підготовка операцій в забої.

Експериментальними дослідженнями на шахті «Павлоградська» встановлено, що виконання буровибухових робіт на кінцевих ділянках лав призводить до різкої інтенсифікації водопровідного утворення тріщин і зміщення зони водопровідних тріщин в бік збільшення проникної зони. В останньому випадку зміна гідрогеомеханічного стану пов'язана з динамічним впливом на гірський масив вибухової хвилі, що розповсюджується [69].

Пом'якшенню процесу тріщиноутворення в межах контуру очисної виробки сприяють елементи охорони виїмкових штреків. Такими елементами є проведення штреків в присічку з виробленим простором або спарених штреків, що гасять водопрояви на сполученнях з лавами [90].

До конструктивних факторів при оцінці гідрозахисту шахт слід віднести наявність дегазаційних або розвідувальних свердловин між горизонтами гірничих робіт. Гідродинаміка перетоків через ці свердловини не досліджувалася.

3.2. Вплив фізико-механічних властивостей водоносних порід на параметри гідрозахисту очисних виробок

Завдання деталізації врахування та використання фізико-механічних властивостей водоносних порід та шарів, що розділяють, при визначенні параметрів гідрозахисту гірничих виробок вирішувалося для найбільш складного поєднання «водоносний пливун – шарувата товща карбону - очисна виробка». Це відповідає гірничо-геологічними умовами очисних робіт по пласту C_8 на шахті «Тернівська».

Відпрацювання пласта C_8 на шахті "Тернівська" в Західному Донбасі за межами встановленої нормативами зони безпечного ведення робіт під пливуном вперше здійснена в 1989 році в 832-й експериментальній лаві за спеціальним проектом. Цьому передували експериментальні роботи, проведені в 1988 році Дніпропетровським гірничим інститутом над відпрацьованим простором 802-ої лави. В результаті встановлено, що розвиток нормальносічних тріщин не поширюється вище зони, відповідно 11 кратності пласта, що виймається. Винос фракцій бучакського піску в робочий простір лави не відзначався при кратності підробки $8 m$ (де m - виймана потужність пласта). Надалі гірничими роботами по пласту C_8 велася підробка бучакського водоносного горизонту зі зменшенням потужності водозахисного шару до 14,8 кратності пласта (нормативна кратність становить $20 m$). Підхід гірничих робіт до границі, обмеженою 20-метрами аргіліто-алевролітовою товщею, планувався в 1998-1999 роках в 828 лаві. В реальних умовах це відповідало кратності підробки $12 m$.

Для встановлення можливості відпрацювання пласта C_8 з вказаною величиною розділяючої товщі проведені додаткові дослідження механізму формування її захисних властивостей на математичних моделях.

При оцінці впливу тертя по контакту карбон-бучак на напружено-деформований стан гірського масиву використовувалася чисельна геомеханічна модель на базі програмно-алгоритмічного комплексу "Геомеханіка". Чисельна модель відображала гірничо-геологічні умови відпрацювання пласта C_8 шахтою "Тернівська" в межах ділянки з 20-метровою потужністю захисного міжпластя. Виймана потужність вугільного пласта дорівнює 1,8 м.

Структура чисельної моделі представлена 538 елементами і 320 вузлами, апроксимуючими змодельовану область. У чисельній дискретизації передбачені три контактні площини, що враховують ослаблені зони на границі зміни літологічного складу гірських порід (рис. 3.1). Фізико-механічні властивості гірських порід за типами елементів прийняті на підставі розвідки шахтного поля і представлені такими величинами (табл. 3.1).

Властивості гірничих порід

Литологічний склад	Питома щільність, г/см ³	Модуль деформації, кг/см ²	Зчеплення, кг/см ²	Кут внутр. тертя, гр
Пісок (P _{bc})	1,80	3000,0	0,02	24,0
Пісковик	2,10	130000,0	278,00	23,0
Алеволіт	2,33	110000,0	280,60	22,0
Аргіліт	2,26	35000,0	165,00	22,0
Вугілля	1,24	2000000,0	164,40	53,5

Питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя в межах контактних площин складають відповідно 12 МПа і 20 градусів.

Рішення поставленого завдання виконано при проведенні порівняльної оцінки деформованого стану породного масиву за трьома варіантами:

1 – покрівля водозахисної товщі карбону контактує з бучакським піском (тобто варіант відповідає поняттю "водний об'єкт");

2 – покрівля карбону вільна від тертя;

3 – покрівля карбону контактує з бучакським піском, на контурі забою задано формування вивалу на висоту до 0,6 м.

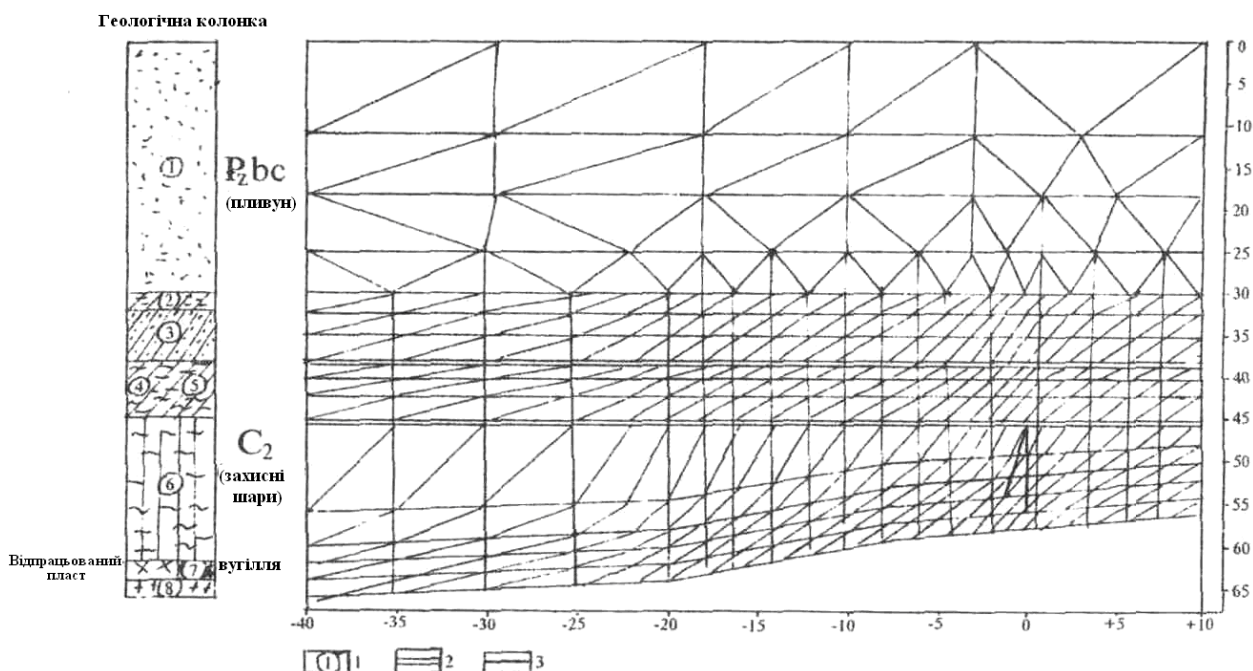


Рис. 3.1. Схема чисельної дискретизації області, що моделюється: 1 – номер типу гірських порід за механічними властивостями; 2 – контактна площина; 3 – контур вивалу.

При розгляді другого варіанту вплив ваги мезо-кайнозойських відкладень замінювався рівнодіючим нормальним тиском у вигляді зосереджених сил в вузлових точках на верхньому контурі кам'яновугільної товщі.

При кожному варіанті передбачалася повна підробка породного масиву з урахуванням розпушення гірських порід в межах зони обвалення.

Аналіз результатів чисельних рішень показав, що вплив тертя найбільш важливий в межах товщі порід, що знаходяться в безпосередній близькості від контакту бучак-карбон. Причому, в зоні найбільш розтягнутих горизонтальних деформацій при наявності тертя, величини деформацій знижуються на 20 .. .25% (на висоті 11 ... 13 *m*) від покрівлі вугільного пласта. При наближенні до вугільного пласта, що розробляється, відповідні деформації залишаються незмінними (рис. 3.2).

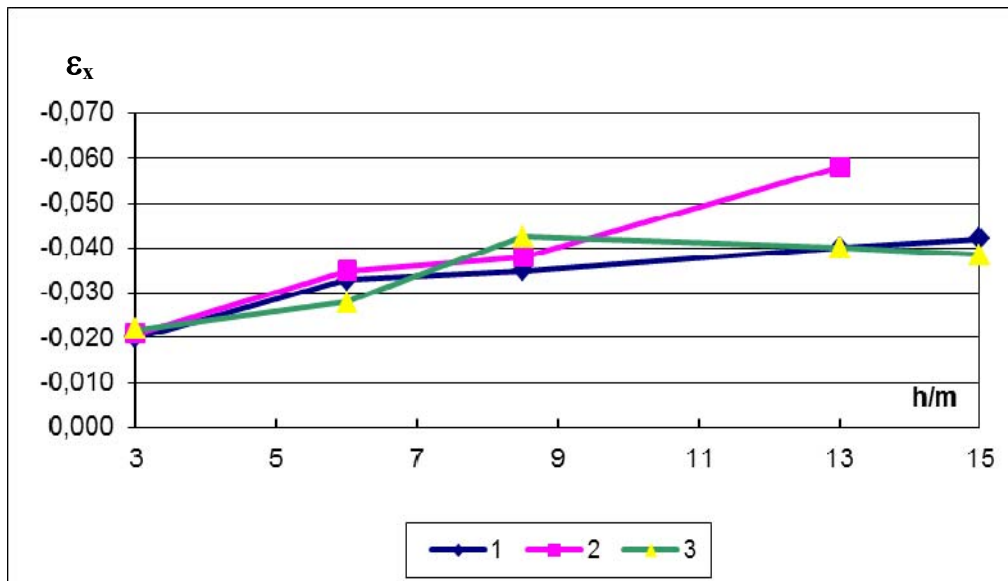


Рис. 3.2. Залежність деформацій розтягування ϵ_x від кратності підробки h/m : 1, 2, 3 – відповідні варіанти рішень

Наявність вивалу в третьому варіанті рішення сприяло зростанню горизонтальних деформацій в середній частині водозахисної товщі (на висоті 8,5 ... 11,5*m*). На верхньому і нижньому контурах збільшення деформацій розтягування не відзначено.

Для оцінки гідрогеомеханічних змін, що виникають під час підробки в гірському масиві, при різних напрямках відпрацювання виїмкових стовпів досліджувався розподіл напружень у верхній і нижній зарубці породних шарів. Передбачалося, що розвиток додаткових стискаючих напруг в нижній частині і додаткових розтягуючих у верхній сприяє зростанню проникності масиву при відпрацюванні пластів вугілля за повстанням, а інтенсивність водопроникного тріщиноутворення зменшується при відпрацюванні виїмкових стовпів за падінням. Ця передумова пояснює вплив гравітаційної складової (сил власної ваги) на водозахисні функції підроблюваного гірського масиву.

Розрахунками на описаній математичній моделі з застосуванням ПЕОМ встановлено, що рівень відносних деформацій паралельно нашаруванню, що визначає тріщини розпушення породної товщі, зростає при відпрацюванні виїмкових стовпів за повстанням. У дослідженому інтервалі кутів залягання (0-15 °) інтенсифікація деформацій розтягування має вигляд ступеневої функції, близької до квадратичної. Діапазон аналізованих значень обумовлений різною

потужністю окремих шарів у покрівлі пласта і їх неоднаковими фізико-механічними властивостями. При відпрацюванні за падінням відзначається зниження розтягуючих деформацій, що пов'язано зі стискаючою дією сил ваги породної товщі, вектор зміщується в напрямку повороту осі породних шарів при обваленні покрівлі пласта, що розробляється.

Встановлені закономірності дозволяють розглядати зміну напрямку відпрацювання виїмкових стовбурів як технічний фактор, що визначає умови формування водозахисних властивостей підроблюваних порід. З огляду на величину кута залягання шарів вуглевмісної товщі Західного Донбасу, що переважно дорівнює 3° , можна оцінити ефект відпрацювання, який досягається зміною напрямку. Середньостатистичні значення деформацій розтягування для виїмки за повстанням і падінням, згідно чисельного моделювання, складають відповідно 0,003 і 0,002, тобто забезпечується зниження рівня водопровідного тріщинного розпушення над контуром очисного забою більш ніж на 30%. Розрахункова величина зниження рівня проникності добре узгоджується з даними про фактичну зміну водопритоку в вироблений простір 834-ої лави шахти "Тернівська" при відпрацюванні пласта C_8^H за падінням.

Зниження максимальних водопритоків, зафіксованих в 802-й лаві, що відпрацьовує цей же пласт за повстанням, склало $30 \text{ м}^3/\text{год}$, тобто приток зменшився з 90 до $60 \text{ м}^3/\text{год}$. При відпрацюванні пласта C_8^H в зону дренавання залучався шар пісковика потужністю 1,5-6 м. Потужність вугільного пласта становила 1,75-2 м, потужність міжпласт'я, представленого перешарвуванням слабопроникних шарів аргілітів та алевролітів коливалася в межах 9-10 м. Взаємного гідродинамічного впливу лав не спостерігалось.

Застосування розглянутої схеми відпрацювання доцільно в тому випадку, коли в межах безпосередньої покрівлі пласта, що виймається, відсутні водовмісні породи. Відведення води, що надходить з виробленого простору, може здійснюватися скиданням її на раніше відпрацьовані горизонти за допомогою дренаючих свердловин. При кутах залягання вугільних пластів $3-5^\circ$ в коротких лавах досягається безпечне відставання контуру формуючого стоку від очисного вибою, а часто за рахунок розглянутих ефектів зниження проникності водоприток формується тільки у фазі першого циклу посадки основної покрівлі.

Відзначимо, що раніше [97] були розглянуті ефекти підвищення водозахисних властивостей попередньо розшарованих порід за рахунок висхідного порядку відпрацювання пластів.

Другим видом моделі, яка була застосована для досліджень на площі підготовки 828-ої лави, обрана тришарова гідродинамічна модель. Перший шар – об'єднує водоносні горизонти мезокайнозою. Другий шар – водоносний піщаник, що залягає в основній покрівлі пласта C_8 і гідравлічно пов'язаний з водоносними горизонтами покривних відкладень. Середня потужність піщаника становить 10 м і змінюється в межах експериментальної ділянки від 1 до 21 м. Третій шар - вугільний пласт C_8 , також має гідравлічний зв'язок з водоносними породами мезокайнозою.

Важливо відзначити, що гідродинамічні моделі дозволяють (на етапі їх ідентифікації при вирішенні обернених задач) досить точно оцінити фільтраційні властивості гірських порід, що порушуються гірничими роботами. Відомі експериментальні методи, що використовують для цих цілей, є неточними і дорогими.

В якості вихідних гідродинамічних параметрів були прийняті: для першого водоносного шару: $km=150 \text{ м}^2/\text{добу}$; $\mu=0,1$; для другого водоносного шару $km(\text{водопровідність}) = 0,5-10 \text{ м}^2/\text{добу}$; $\mu(\text{водовіддача}) = 0,01$; для третього водоносного шару: $km = 0,5-2 \text{ м}^2/\text{добу}$; $\mu = 0,01$. Величина фільтраційного опору слабопроникних шарів змінилася в межах $10^{-4} - 10^{-6} \text{ 1/добу}$, що обумовлено зміною їх потужності в межах досліджуваної ділянки пласта C_8 .

Головна мета при вирішенні оберненої гідродинамічної задачі полягала в уточненні водопровідних властивостей водоносних піщаників і слабопроникних відкладень, що порушуються в результаті їх підробки. Для цього задається широкий діапазон зміни водопровідності та фільтраційного опору в описаних шарах моделі. Виявилось, що найбільшою вірогідністю (середня похибка в оцінці водопритоку не більше 10%) відрізняється гідродинамічна модель, в якій фільтраційний опір слабопроникної товщі в покрівлі вугільного пласта зменшується в 50 разів, а водопровідність підроблюваного піщаника – в 20 разів. Для цього випадку епігнозні водопритоки ділянки пласта C_8 наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Результати епігнозного моделювання ділянки пласта C_8

Рік	Фактичний водопріток, $\text{м}^3/\text{ч}$	Моделльний водопріток, $\text{м}^3/\text{ч}$	Абсолютна похибка	Відносна похибка
1985	82,9	81,3	1,6	2
1986	101,3	104,0	2,7	3
1987	137,3	113,2	23	18
1988	137,9	121,0	17	13
1989	158,6	124,3	34	22
1990	147,8	135,4	12,5	8
1991	144,8	142,5	2,3	2
1992	142,2	148,0	5,8	4
1993	170,8	153,0	17,8	11
1994	160,2	151,1	9,1	6
1995	134,4	155,0	19,4	12

Отриманий результат має важливе значення з точки зору оцінки динаміки зміни водозахисних властивостей порід: водоносний піщаник контактує з пливуном в непорушених умовах і збільшує проникність в 2,5 рази менш інтенсивно, ніж водотривкі аргіліти і алевроліти.

Розрахунок притоків, через порожнину прориву, моделюється областю нескінченного фільтраційного опору в основній покрівлі вугільного пласта, що

відпрацьовується. "Нескінченність" фільтраційного опору лімітується мінімальною величиною коефіцієнта фільтрації слабопроникної товщі, що дорівнює 0,01 м/добу в зв'язку з необхідністю збереження передумови Мятієва-Гірінського (рух води в слабопроникних шарах перпендикулярно нашаруванню).

За цією схемою, десятикратне збільшення коефіцієнта фільтрації надвугільної товщі при підробці становить верхню межу збереження передумови Мятієва-Гірінського. Тому порожнина прориву моделюється за схемою одношарового пласта з нескінченною водопровідністю (в розрахунок приймалася величина 10000 м²/добу) з перепадом рівнів, відповідним різниці між рівнем підземних вод покривної товщі і рівнем підземних вод продуктивної товщі (на підшві вугільного пласта, що відпрацьовується). З урахуванням прийнятих передумов отримано, що величина притоку води в порожнині прориву розміром 2×0,01 м становить до 10 м³/год і мало змінюється при максимальному розмірі порожнини прориву рівній 10×0,01 м.

Таким чином, модельні дослідження розглянутих ефектів кількісно підтверджують новий безпечний рівень захисних властивостей гірських порід Західного Донбасу при відпрацюванні вугільних пластів під пливунями.

3.3. Гідрогеомеханічна стійкість міжшахтних ціликів

Очевидно, що параметри гідрозахисту гірничих виробок безпосередньо стосуються визначення безпечних умов підробки водоносних порід і, зокрема завдання деталізації механізму формування та врахування водозахисних властивостей гірських порід. Крім цього, практично не досліджувався механізм формування гідромеханічної стійкості міжшахтних ціликів, що особливо важливо в сучасних умовах, коли гідрозахист працюючих шахт та тих, що закриваються, забезпечується ціликами.

Основна проблема, яка виникає при прийнятті технічних рішень щодо забезпечення безпеки працюючих шахт і тих, що закриваються, пов'язана з оцінкою стійкості міжшахтних ціликів. Нормативи для визначення розмірів ціликів засновані на емпіричних даних. Тим часом надійність і ефективність технічних рішень багато в чому залежить від достовірності знань про механізм можливого руйнування міжшахтних ціликів під дією сил гідравлічного впливу з боку затоплюваної шахти. В роботі [1] представлений імовірнісний підхід до оцінки стійкості бар'єрних ціликів на основі різнорівневої ідентифікації геомеханічного деформування і розподілу напірного градієнта води з використанням дискретної моделі Кюндалла. Питання про критерії гарантованого безпечного розміру ціликів на основі врахування реального механізму втрати їх стійкості залишається відкритим.

Розглянемо два можливих сценарії зменшення гідрогеомеханічної стійкості міжшахтного цілика при його односторонньому підтопленні, що характерно при закритті вугільних шахт:

- зрушення цілика під дією гідравлічного напору;
- різке збільшення проникності цілика внаслідок появи тріщин гідророзриву.

Звичайне співвідношення розміру ціликів за фронтом (В) і шириною (L) таке, що $L \ll V$, тобто може розглядатися його плоско деформований стан під дією вертикального геостатичного тиску і горизонтального (зсувного) тиску води. Для цієї схеми найбільш виправдано прийняти співвідношення між нормальними (σ) і зрущуючими (τ) напруженнями у вигляді граничної огинаючої Кулона-Мора

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (3.4)$$

де φ і C відповідно кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення контакту покрівлі і підшви вугільного пласта. Нескладно показати, враховуючи критерій (3.4), що стійкість цілика забезпечується співвідношенням

$$L \geq \frac{\gamma_v h_v m}{2(k\gamma_n H \operatorname{tg} \varphi + C)}, \quad (3.5)$$

де m - потужність вугільного цілика, h_v і H – відповідно, напір води над ціликом і глибина закладення цілика від поверхні; γ_v і γ_n – відповідно, щільність води і середньозважена щільність гірських порід між ціликом і поверхнею; k – коефіцієнт концентрації напружень.

З формули випливає, що для загального випадку, коли $h_v \approx H = 500 \dots 1000$ м, $\varphi = 10^\circ$, $C = 1,0$ Мпа; $m = 2,0$ м; $\gamma_n = 25$ КН/м³; $k = 1,5$ ширина цілика не перевищує 3 м. Це значно менше нормативного регламенту.

Механізм гідравлічного розриву гірських порід найбільш досліджений в нафтовій геології [18], де його застосування спрямоване на збільшення проникності і нафтовіддачі продуктивних пластів. Проникність гірських порід внаслідок гідророзриву зростає на кілька порядків [36]. У гірничій справі гідророзрив є засобом збільшення прийомистості тампонажних сумішей, а також способом оцінки параметрів напружено-деформованого стану гірських порід.

При здійсненні штучного гідравлічного розриву гірських порід виділяють фази, які залежать від ступеня існуючої тріщинуватості [36]. У монолітній породі гідравлічний розрив настає при досягненні деякого граничного тиску рідини з подальшим різким збільшенням поглинання при меншому тиску. У гірській породі з первісною тріщинуватістю спочатку відбувається розширення тріщин, що відповідає закону підземної гідростатики, коли всередині міжтріщинних блоків збільшуються ефективні напруги. Надалі реалізується гідророзрив, фаза якого аналогічна вторинному гідророзриву монолітних порід при тиску дещо меншому початкового гідророзриву.

Критерії тріціноутворення при гідророзриві [18] орієнтовані на поєднання енергійної теорії Гріффітса і положень про деформацію тріщин за умови рівноваги сил, які розкривають або утримують тріщину від поширення.

Не суперечить експериментальним даним з гідророзриву порід у вигляді тріщини умова С.А. Христиановича [4]

$$1 - \frac{g}{P} = \sqrt{1 - a^2}, \quad (3.6)$$

де g і P – відповідно, гірничий тиск і тиск усередині тріщини, α - коефіцієнт рівний відношенню лінійного розміру поширення тріщини (R) до розміру тиску (P) за умови кінцевості додавання напружень в точці з поточним лінійним розміром (r), коли $R / r = 1$.

Умова (3.6) для рідини з в'язкістю води означає, що гідророзрив в розглянутих нами випадках буде виникати при $P \rightarrow g$. При порівнянні, що

$$k \gamma_{\text{п}} H > \gamma_{\text{в}} h_{\text{в}}, \quad (3.7)$$

слід визнати за неможливе утворення горизонтальних тріщин гідророзриву в міжшахтних вугільних ціліках.

Модифікуємо співвідношення (3.7) з урахуванням (3.6) для вертикальної тріщини гідророзриву

$$k \gamma_{\text{п}} H \left(\frac{\nu}{1 - \nu} \right) = \gamma_{\text{в}} h_{\text{в}}, \quad (3.8)$$

де ν - коефіцієнт Пуассона. Очевидно, що для типових умов міжшахтних вугільних ціликів $H \geq h_{\text{в}}$, $\gamma_{\text{п}} = 25 \text{ КН}$, $\nu \leq 0,2$; $k \leq 2$ виконання співвідношення (3.5) цілком припустимо.

Закономірним є питання про напрямок розвитку тріщини гідророзриву і її розкриття для оцінки збільшення проникності.

На контакті вугільного пласта з покрівлею і подошвою, як правило, залягають глинисті сланці з вираженими пластичними властивостями, тобто для них $\nu \rightarrow 0,5$, що означає згасання тріщини в покрівлі та подошві відповідно (3.8).

Відомо, що в крайових частинах вугільного цілика формується зона віджиму з вертикальним розшаруванням, паралельно фронту цілика, що не призводить до збільшення його проникності. Залишається констатувати, що при досягненні умови (3.8) настає фаза гідророзриву, збільшується перетікання води через цілик внаслідок чого ($h_{\text{в}}$) зменшується і тріщина зникається.

Оцінимо величину можливого розкриття тріщини гідророзриву згідно схеми на рис. 3.3, яка відображає умови С.А. Христиановича.

З використанням методу конформного відображення Н.І. Мусхелішвілі [5], конформне відображення області поза тріщини комплексної змінної $z = y + ix$ на область поза колом одиничного радіуса комплексної змінної $\xi = \rho e^{i\vartheta}$ реалізується функцією

$$z = \frac{1}{2} \left(\xi + \frac{1}{\xi} \right), \quad (3.9)$$

При цьому $x = \frac{x'}{l}$; $y = \frac{y'}{l}$; $\vartheta = \arccos y$.

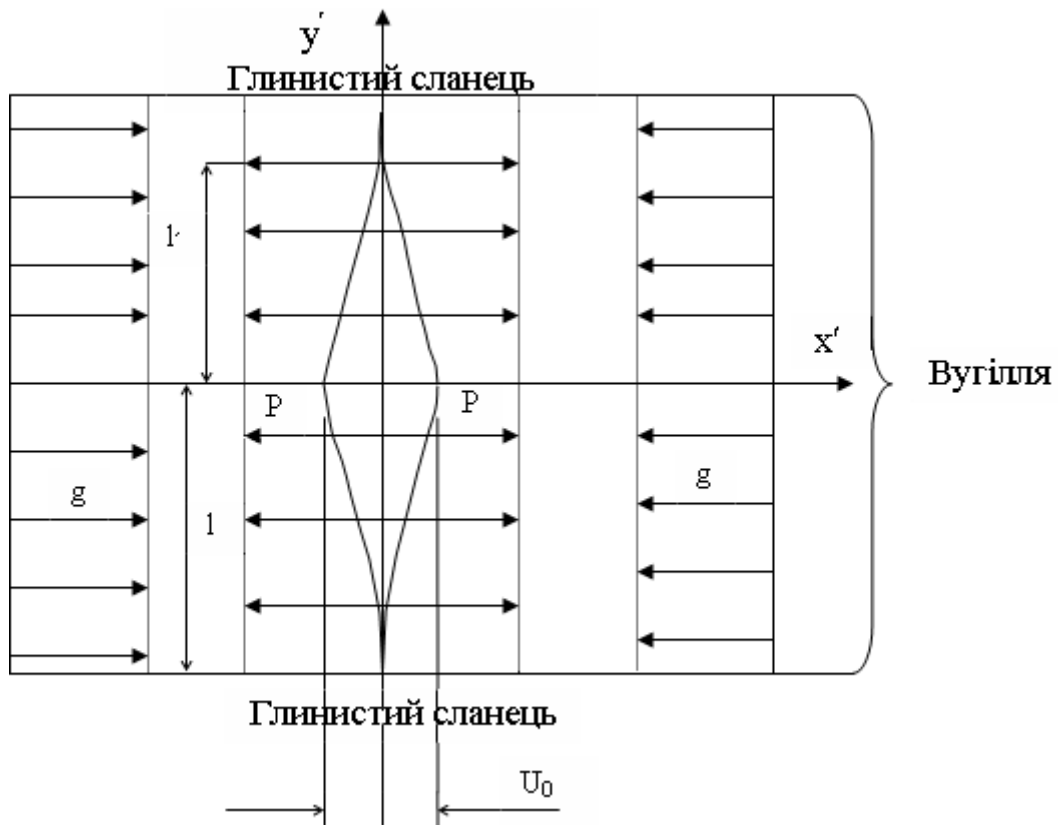


Рис. 3.3. Схема розкриття вертикальної тріщини гідророзриву

Аналогічно [4] отримаємо вирази для функції напружень $f(\xi)$ і ширини тріщини $U(y)$

$$f(\xi) = -\frac{P}{2\pi i} \left[\frac{1}{2} \left(\xi + \frac{1}{\xi} \right) \ln \frac{\xi^2 - e^{2i\vartheta_0}}{\xi^2 - e^{-2i\vartheta_0}} + i \frac{\pi - 2\vartheta_0}{\xi} + \cos \vartheta_0 \ln \frac{\xi^2 + 2i\xi \sin \vartheta_0 - 1}{\xi^2 - 2i\xi \sin \vartheta_0 - 1} - \frac{i\pi g}{P \xi} \right], \quad (3.10)$$

$$U(y) = \frac{f(1-\nu^2)gl}{E} \alpha$$

$$\alpha = \frac{1}{\pi - 2\vartheta_0} \left[\cos \vartheta \ln \frac{\sin(\vartheta - \vartheta_0)}{\sin(\vartheta + \vartheta_0)} + \cos \vartheta_0 \ln \frac{\operatorname{tg} \frac{\vartheta + \vartheta_0}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\vartheta - \vartheta_0}{2}} \right], \quad (3.11)$$

$$\text{де } \vartheta_0 = \arccos \frac{l_1}{l}$$

Виконання умови С.А. Христиановича має вигляд [4], який також відповідає співвідношенню (3.4)

$$\frac{p}{g} = \frac{1}{1 - \frac{2v}{\pi}}, \quad (3.12)$$

З виразу (3.8) випливає, що при $y' = 0, \alpha = 1; y' = l; \alpha = 0$.

Тоді

$$U_0 = \frac{4(1-v^2)g\ell}{E}, \quad (3.13)$$

де E – модуль лінійної деформації вугілля.

Аналіз формули (3.13) показує, що в багатьох випадках розкриття тріщин гідророзриву в вугільних ціликах досягає 1 см, тобто природне розкриття тріщин змінюється на кілька порядків.

Проникність (κ_n) тріщин пов'язана з шириною розкриття тріщин (U) залежністю [106]

$$\kappa_n = f(U^2), \quad (3.14)$$

Фільтрацію, через цілики, зазвичай, оцінюють лінійним законом

$$Q = k_\phi mB \frac{h_e}{L}, \quad (3.15)$$

де, крім прийнятих позначень, k_ϕ – коефіцієнт фільтрації цілика, Q - об'єм перетікання води через цілик в одиницю часу.

З виразів (3.14), (3.15) випливає, що перетік води через цілик може різко збільшуватися при гідророзриві, що веде до швидкого падіння напору h_b . Це, в свою чергу, призводить до порушення умови (3.8) і змикання тріщин. Надалі (h_b) збільшується і може настати чергова фаза гідророзриву, тобто процес набуває пульсуючий характер. У гірничій практиці такі явища спостерігаються при веденні гірничих робіт у затоплених зонах.

Виконаний аналіз дозволяє також зробити висновок про те, що критеріальні співвідношення до оцінки стійкості міжшахтних вугільних ціликів, слідує з співвідношень (3.5), (3.8), що визначає появу фази нестационарного гідрогеомеханічного стану.

3.4. Гідродинаміка перетікання шахтних вод через свердловини при затопленні шахт

В процесі ведення гірничих робіт застосовуються свердловини різного експлуатаційного призначення - розвідувальні, дегазаційні, водоспускні. Часто ці свердловини з'єднують суміжні шахтні поля, які в процесі затоплення одного з них, слід розглядати як єдину гідравлічну систему.

У практиці прогнозування гідравлічного зв'язку між шахтами через свердловини склався підхід (І. М. Ксьонда, 1998) при якому величина перетікання оцінюється за відомою з гідравліки формулою

$$Q_c = d_c^2 \sqrt{\frac{H_0 \cdot g}{0,03 \frac{L_c}{d_c} + 1}}, \quad (3.16)$$

де L_c, d_c – відповідно, довжина та діаметр свердловини; H_0 – висота напору над свердловиною; g – прискорення вільного падіння.

У формулі змінним параметром є висота напору над свердловиною (H_0). Прийнято вважати, що (H_0 и Q_c) визначається спільним рішенням рівнянь

$$\left. \begin{aligned} Q_{w} &= f(H) \\ Q_c &= f(H_0) \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

де Q_w – водопріток в затоплену шахту, який фіксується в період її роботи. В цьому випадку (H_0) ототожнюється з горизонтом рівня затоплення над свердловиною.

Очевидні два протиріччя, які випливають з аналізу співвідношення (3.17):

– затоплення відпрацьованої (порушеної) зони гірських порід фізично не тотожне заглибленню гірничих робіт в непорушену товщу;

– гідравлічний напір (H_0) над свердловиною у формулі (3.16) не відповідає його реальному фізичному значенню у формулі (3.17), бо його зміна обумовлена проникністю порушеної зони гірських порід.

Оцінимо значення зазначених протиріччя на основі розгляду гідродинамічної схеми представленій на рис. 3.4.

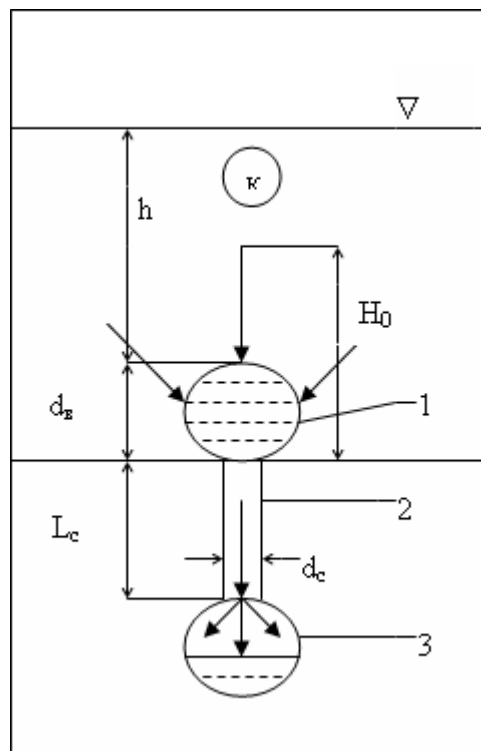


Рис. 3.4. Схема гідравлічного зв'язку гірничих виробок: h – висота зони затоплення; d_b – діаметр затопленої виробки (1), приведений до кругового перерізу; d_c – діаметр свердловини (2); L_c – довжина свердловини; H_0 – залишковий напір в затопленій виробці; 3 – виробка працюючої шахти.

Протяжна гірнична виробка (1) знаходиться в проникній зоні затоплення гірничих робіт з коефіцієнтом фільтрації (k). Через свердловину (2) відбувається перетікання води в нижчележачу виробку (3), яка з'єднана з

водовідливним комплексом працюючої шахти. При $\kappa \rightarrow \infty$, $H_0 \rightarrow h$, що відповідає визначенню перетоку Q_c за формулою (3.16). При $\kappa \rightarrow 0$ величина перетоку визначається водовіддачею масиву навколо виробки 1 (рис. 3.4), тобто рівність $H_0 = h$ в фільтруючому масиві не можливо здійснити, а, отже, некоректно співвідношення (3.17).

Оцінимо динаміку зміни напору (H_0) над перепускною свердловиною як основного параметру, який контролює величину перетікання з шахти, що затоплюється.

Прийmemo $h = \text{const}$ (рис. 3.4), що підтримується необмеженим ресурсом поповнення запасів води в затопленій зоні гірничих робіт. Очевидно, що ця умова забезпечить певний запас в розрахунках, так як більш суворим буде рівність $h = f(Q_c)$.

Прийняття умови $h = \text{const}$ відповідає гідродинамічній схемі роботи підрусового дренажного колектора, коли шар води в руслі прагне до нуля. Водоприток в гірничу виробку (дренажний колектор) визначається виразом (В.І. Аравін, С.Н. Нумеров, 1955)

$$Q_g = L_g \cdot \kappa \cdot \frac{h + d - H_0}{0,371 \lg\left(4 \frac{h}{d_g} - 1\right)}, \quad (3.18)$$

де L_B – довжина виробки.

З порівняння виразів (3.13) и (3.15) впливає

$$H_0 = \left[\frac{-d_c^2 \sqrt{\frac{g}{\left(0,03 \frac{L_c}{d_c} + 1\right)}} + \sqrt{d_c^4 \cdot \left(\frac{g}{\left(0,03 \frac{L_c}{d_c} + 1\right)} + \frac{4L_g^2 \cdot \kappa^2 \cdot (h + d_g)}{\left(0,37 \cdot \lg\left(4 \frac{h}{d_g} - 1\right)\right)^2}}}{\frac{2L_g \kappa}{0,37 \cdot \lg\left(4 \frac{h}{d_g} - 1\right)}} \right]^2. \quad (3.19)$$

Формула (3.19) дозволяє виконати аналіз реальної гідродинамічної ситуації, яка може скластися при наявності гідравлічного зв'язку між затопленою та діючою шахтами через свердловини в погашеній зоні гірничих робіт. З (3.19) видно, що функція напору (H_0) над перепускною свердловиною залежить не тільки від горизонту затоплення шахти (визначається параметром h), але також нелінійна щодо коефіцієнта фільтрації затопленого масиву, довжини і діаметру затопленої виробки, з якої вода перетікає в працюючу шахту.

На рис. 3.5 представлені графіки, що ілюструють характер зазначеної залежності. Крім цього аналізувалися залежності $H_0=f(L_B, K)$ та $H_0=f(d_c, d_B)$. Параметри в координатних осях задані варіаційними змінами в діапазонах їх крайніх значень, інші – змінювалися інтервально, або задані постійними. Постійні значення прийняті на основі порівняльного аналізу їх значень за результатами натурних даних, випробування і моделювання. Так, за інших параметрах, що змінюються, висота зони затоплення $h = 300\text{ м}$, довжина затопленої виробки $L_B = 1000\text{ м}$, коефіцієнт фільтрації затопленої зони $\kappa=10^{-7}\text{ м/с}$.

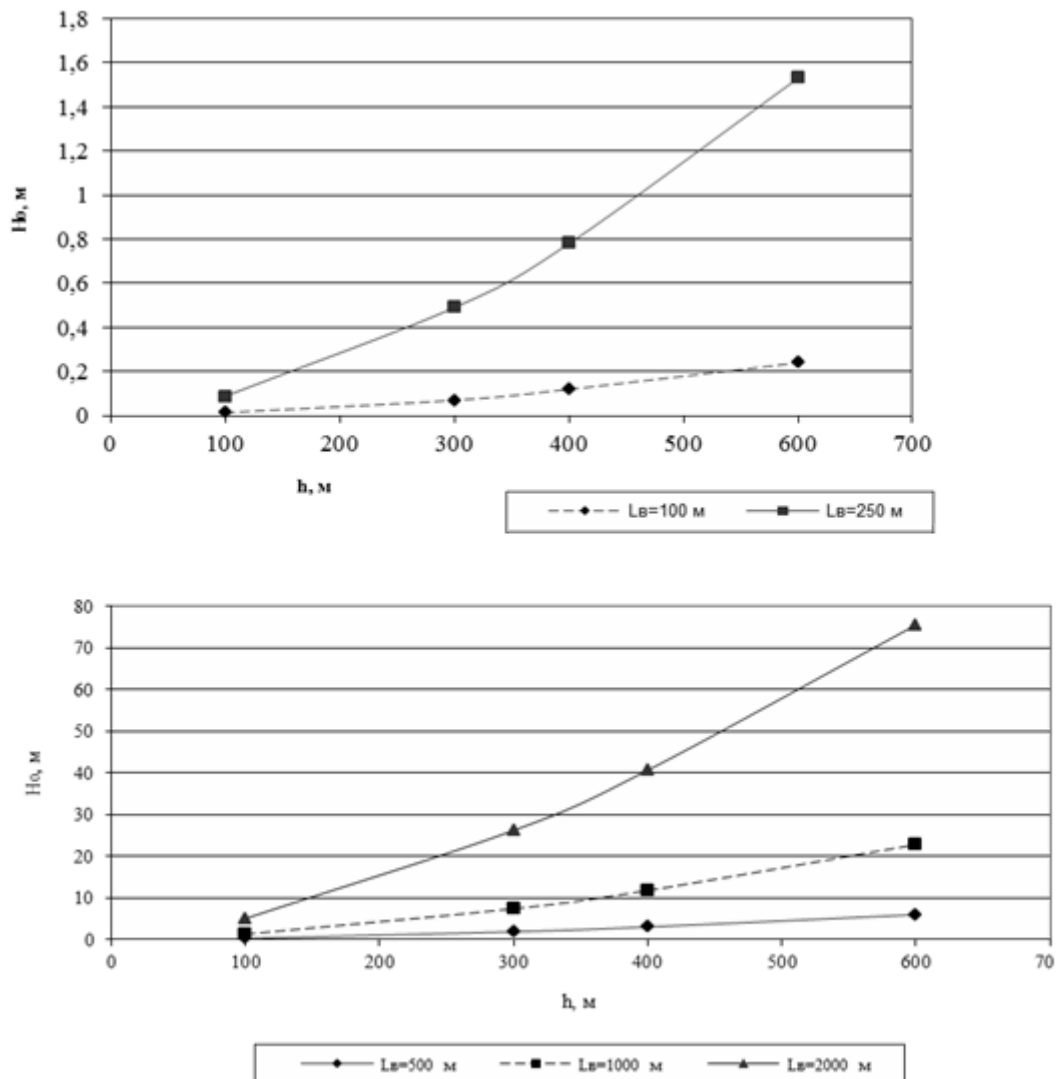


Рис. 3.5. Графіки залежності $H_0=f(h, L_B): d_c=0,1\text{ м}, L_c=20\text{ м}, d_B=4\text{ м}, \kappa=10^{-7}\text{ м/с}$.

Аналіз графіків дозволяє зробити наступні висновки:

- діапазон значного підвищення напору над свердловиною (H_0), що перевищує 10 м, відноситься до зони затоплення з проникністю на два порядки більше її середніх значень в цій зоні, які отримані при моделюванні і дослідно-фільтраційних випробуваннях; напор над перепускною свердловиною, що відповідає рівню затоплення, має місце при коефіцієнті фільтрації затопленого масиву $K \geq 10$ м/добу, тобто відноситься до області нереально завищених значень; величина (H_0), яка практично не впливає на перетікання через свердловину, відповідає проникності масиву в нижньому діапазоні його реальних значень (до $\leq 0,001$ м / добу);

- при середніх значеннях проникності затопленої зони, визначними факторами перетікання через свердловину є довжина затопленої виробки (L_b) і потужність насиченої зони (h) над виробкою; істотне збільшення напору (H_0) і перетікання знаходиться в діапазоні $h > 300$ м і $L_b > 1000$ м; останнє співвідношення малоімовірно для зони погашених гірничих робіт;

- приведений діаметр затопленої виробки (d_b) в діапазоні 0,5 ... 4,0 м мало впливає на перетікання, а діаметр перепускної свердловини (d_c) визначає виражений екстремум, менш якого, перетікання різко сповільнюється з одночасним збільшенням напору (H_0) над свердловиною; значення $d_c > 0,1$ м, при довжині виробки $L_b = 1000$ м і висоті насиченої зони $h_c = 300$ м, не впливають на (H_0), тобто перетікання обумовлене тільки фільтраційними властивостями затопленої зони;

- визначення величини перетікання через свердловину із затопленої зони погашених гірничих робіт слід проводити за формулою (3.16) з попереднім розрахунком величини напору (H_0) над свердловиною за формулою (3.19); в більшості випадків (H_0) не перевищує 10% від потужності зони затоплення (h); при заданих обмеженнях до схеми на рис. 3.4 величина розрахункового перетікання буде максимально можливою.

ГЛАВА 4

СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНИМИ ПОТОКАМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІДРОЗАХИСТУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

У розділі 2 досліджено закономірності формування фільтраційних процесів в підроблюваному гірському масиві і на поверхні. Встановлені параметри цих процесів дозволяють вирішувати технологічні задачі управління гідравлічними і фільтраційними потоками, забезпечуючи необхідний рівень гідрозахисту гірничих робіт.

4.1. Синхронізація гірничих робіт і управління фільтраційними потоками на шахтному полі

Найбільш прийнятно для поставлених завдань використання чисельних математичних моделей, що детально показано в даному розділі на прикладі шахти «Самарська».

4.1.1. Геологічна будова і гідрогеологічні умови шахтного поля, що досліджується

В геологічному відношенні поле шахти «Самарська» представлено комплексом осадових порід кам'яновугільного, палеогенового, неогенового і четвертинного віку, що залягають на розмитій поверхні докембрійського кристалічного масиву.

Продуктивна товща приурочена до самарської свити C_1^3 потужністю до 470 м, представленої різними за складом перешаруванням шарів пісковиків, аргілітів і алевролітів, з підлеглими їм шарами вугілля і вапняків. З 25 вугільних пластів і прошарків робочу потужність більш 0,60 м мають пласти $C_8^B + C_8^H$, C_7^B , C_6 , C_5 , C_4^2 , C_4^1 , C_4 і C_1 .

Вугленосна товща характеризується моноклінальним заляганням з падінням в північному та північно-східному напрямках під кутом 2-4°. Пологе залягання осадової товщі ускладнюється цілим рядом великих і дрібних діз'юнктивних порушень типу скидів.

Простягання основних тектонічних порушень північно-західне і південно-східне, в основному збігається з простяганням товщі нижньокам'яновугільних порід. Кути падіння цих порушень 65-75°. Амплітуди зміщення порід в зонах порушень змінюються в межах 0,30-0,90 м.

За умовами формування шахтних водопритоків вугільні пласти і горизонти зони дронування відносяться до напіввідкритого типу, що обумовлено характером їх взаємозв'язку з водоносними горизонтами посткарбонівих відкладень.

Палеогенова система розкрита всіма розвідувальними свердловинами і представлена бучацькою, обухівською і межигірською, а на вододільних ділянках – берекською свитами. Літологічні породи палеогену представлені різними за зернистістю пісками, пісковиками, мергелями і глинами. Загальна потужність палеогену в середньому становить 40 ... 50 м.

Відкладення неогенової системи розвинені в межах вододільного плато і його схилів і представлені тонкозернистими пісками і щільними глинами. Потужність відкладень – 15 ... 20 м.

Четвертинна система на вододільних ділянках складена суглинками та глинами, в долинах річок - різними за зернистістю алювіальними пісками. Потужність четвертинних відкладень змінюється в межах 10 ... 25 м.

В межах товщі посткарбонівих відкладень виділяється кілька водоносних горизонтів і комплексів, що визначають гідрогеологічний режим даної території: ґрунтовий водоносний горизонт типу «верховодки», водоносний горизонт четвертинних відкладень і водоносний комплекс палеогенових відкладень.

Водовмісними породами ґрунтового водоносного горизонту є піски з прошарками суглинків, глин, тонкозернистих глинистих пісків потужністю до 0,2 ... 0,5 м. Потужність горизонту 0,5 ... 3,0 м, наявність води слабка, живлення відбувається за рахунок атмосферних опадів, а розвантаження – за рахунок випаровування, перетікання в нижчележачі горизонти і в р. Самара. Положення рівня ґрунтових вод в природних умовах нестабільне і має сезонний характер. Залежно від водності року амплітуда коливання рівня становить 0,5 ... 2,0 м.

Водоносний горизонт четвертинних відкладень приурочений до алювіальних пісків і має потужність 15 ... 25 м (питомий дебіт свердловин 0,12 ... 14,8 л / с), водопровідність в заплаві частині 100 ... 120 м² /добу, на решті території - 40 ... 60 м² /добу. Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок атмосферних опадів, в період весняної повені - за рахунок поверхневих вод р. Самари. Зв'язок з нижчезалягаючими водоносними горизонтами здійснюється шляхом перетікання вод через слабопроникні шари межигірської свити. Розвантаження горизонту в меженний період здійснюється також в р. Самару. В даний час рівень і гідрохімічний режим горизонту визначається в основному техногенними факторами (діюча дренажна система, шахтний водовідлив, дренальний вплив виробок шахт, інфільтрація високомінералізованих шахтних вод із ставків-накопичувачів). За хімічним складом води на досить строкаті - від гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвої до хлоридно-сульфатно-натрієвої із загальною мінералізацією від 0,13 ... 0,53 г/дм³ до 2,05 г/дм³ і загальною жорсткістю 6,9 ... 13,6 ммоль/дм³. У східній частині території мінералізація в олігоцен-міоценових відкладеннях досягає 6,1 ... 12,3 г/дм³. Водоносний горизонт не захищений від поверхневого забруднення.

Палеогеновий водоносний комплекс приурочений до пісків, пісковиків і мергелів бучацької, обухівської і межигірської свити і є основним водоносним горизонтом, який має повсюдне поширення і використовується для господарсько-питного водопостачання с. Богданівка. Сумарна потужність комплексу 35 ... 40 м. Покрівля горизонту залягає на глибині 30 ... 35 м, води напірні, висота напору над покрівлею становить 20 ... 25 м. Дебіт безфільтрових експлуатаційних свердловин складає 5 л / с при зниженні рівня води на 3,8 ... 4,4 м, в середньому питомий дебіт свердловин 0,5 ... 1,0 л / с / м.

За хімічним складом води змішаного типу з сухим залишком від 0,4 до 1,3 г/дм³ і загальною жорсткістю до 7 ммоль/дм³.

Внаслідок відсутності досконалих водоупорів між водоносними горизонтами існує різного ступеня активності гідравлічний зв'язок. В якості відносних водоупорів у межах розглянутої товщі виступають слабопроникні межигірські глинисті піски і обухівські мергелі.

Територія району розташована на південь від с. Богданівка і являє собою лісовий масив, підтоплений ґрунтовими водами в результаті просідання земної поверхні на 0,6 ... 3 м, викликаної підземними гірничими роботами шахти «Самарська».

Основними факторами, що визначають гідрогеологічний режим в межах розглянутої території, є:

– регіональне підтоплення, характерне для всього Західного Донбасу, викликане будівництвом водосховищ, забудовою території, зрошенням та іншими факторами;

– підтоплення і затоплення підроблених територій в заплаві р. Самара і її притоках, цей фактор викликає зменшення глибини залягання ґрунтових вод на величину 90 ... 95% від величини осідання поверхні (наближення рівня на величину рівну осіданню не відбувається через випаровування з поверхні ґрунтових вод, дренажного впливу водовідливу та інших факторів).

– підпір рівня ґрунтових вод за рахунок інфільтрації води зі ставка-накопичувача в б. Таранова і пов'язане з ним просування фронту мінералізованих шахтних вод в південно-західному напрямку.

Викликані цими факторами несприятливі гідродинамічні умови поклали початок деградації лісового масиву ще до початку гірничих робіт в блоці № 2. Початок гірничих робіт без випереджальних дренажних заходів посилює цей процес. При згортанні гірничих робіт шахтою «Самарська» не очікується відновлення фонового (природного) режиму в підземній гідросфері, оскільки в значній мірі (крім підробки) він обумовлений впливом регіонального підтоплення і підпором ґрунтових вод за рахунок інфільтрації зі ставка-накопичувача в б. Таранова.

4.1.2. Гідродинамічний режим підземних вод на підробленій території.

Рішення задач геофільтрації при підробці території шахтного поля в умовах розвитку гірничих робіт в блоці № 2 шахти «Самарська» виконано з використанням чисельної моделі, реалізованої на базі методу скінченних різниць [29, 61].

Побудова чисельної моделі виконана в межах природних границь досліджуваної території. На півночі, північному заході і південному заході межами модельованої області є річки Самара та Тернівка, на сході - ставок-накопичувач в балці Таранова. Геофільтраційна модель в реальних координатах має розмір 8250 × 8500 м, розмір блоків моделі - 250 × 250 м. Загальна площа області моделювання становить близько 35 км².

Межі моделі обрані таким чином, щоб на баланс області не впливали суміжні території.

У вертикальному розрізі геофільтраційна модель представлена двошаровою товщею у відповідності з будовою товщі посткарбонівих відкладень.

Перший від поверхні водоносний горизонт в чисельній моделі представлений водоносним комплексом четвертинних алювіальних відкладень і відкладень межигірської свити, до складу яких входять дрібно- та середньозернисті піски (рис. 4.1).. Спільне представлення двох водоносних горизонтів в межах єдиного комплексу засноване на передумові про наявність між ними гідравлічного взаємозв'язку. Це пов'язано з відсутністю явно виражених і витриманих як в плані, так і розрізі слабкопроникних поділяючих шарів.

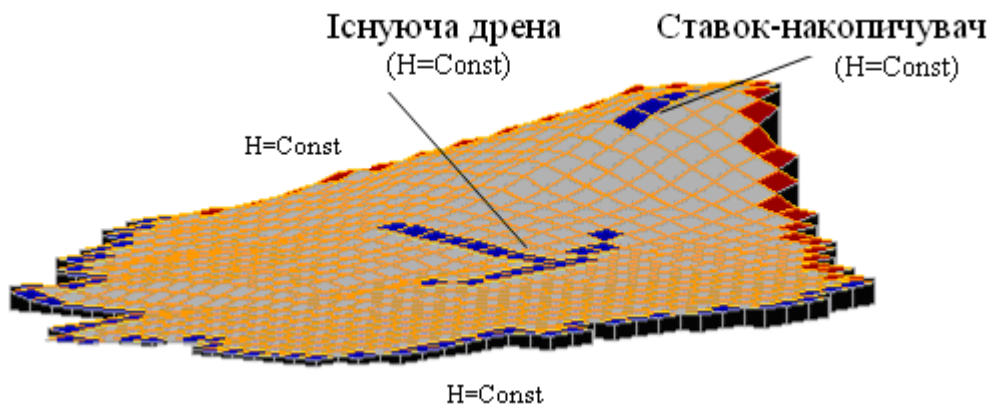


Рис. 4.1. Геометрія області першого водоносного шару моделюємої

Про наявність гідравлічного взаємозв'язку свідчить також практично повний збіг рівнів підземних вод в водоносних горизонтах. За даними режимних спостережень при заляганні рівнів води на глибині 0,4 ... 2,20 м в четвертинному та межигірському горизонтах, різниця в положенні рівневих поверхонь не перевищує 0,5 м, що свідчить про існування лише локальних слабкопроникних зон і в цілому – про характер живлення і розвантаження водоносних горизонтів.

В якості другого розрахункового шару в чисельній моделі представлений водоносний комплекс палеогенових відкладень обухівської і бучакської свит, складений кварцевими пісковиками і дрібнозернистими пісками (рис. 4.2). Виділення цих відкладень в окремий розрахунковий шар обумовлено наявністю затрудненого водообміну з четвертинними і межигірськими пісками. Про це свідчить як характер потоку підземних вод, що формується під дією роботи водозабірних споруд і шахтного водовідливу, так і наявність істотного, до 4,5 м, відриву між відмітками рівнів в водоносних товщах. Крім того, наявність п'єзометричного напору (до 25,0 м) в обухівсько-бучакському водоносному комплексі дає підставу говорити про існування в покрівлі обводненої товщі потужного прошарку водотривких порід або зон із зниженою проникністю.

Гідрогеологічні параметри водоносних товщ і розділяючого шару в моделі встановлені за даними гідрогеологічної розвідки шахтного поля, даними дослідних робіт і режимних спостережень.

Потужність першого водоносного горизонту прийнята рівною сумарній потужності четвертинних і межигірських відкладень і становить 27,0 м. Водопровідність шару – 320 м² / добу.

Другий водоносний горизонт має сумарну потужність 25,0 м при величині водопровідності 160,0 м² / доб.

У межах обох водоносних горизонтів водопровідність представлена у вигляді однорідних зон через відсутність представницьких даних про зміну фільтраційних параметрів водовмісних порід як в плані, так і в розрізі.

Значення водовіддачі як для першого, так і для другого шару задані рівними 0,15.

З огляду на досить полого залягання водопроникних відкладень покрівля та подошва розрахункових шарів задані горизонтальними.

Гіпсометрія денної поверхні в чисельній моделі задана з урахуванням існуючої підробки при вийманні вугільних пластів в блоці № 2.

Характер рівненної і п'єзометричної поверхонь підземних вод першого і другого водопроникних шарів встановлені за даними режимних спостережень на період до початку реконструкції дренажної системи в урочищі Богданівські піски.

Граничні умови в чисельній моделі визначені з умови наявності на контурах річок і ставка-накопичувача границь із забезпеченим живленням, тобто $H = Const$.

Значення напорів на границях області з умовою першого роду встановлені за відмітками рівня води в річках Самара та Тернівка за даними гідрометричних постів.

Внутрішні границі представлені на ділянці шахтного поля дренажними каналами зі сталими напорами на контурах дрен $H = Const$. Величина напору встановлювалася в обернених задачах, виходячи з величин водозниження на різні періоди часу. До реконструкції дренажної мережі відмітка рівня води у дрені становила 65,7 м, після - 64,6 м.

Вплив гідродинамічної недосконалої водоїм і дренажних каналів в моделі враховувалося введенням параметра взаємозв'язку підземних і поверхневих вод

$$DL = \frac{TS \cdot N}{L + \Delta L}, \quad (4.1)$$

де TS – водопровідність водомісткої товщі; N – довжина водотоку або дренажу в розрахунковому блоці; L – відстань від центру блоку до контуру дренажу; ΔL – гідродинамічна недосконалість.

Встановлена за даними режимних спостережень на ділянці горизонтального дренажу величина гідродинамічної недосконалої становить 280 м, звідки $DL = 198 \text{ м}^2 / \text{сут}$.

На вільних ділянках області фільтрації контури моделі встановлені з граничною умовою другого роду $Q = 0$, що відповідає характеру фільтраційного потоку в четвертинних і межигірських відкладах – від ставка-накопичувача в сторону річкової мережі. Відсутність живлення і розвантаження на цих ділянках впливає зі збігу контурів моделі з напрямком ліній струмів.

Граничні умови в другому водоносному горизонті оцінювалися виходячи із загального балансу геофільтраційної моделі при вирішенні епігностичних задач і задавалися умовою $Q = Const$.

Аналогічним чином оцінювався параметр перетікання в розділючі шарі при початкових потужностях слабкопроникних порід 5,0 м і значенні коефіцієнта фільтрації 0,00002 м/добу.

Величина інфільтраційного живлення встановлена з урахуванням особливостей досліджуваної території. Для території з високим стоянням рівня ґрунтових вод, пологим характером поверхні заплавної ділянок її значення прийнято рівним 80 мм/рік.

Збіжність чисельних розрахунків оцінювалася в процесі вирішення епігностичних задач за балансовими складовими геофільтраційної моделі і початкового стану рівневої поверхні у водоносних горизонтах. Критерієм оцінки балансової складової була величина дренажного водовідбору при існуючому рівні водозниження. За різними даними дренажний водовідбір становить 100 ... 400 м³/год (2400 ... 9600 м³/добу) при середній величині 230 м³/год (5400 м³/добу) і залежить від дренажного і паводкового режимів.

Рішення обернених задач представляло собою розрахунки, в процесі яких оцінювався вплив на рівні підземних вод і дренажну витрату послідовних змін водопровідності пластів, інфільтраційного живлення, параметрів взаємозв'язку водоносних горизонтів, підземних і поверхневих вод.

На першому етапі вирішення обернених задач оцінювалася збіжність даних чисельної моделі рівневої поверхні комплексу четвертинних і межигірських відкладень, встановленої за даними режимних спостережень на період 01.12.1995 р. Рівень води у дренажній мережі при існуючому водозниженні прийнятий рівним 65,70 м, рівень нормального підпірного горизонту в ставку-накопичувачі в б. Таранова – 80,10 м.

Побудована за даними рішеннями в стаціонарній постановці рівнева поверхня в верхньому водоносному горизонті відповідає характеру фільтраційного потоку в межах території шахтного поля (рис. 4.2).

Похибка в рівнях заплавної частини даної території обумовлена впливом інфільтраційного живлення, випаровування і розвантаження підземних вод при неглибокому заляганні рівнів води. Коригування положення рівневої поверхні в цій частині легко досягається завданням умови височування, однак, для виключення порушення балансу моделі цей параметр в розрахунку не враховувався.

Величина похибки в оцінках рівнів в першому і другому горизонтах на оцінюваній території не перевищувала 0,50 ... 0,70 м при нев'язці балансу моделі 0,02% (рис. 4.3). Величина дренажного водовідбору в наведеній схемі склала 4323 м³/добу.

Баланс області моделювання за видатковими статтями наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Балансові складові моделі

Складові балансу	Шар 1		Шар 2	
	Живлення	Розвантаження	Живлення	Розвантаження
Взаємозв'язок з річками, м ³ /доб	3213,53	-10702,72	3900,06	-13737,78
Інфільтрація, м ³ /доб	9835,62	0,00	9835,62	0,00
Перетікання через підшову, м ³ /доб	2,04	-2350,01	-	-
Похибка, м ³ /доб	-1,54		-2,10	
Нев'язка (%)	-0,0059		-0,0066	

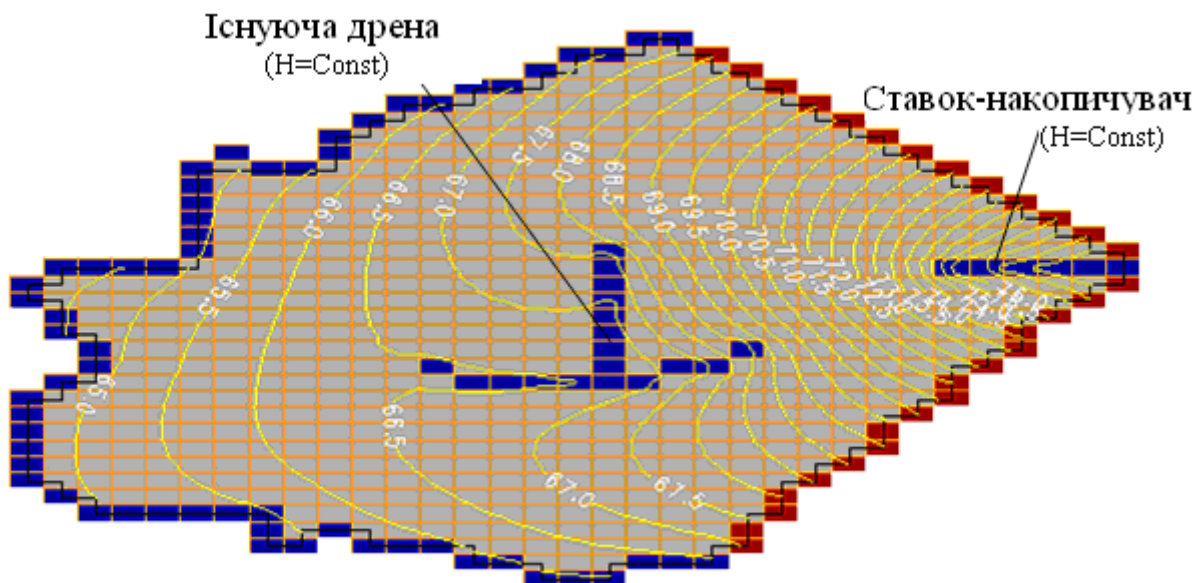


Рис. 4.2. Рівнева поверхня водонасиченого комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) за результатами розв'язання оберненої задачі на 01.12.1995г (рівень дренажного водозниження 65,70 м).

На другому етапі адекватність відображення чисельної моделі існуючої гідродинамічної ситуації оцінювалася за величиною дренажного водовідбору в загальному балансі області фільтрації.

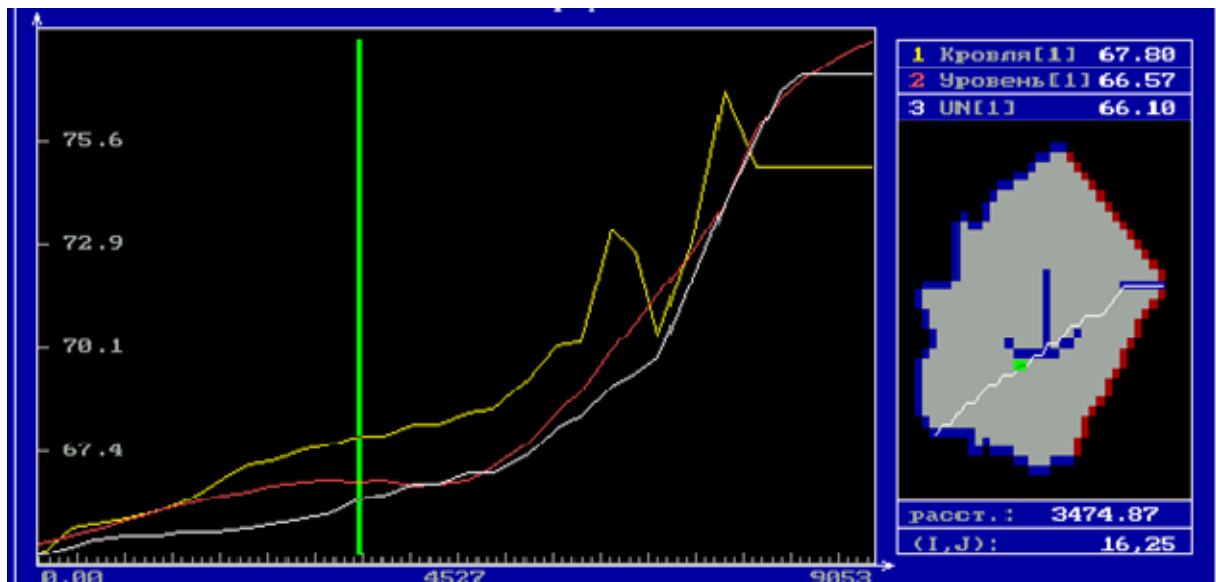


Рис. 4.3. Рівні водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) за результатами розв'язання оберненої задачі (2) і даними режимних спостережень (3) на 01.12.1995г (рівень дренажного водозниження 65,70 м).

При зниженні рівня води в дрені до позначки 64,6 м дренажний водовідбір складає 5316 м³/добу, що відповідає режиму роботи горизонтального дренажу в меженний період (рис. 4.4). Для паводкового періоду в умовах підйому рівня води в річках до відміток 67,50 м (10% забезпеченість) витрата дренажної системи зростає 6708 м³/добу (279,5 м³/год). При цьому заплавна частина шахтного поля, в тому числі на підроблених ділянках, виявляється затопленою.

Вплив річкового режиму на режим ґрунтових вод в межах розглянутої території оцінений в умовах нестационарного режиму фільтрації.

Внутрішньорічний режим річок Самара і Тернівка, котрий характеризується проходженням весняної повені в період лютий-квітень, в чисельній моделі враховувався коригуванням граничних умов на моменти відповідно підйому і спаду рівнів води в річках.

Оцінка гідродинамічного режиму підземних вод в нестационарному режимі показала, що режим повені, що зберігається протягом одного місяця, не робить істотного впливу на рівневий режим підземних вод. Це пов'язано, з одного боку, з короткостроковістю гідродинамічної дії весняної повені, з іншого – існуючою недосконалістю у взаємозв'язку поверхневих і підземних вод.

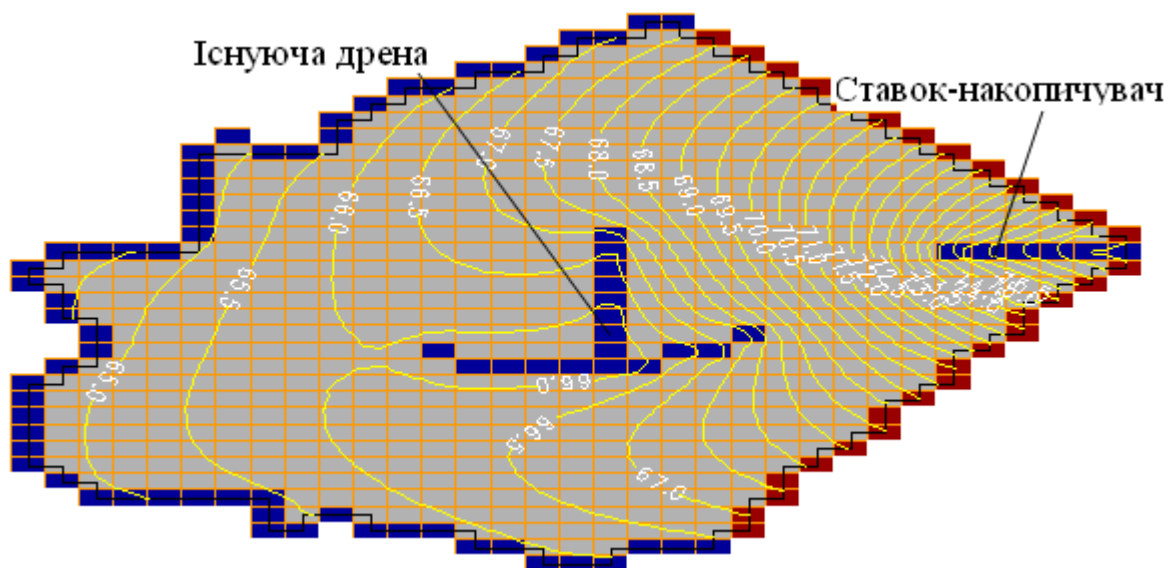


Рис. 4.4. Карта гідроізогіпс водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) за результатами розв'язання оберненої задачі при рівні дренажного водозниження 64,60 м.

Вплив паводку на режим підземних вод четвертинного і межигорського горизонтів фіксується в межах 250 ... 500 метрової зони заплави річок Самари і Тернівки з відновленням рівнів в інтервалі 6 ... 12 місяців після його проходження. Для цих зон характерною є деформація ліній струмів і ізоліній поверхні ґрунтових вод (рис. 4.5 – 4.8).

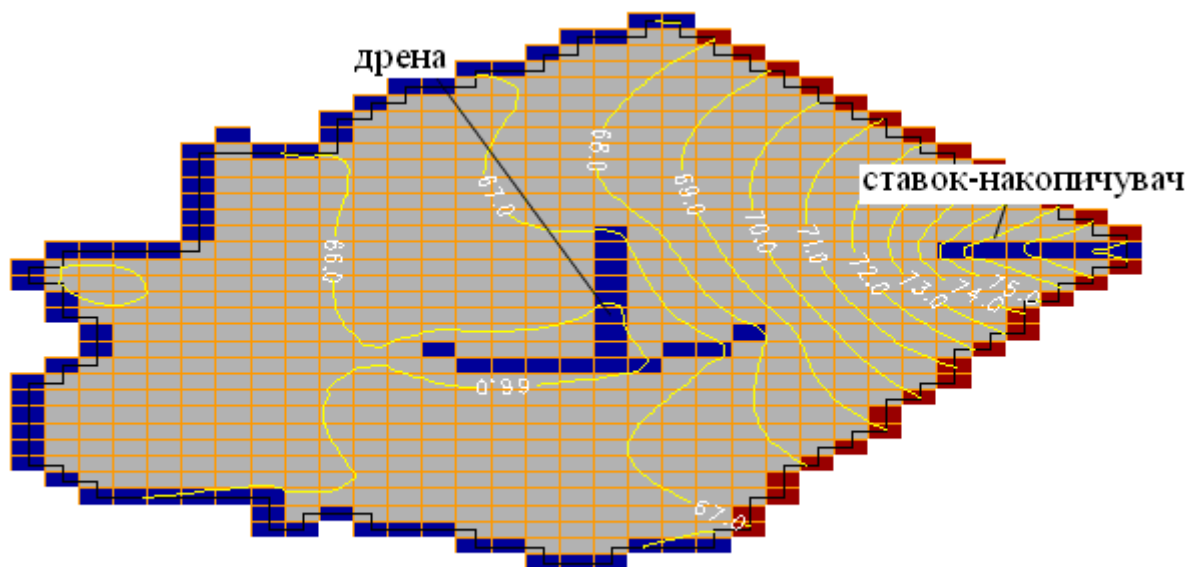


Рис. 4.5. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) за результатами розв'язання оберненої задачі на період закінчення весняної повені (рівень дренажного водозниження 64,60 м).

В цьому випадку для заплави ділянок визначальною умовою підтоплення та затоплення території шахтного поля може бути перелив річкових вод на зниженні в результаті підробки ділянки денної поверхні

(абсолютні позначки поверхні на суміжному з 530-ї лавою ділянці складають 66,10 ... 67,00 м).

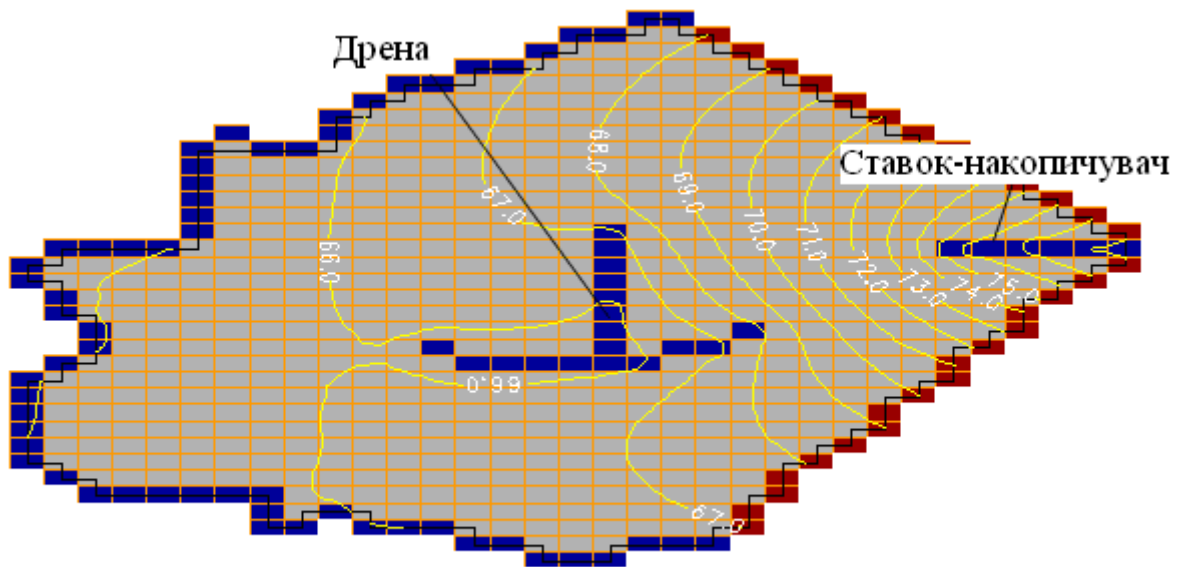


Рис. 4.6. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) за результатами розв'язання оберненої задачі через 1 місяць після проходження весняного паводку (рівень дренажного водозниження 64,60 м).

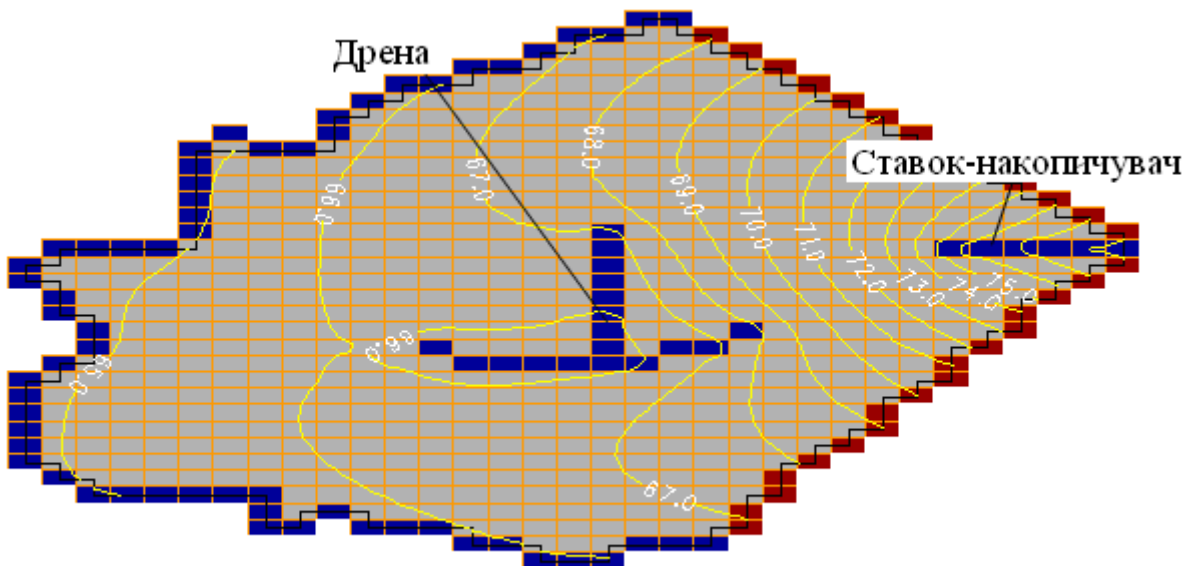


Рис. 4.7. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) за результатами розв'язання оберненої задачі через 6 місяців після проходження весняного паводку (рівень дренажного водозниження 64,60 м).

Таким чином, встановлена адекватність відображення чисельної моделі гідродинамічних умов території дозволяє обґрунтовано підійти до вирішення завдань прогнозування режиму ґрунтових вод на ділянці планованої відробки 530-й лавою пласта С₅ в другому блоці шахти «Самарська».

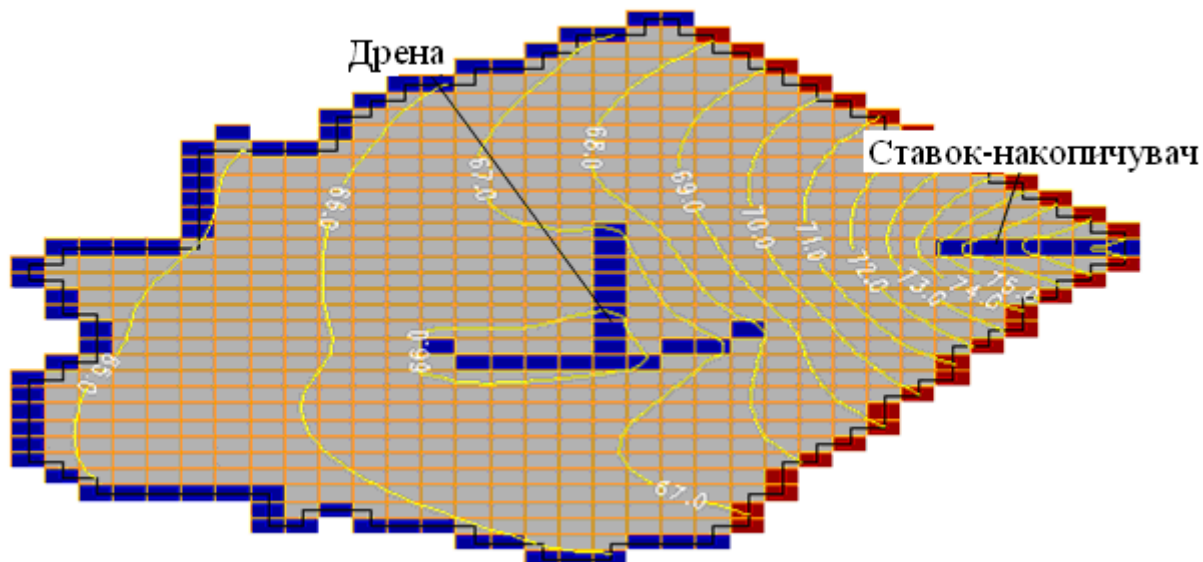


Рис. 4.8. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) за результатами розв'язання оберненої задачі через 1 рік після проходження весняного паводку (рівень дренажного водозниження 64,60 м).

4.1.3. Обґрунтування раціональної схеми управління режимом ґрунтових вод при веденні гірничих робіт

Відпрацювання пласта С₅ шахтою «Самарська» при потужності пласта 1,0м призводить до осідання денної поверхні на величину до 0,9 м. В межах лісового урочища Богданівські піски підробка території супроводжується осіданням поверхні до відміток 66,0 ... 67,0 м і як наслідок зменшення глибини залягання рівня ґрунтових вод до 0,5 ... 1,0 м, а в деяких випадках - до затоплення підроблених ділянок шахтного поля.

На ділянках, що безпосередньо прилягають до площі перспективного відпрацювання пласта С₅ 530-й лавою, позначки денної поверхні знаходяться у межах 67,60...67,80 м. На затоплених після підробки суміжних ділянках абсолютні відмітки поверхні становлять 65,90...67,20 м, що відповідає або нижче рівня ґрунтових вод (див. рис. 4.5).

З огляду на гіпсометрію денної поверхні шахтного поля на ділянці 530-ої лави її відпрацювання також призведе до зрушень ґрунтової товщі і її осідання до відміток 66,00 ... 66,40 м, що при існуючому стані рівневої поверхні ґрунтових вод неминуче призведе до затоплення підробленої території.

Для оцінки ефективності дренажу і доцільності його спорудження на ділянці перспективного відпрацювання виконані прогнозні розрахунки з використанням наведеної вище чисельної геофільтраційної моделі. У прогнозних розрахунках аналізувалася робота горизонтального дренажу і вертикальних водознижувальних споруд - колодязів і перепускних свердловин. В якості критерію ефективності дренажу є зниження рівня ґрунтових вод на підтоплених і прилеглих територіях до глибин 2,0 ... 2,5 м, що в цілому забезпечує життєздатність лісових насаджень.

У варіанті горизонтального дренажу передбачається розвиток існуючого дренажного каналу 1-Д1 в напрямку підроблюваної 530-й лавою ділянки (рис. 4.9). Як розрахунковий параметр прийнята проектна глибина водозниження в дренажному каналі, досягнення якої забезпечить необхідне зниження рівня ґрунтових вод на прилеглих територіях.

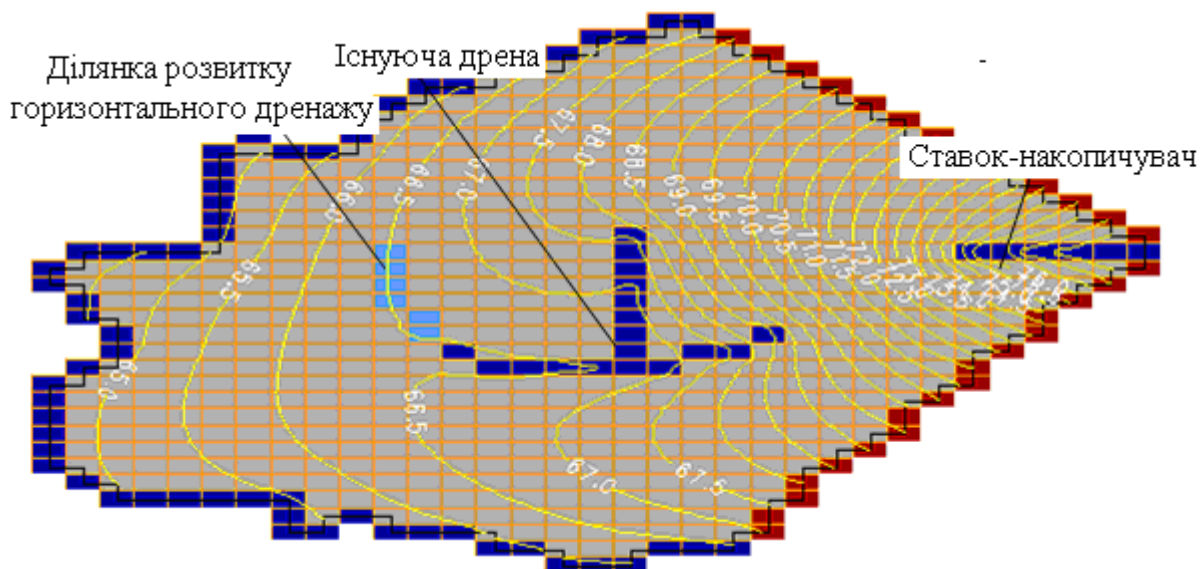


Рис. 4.9. Схема розвитку горизонтального дренажу в межах модельованої області.

Аналогічним чином розглядався варіант вертикального дренажу. Положення водознижувальних споруд визначалося положенням площі перспективної підробки і затоплення прилеглих ділянок (рис. 4.10). Так само, як і в разі горизонтального дренажу, основним параметром, значення якого варіюється в процесі проведення чисельних розрахунків, були величини знижень води в колодязі (свердловинах).

Робота горизонтального дренажу оцінювалася при різних величинах зниження рівня води в дренажному каналі. У чисельній моделі розглянуті варіанти дренажного водозниження до абсолютних відміток 64,60 м (положення рівня води в існуючій дренажній мережі), 63,00 і 61,00 м, що відповідає глибині в дренажному каналі 1,5, 3,0 і 5,0 м.

Для умов стаціонарного режиму фільтрації положення рівненної поверхні в четвертинному та межигірському водоносному комплексі наведені на рис. 4.11, 4.12. Як видно, необхідне зниження рівня води на підробляемій ділянці і прилеглій території (в межах 500-метрової зони) досягається при величині зниження води в дрени до 5,0 м (рис. 4.12). У цьому випадку величина дренажного водовідбору становить: для проектованої ділянки дрени 2960 м³ / добу, за існуючої дренажної мережі при величині водозниження 64,60 м – 4199 м³ / добу.

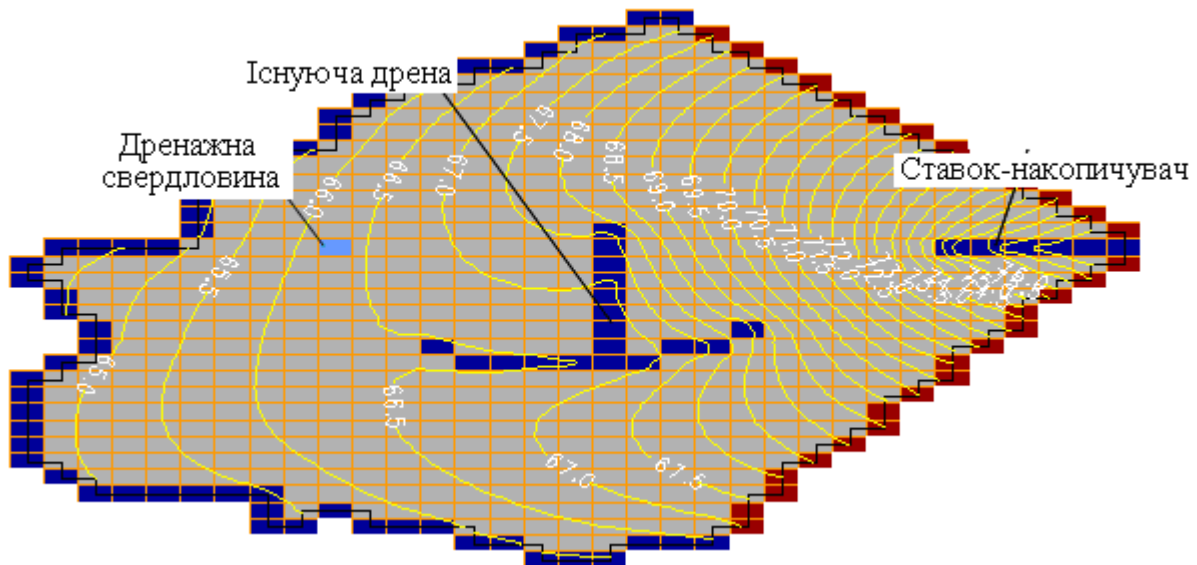


Рис. 4.10. Схема розташування вертикальних водознижувальних споруд в межах модельованої області.

Аналіз розвитку депресії в часі (нестационарна фільтрація) свідчить про те, що наближення рівної поверхні до стаціонарного стану досягається не менш ніж за 1 рік (рис.4.13).

Таким чином, проведені оцінки дають підставу стверджувати, що робота горизонтального дренажу для зниження рівня ґрунтових вод в межах контурів проектованої підробки до необхідних глибин вимагає підтримки положення рівня води в дренах на позначці 61,00 м. Однак, це пов'язано з необхідністю організації автономної роботи проектованої ділянки дренажного каналу, а тривалий період досягнення необхідного зниження рівня ґрунтових вод на прилеглій території ускладнює можливість проектного водозниження на площі підробки 530-ю лавою.

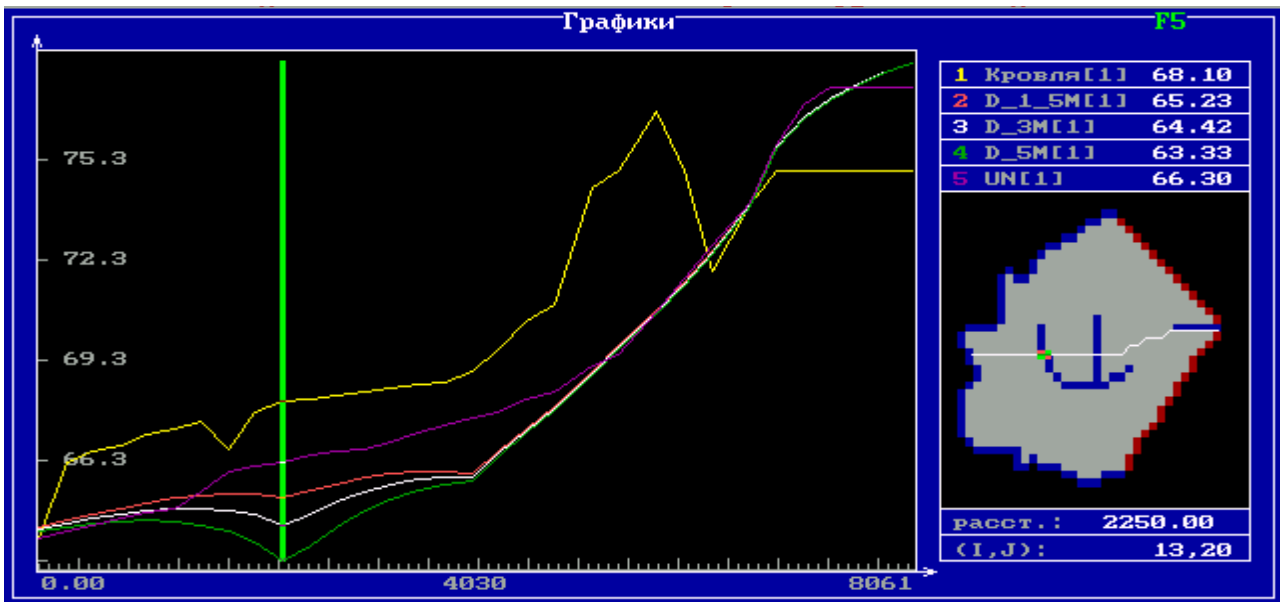


Рис. 4.11. Положення рівнів у водоносному комплексі четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах проєктованого розвитку горизонтального дренажу (стаціонарна фільтрація): 1 – денна поверхня; 2 – дренуюче водозниження 1,4 м (абс.відм. 64,60 м); 3 – дренуюче водозниження 3,0 м (абс.відм. 63,00 м); 4 – м дренуюче водозниження 5,0 м (абс.отм. 61,00 м).

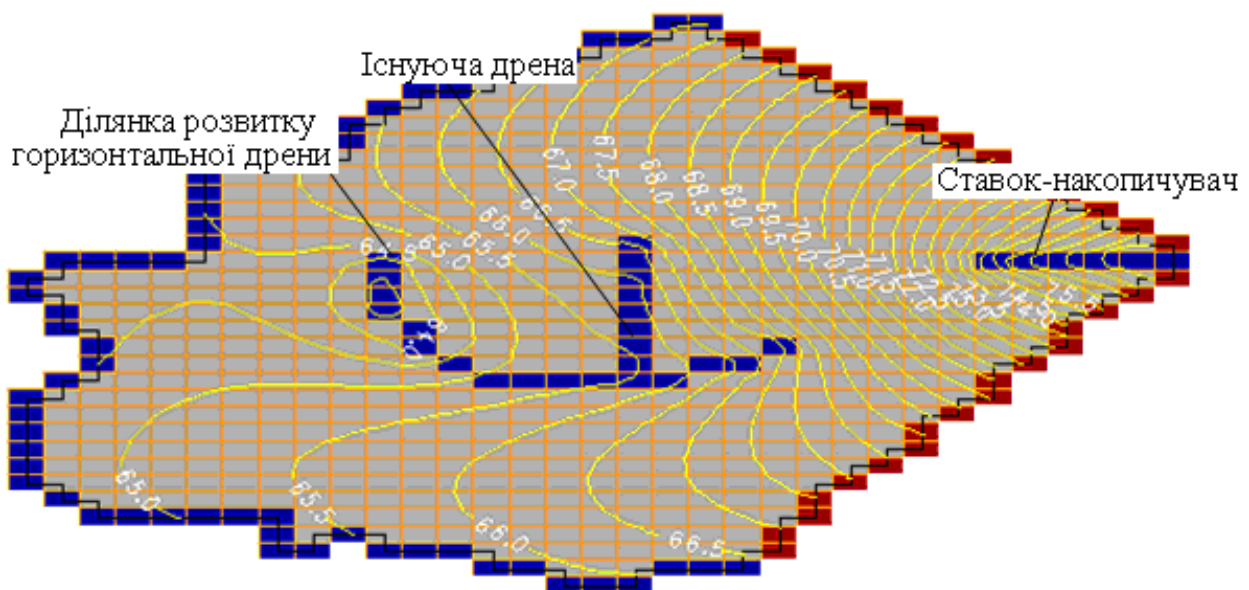


Рис. 4.12. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах роботи проєктованого горизонтального дренажу при позначці води в дрені 61,00 м (стаціонарна фільтрація)

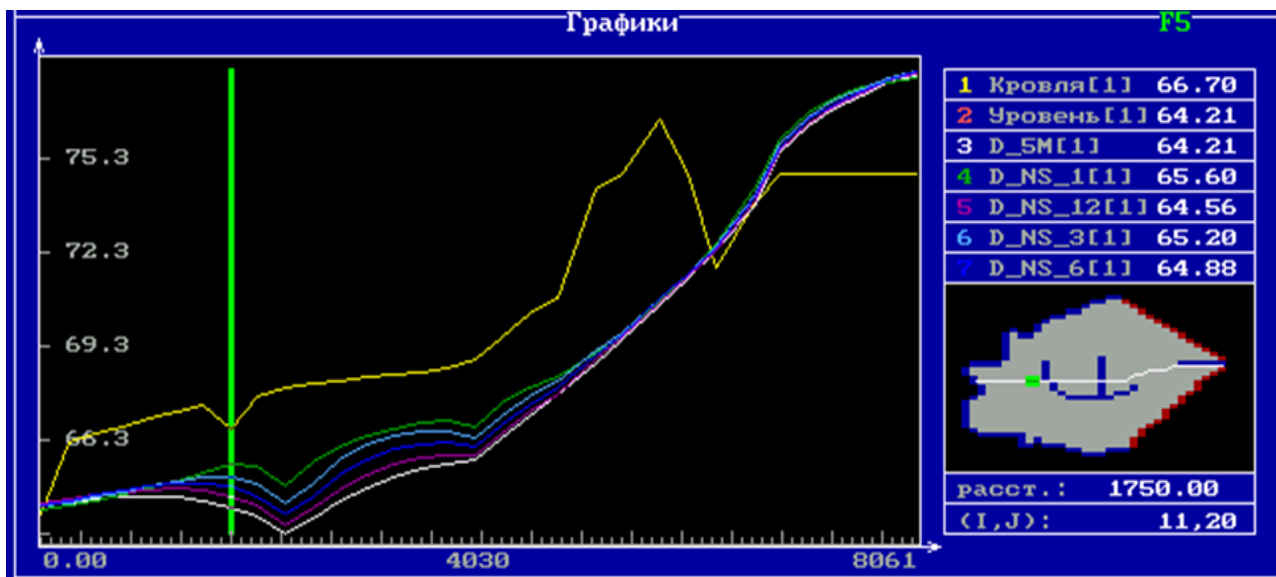


Рис. 4.13. Положення рівнів у водоносному комплексі четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах проектного розвитку горизонтального дренажу і величиною зниження 5,0 м (нестационарна фільтрація): 1 – денна поверхня; 2 – початкове положення рівня; 3 – дренажне водозниження в стаціонарному режимі; 4 – дренажне водозниження на період 1 місяць; 5 – те ж, 1 рік; 6 – те ж, 3 місяці; 7 – те ж, 6 місяців.

Реалізація дренажного водозниження при спорудженні вертикальних водозабірних пристроїв в чисельній моделі проводилася при зміні абсолютної позначки рівня води в точці закладання вертикальної виробки (дренуючого колодязя, свердловини). Отримані рішення в умовах стаціонарного режиму фільтрації відповідали різним величинам зниження, а саме 5,0; 8,0; 10,0 і 15,0 м (рис. 4.14). Як показав проведений аналіз, осушення підтопленої території досягається при величині зниження в дренажних спорудах 15,0 м, тобто практично на всю потужність четвертинних алювіальних відкладень (рис. 4.15).

Характер розвитку депресійної воронки в часі досліджувався в умовах нестационарного режиму фільтрації. У загальному вигляді формування рівненного режиму на осушуваній території аналогічно роботі горизонтального дренажу (рис. 4.16). Зниження рівнів ґрунтових вод на прилеглий території до відміток, що забезпечують збереження і продуктивність лісових насаджень, відбувається протягом періоду роботи дренажних споруд тривалістю 1 рік.

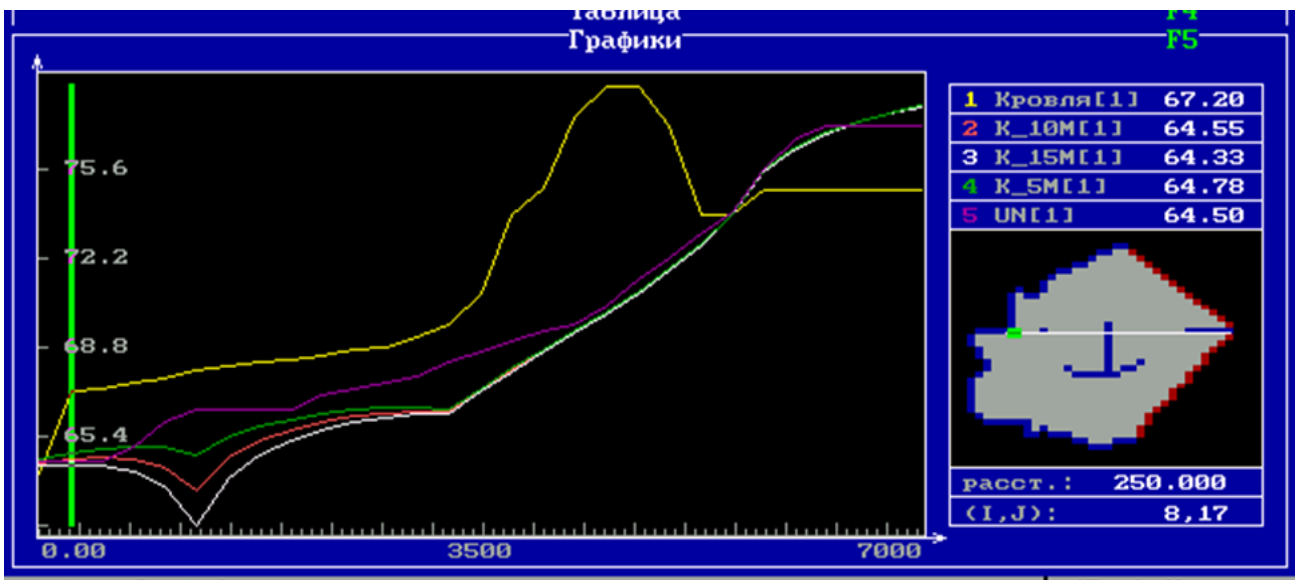


Рис. 4.14. Положення рівнів у водоносному комплексі четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах роботи вертикального дренажу (стаціонарна фільтрація): 1 – денна поверхня; 2 – дренажувач водозниження 10,0 м; 3 – дренажувач водозниження 15,0 м; 4 – дренажувач водозниження 5,0 м.

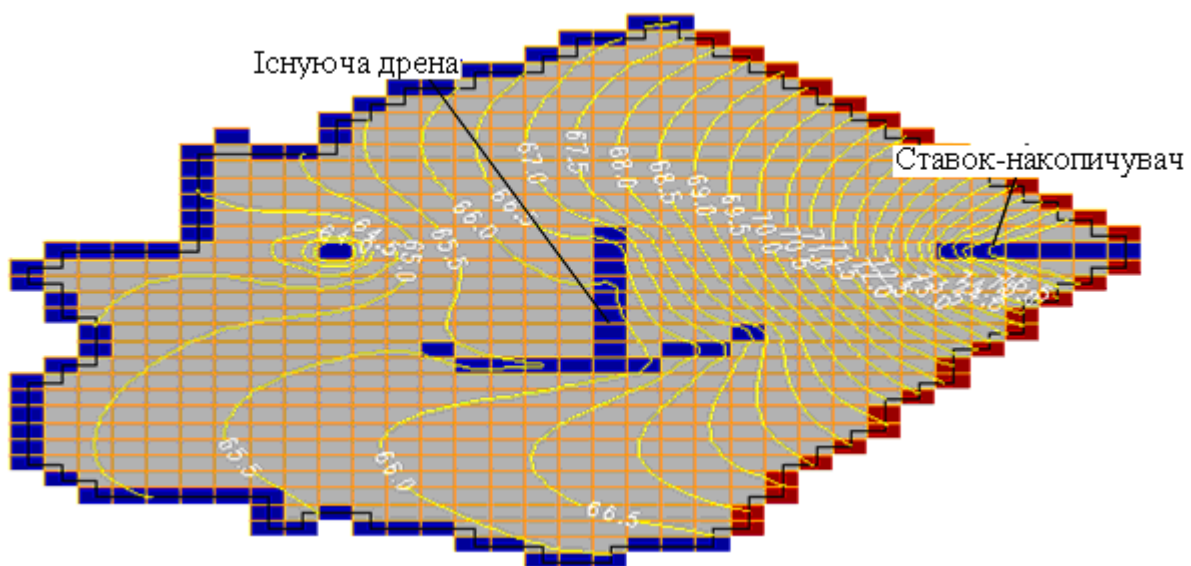


Рис. 4.15. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах роботи проектного вертикального дренажу при величині зниження 15,0 м (стаціонарна фільтрація).

Аналітична оцінка формування депресійної воронки на осушуваній ділянці виконано для умов ґрунтового водоносного горизонту

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{2\pi K} \ln \frac{2,25at}{r^2}}, \quad (4.2)$$

де S – зниження в розрахунковій точці, м; H – потужність водоносного горизонту, м; Q – дебіт водозабірної споруди, м³/добу; K – коефіцієнт фільтрації, м/добу; a – коефіцієнт рівнепровідності, м²/добу; t – розрахунковий період часу, добу; r – відстань до розрахункової точки, м.

При заданих параметрах розрахунку ($H = 27,0$ м, $K = 11,85$, $a = 2133,3$ м²/добу) і дренаючому водовідборі $Q = 2174$ м³/добу, встановленому за результатами чисельного розрахунку, зниження у водозабірній споруді на період 1 рік склало 13, 75 м, що практично відповідає аналогічній величині, встановленої для чисельної моделі (15,0 м). Відхилення отриманих величин обумовлено впливом гідродинамічної недосконалості водозабору, яке враховувалося в процесі чисельного моделювання.

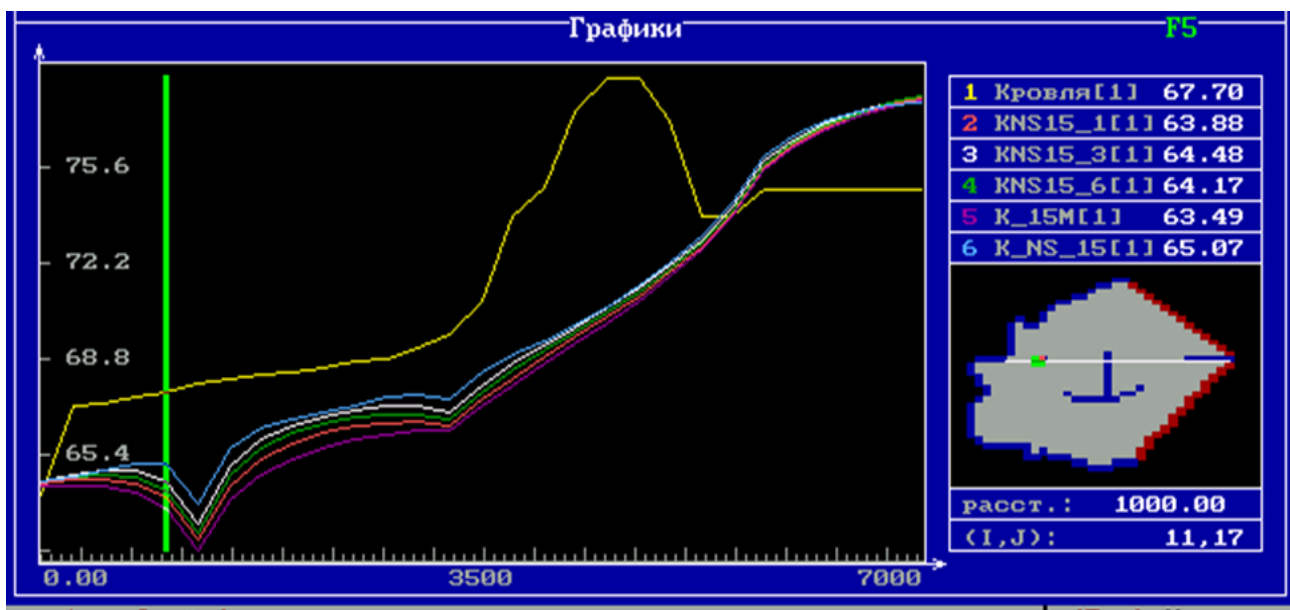


Рис. 4.16. Положення рівнів у водоносному комплексі четвертинних і межигірських відкладеннях (шар 1) в умовах роботи вертикального дренажу і величиною зниження 15,0 м (нестационарна фільтрація): 1 – денна поверхня; 2, 3, 4, 5 – дренаване водозниження на період 1 рік, 3 місяці, 6 місяців, в стаціонарному режимі, відповідно; 6 – те ж саме, 1 через місяць.

Величини зниження рівня на різні періоди часу в розрахункових точках в межах прилеглої території приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Величини зниження рівня ґрунтових вод в умовах роботи вертикального дренажування (2174 м³ / добу), м

Відстань до розрахункової точки, м	Розрахунковий період			
	1 місяць	3 місяць	6 місяць	1 рік
25	3,12	3,80	4,24	4,70
125	1,23	1,86	2,27	2,69
250	0,46	1,07	1,46	1,87
500	0,00	0,30	0,68	1,07

Дреноване водозниження в період весняної повені (паводковий режим) оцінювалося за умови підйому-спаду рівнів води в річках Самара та Тернівка з максимальним станом рівнів протягом місячного терміну. Характер зміни рівневого режиму під впливом весняного водопілля в умовах роботи проектного горизонтального дренажу ілюструється на рис.4.18, 4.19. Видно, що істотне зростання рівнів приурочених до ділянок, безпосередньо прилеглих до русел річок.

Аналогічна картина спостерігається і в умовах роботи вертикального дренажу (рис. 4.17, 4.20).

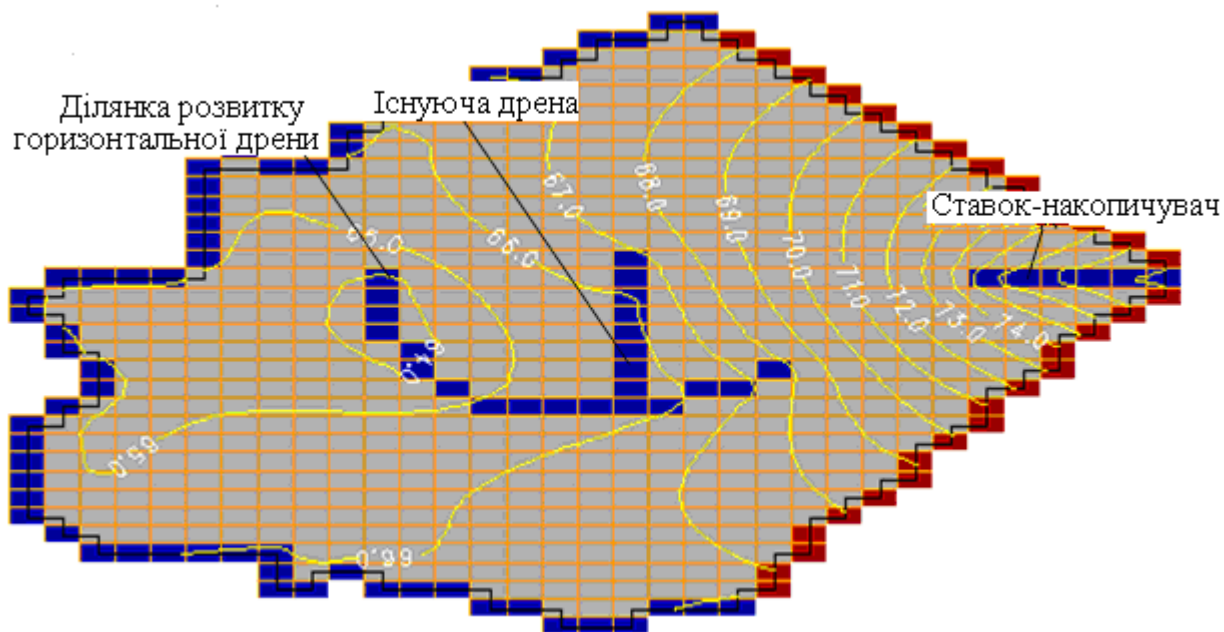


Рис. 4.17. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах проектного розвитку горизонтального дренажу з величиною зниження 5,0 м на момент закінчення весняної повені.

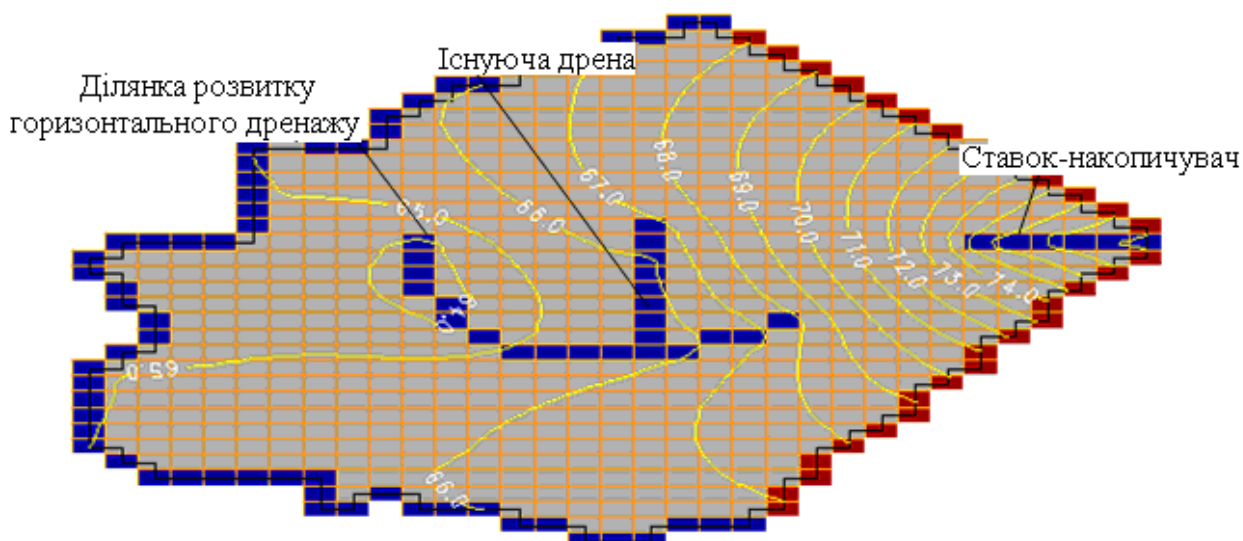


Рис. 4.18. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах проектного розвитку горизонтального дренажу (величиною зниження 5,0 м) через 1 місяць після закінчення весняної повені.

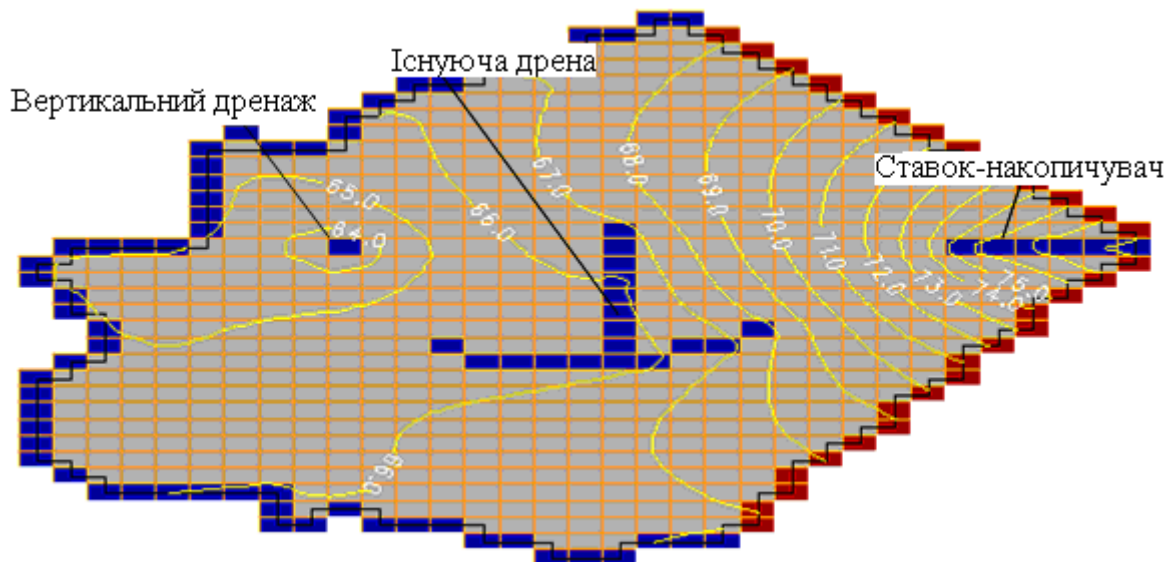


Рис. 4.19. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах роботи проектного вертикального дренажу з величиною зниження 15,0 м на момент закінчення весняної повені.

Виконані оцінки із залученням чисельних та аналітичних методів дозволяють обґрунтовано підійти до вибору екологічно раціональної схеми підтримки рівня ґрунтових вод на ділянці підробки.

За даними розрахунків встановлено, що зниження рівня ґрунтових вод в межах контурів підробки на величину до 2,0 м забезпечується як при розвитку існуючої дренажної мережі, так і в умовах роботи вертикальних водозабірних споруд. Однак, як було зазначено вище, ефективність роботи горизонтального дренажу в межах заплавлених ділянок обмежена низькими гіпсометричними відмітками денної поверхні. З одного боку, це вимагає забезпечення автономної роботи ділянки дренажувального каналу у відношенні до існуючої дренажувальної мережі, з іншого – пов'язане з необхідністю підтримки позначок дренажного зниження, істотно нижче відміток води у річковій мережі.

Так, позначки води у річковій мережі на ділянці, що прилягає до площі, яка захищається, складають 64,00 – 64,80 м при значеннях абсолютних відміток поверхні і дренажувального водозниження відповідно 66,00 – 67,00 м і 61,0 м. У цих умовах в період весняної повені зберігається ймовірність переливу повеневих вод на осушуваних площі і їх затоплення (відмітка рівня води 10% забезпеченості в річці становить 67,50 м), що робить недоцільним роботу дренажувальних споруд в період високого стояння рівня річкових вод.

Реалізація вертикального дренажу в цих умовах більш доцільна, проте і на його роботу накладає обмеження затоплення знижених і підроблених ділянок в період весняної повені з високим рівнем забезпеченості (до 10%).

З цих позицій гідродинамічна ефективність дренажу підтоплених ділянок може розглядатися тільки у зв'язку з критичними термінами

біологічного виживання рослин. Це також впливає з того, що zalивання коріннонаселених горизонтів ґрунтів допускається в короткі періоди - від 3 – 4 днів у весняно-літньо-осінній період і до 10 – 15 днів в зимовий період.

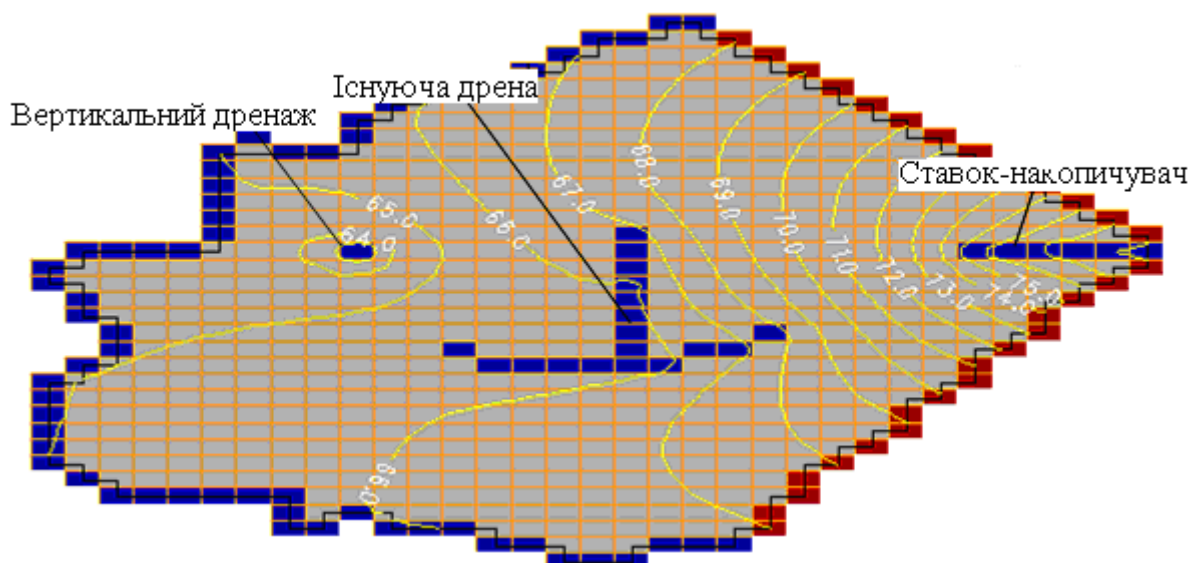


Рис 4.20. Рівнева поверхня водоносного комплексу четвертинних і межигірських відкладень (шар 1) в умовах роботи проектного вертикального дренажу з величиною зниження 15,0 м через 1 місяць після закінчення весняної повені.

4.2. Обґрунтування гідрозахисту гірничих робіт пласта C_8'' шахти «Тернівська».

4.2.1. Гірничо-технічна ситуація пласта C_8'' .

Згідно з проектом відпрацювання запасів 828 лавою зберігалася схема підготовки виймального стовпа, існуюча система розробки – довгими стовпами за падінням, механізація очисної виїмки, управління покрівлею – повне обвалення, проходження виїмкових штреків і їх металеве кріплення, конвеєрна доставка вугілля. Особливість проекту полягала в подовженні виймального стовпа 828 лави пласта C_8'' , з виходом на експериментальні ділянки відпрацювання пласта під бучакський водоносний горизонт на глибині, відповідній кратності його підробки 15 – 13m при потужності 1,65 м. Довжина виїмкового стовпа експериментальної ділянки за повстанням згідно з проектом становила 175 м.

Від результатів досвіду відпрацювання запасів під пливуном на експериментальній ділянці 828 лави в великій мірі залежало прийняття рішення про подальше відпрацювання запасів вугілля на східному крилі пласта C_8'' , так як в зв'язку зі складною зміною гіпсометрії залягання родовища на цій ділянці, при існуючій розкрийці шахтного поля, різко скорочується довжина виїмкових стовпів.

Однак, за результатами роботи 828 лави в 1998 р експеримент не відбувся через погіршення гірничо-геологічних умов (розмив пласта), в зв'язку з чим були змінені проектні рішення, а розмір експериментальної ділянки встановлено значно скороченим та недостатнім для обґрунтування вилучення запасів вище безпечної глибини ведення гірничих робіт. Фактично 828 лава працювала не вище ізоляції кратності підробки бучакського горизонту 14 м (рис. 4.21.).

У 1999р. відповідно до програми розвитку гірничих робіт шахти «Тернівська» складено робочий проект відпрацювання запасів 854 лавою пласта C_8^H . Проект містить заходи щодо безпечного ведення очисних робіт під впливом на експериментальній ділянці (кратність підробки бучакського водоносного горизонту 12м і 15м). Обґрунтування ведення гірничих робіт включає висновок про достатність резерву водозахисних властивостей гірських порід (алевролітів і аргілітів), розташованих між пластом C_8^H та бучацьким горизонтом. Вказується, що прорив пливуну (можливість якого допускається при потужності водозахисної товщі менш 15м) проходить стадію самогальмування, після чого водоприток не перевищує 20м³/год.

Проект відпрацювання запасів 850 лавою передбачає ведення гірничих робіт з присічкою до 828 лави в аналогічних гірничотехнічних умовах, при цьому розмір експериментальної ділянки збільшується, а кратність підробки бучакського горизонту зменшується до 13м.

Таким чином, плановане відпрацювання запасів суміжною 850 лавою пласта C_8^H є продовженням розпочатого експерименту щодо зменшення безпечної глибини підробки бучакського водоносного горизонту (вище 15м).

У межах контуру проекрованої 850 лави не встановлено наявності тектонічних порушень.

Прогноз гірничотехнічних умов 850 лави оцінювався за матеріалами звіту з дорозвідки шахтного поля за найближчими свердловинами № 3021 6114 14772 № 14769, а також враховані гірничотехнічні умови відпрацювання суміжної 828 лави.

При проходженні підготовчих виробок велика ймовірність зустрічі в верхній частині виймального стовпа розмивів вугільного пласта (за геологічними прогнозами сусідніх лав). Породи в зонах розмивів дуже слабкі, схильні до обвалення на висоту 3-4 м. Бортовий штрек 850 лави проходить по вугільному пласту з підриванням породи вприсічку до виробленого простору 828 лави. Підготовлений виїмковий стовбур 850 лави пласта C_8^H , як і попередні лави, підроблені гірничими виробками пластів C_6^H на відстані 60-66 м, C_5 – 88-94 м, C_4^H – 128-137 м. За розвідувальними даними потужність осадових відкладень від поверхні землі до покрівлі бучакського водоносного горизонту дорівнює 23-30 м, потужність бучакського водоносного горизонту 25-30 м, глибина від поверхні землі до покрівлі пласта 75-86м. Відстані від покрівлі пласта C_8^H до підошви бучакського водоносного горизонту складають в свердловинах: №3021-27м, № 14772 - 24 м (рис.4.21.).

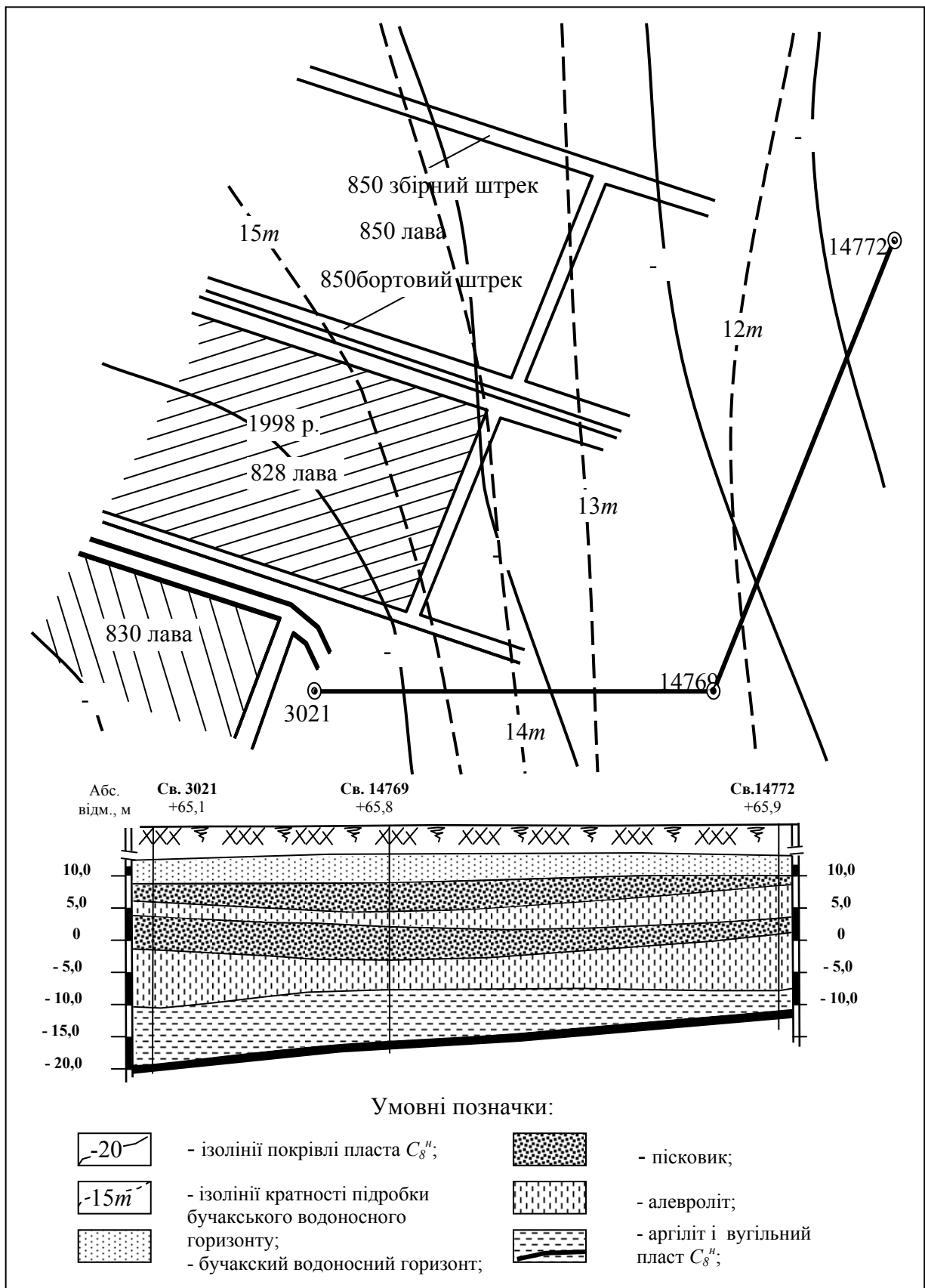


Рис. 4.21. Фрагмент плану гірничих виробок і геологічний розріз за лінією свердловин 3021-14769-14772.

Очікувана потужність пласта C_8'' дорівнює 1,65 м, кут падіння пласта на ділянці змінюється від $5^\circ - 3^\circ$ до 0° .

Водоприток в підготовчій виробки пласта C_8'' згідно з прогнозом оцінюється в об'ємі до 5 ... 10 м³/год, однак може бути великим (згідно з прогнозом відпрацювання 828 лави - 10 ... 15 м³/год, фактично – до 40 м³/год).

Первинна посадка основної покрівлі з досвіду відпрацювання лав відбувається на відстані 14-16 м від розрізної печі.

Технологія відпрацювання пласта C_8'' в 850 лаві освоєна і прийнятна для конкретних умов пласта. Передбачається механізоване кріплення 1 МКМ, проходження виїмкових штреків прийнято комбайнами ГПКС і ПВП-2 вузьким ходом. Розрізна піч 850 лави буде проходитися з ПК 80 збірною штреку довжиною 90 м. При цьому буде забезпечена необхідна швидкість посування більше 3 м в добу, 75-80 м / міс. Управління покрівлею повне обвалення.

4.2.2. Оцінка можливості підробки бучакського водоносного горизонту 850 лавою пласта C_8''

Гірничо-геологічні умови на даній ділянці відрізняються зменшенням кратності підробки бучакського водоносного горизонту від 15 до 13. Водоносний піщаник гідравлічно пов'язаний з бучакським горизонтом, є безпосереднім джерелом обводнення гірничих виробок пласта C_8'' і залягає на відстані 13-17 м.

Натурними спостереженнями в лаві №802 пласта C_8'' встановлено, що рівень розвитку нормальносічних водопровідних тріщин становить 11 крат виймаємо потужності. Таким чином, водопровідні тріщини можуть досягти водоносного піщанику і привести до значного збільшення водопритоку (фактичний водоприток в початковий період роботи 828 лави склав 40 м³ / год).

В період 1992-1996 рр. проведені додаткові дослідження для вивчення резерву водозахисних властивостей товщі в покрівлі пл. C_8'' з метою забезпечення безпеки ведення очисних робіт при кратності підробки бучакського водоносного горизонту 15-12 *m*, тобто, в умовах роботи 850 лави.

Для вирішення поставлених завдань проаналізовані результати експериментально-виробничих, лабораторних і аналітичних досліджень з використанням методів чисельного моделювання і математичної статистики, а також засобів обчислювальної техніки (див. 3.1., 3.2.).

Згідно виконаних досліджень основними аргументами на користь можливості безпечного ведення очисних робіт на ділянці 854 лави є:

а) наявність резерву коефіцієнта безпеки (кратності підробки бучакського водоносного горизонту), величина якого для даних гірничо-геологічних умов дорівнює 3,5 – 5,8 *m* і встановлена шляхом порівняльного аналізу співвідношень:

$$H_{\delta} = K_{\delta} \cdot m \quad (4.3)$$

$$h_T = \sqrt{\frac{m}{K_2}}, \quad (4.4)$$

де – H_{δ} безпечна глибина ведення гірничих робіт; K_{δ} – коефіцієнт безпеки; m – потужність пласта, що виймається; h_T – висота зони водопровідних тріщин; K_2 – гранична кривизна, відповідного шару порід, в якому водопровідні тріщини згасають;

б) запас граничної кривизни шарів водозахисних порід, визначений за даними відпрацювання пласта C_8'' на сусідній шахті «Павлоградська», і становить 0,005;

в) 50% запас показника, що характеризує розривні деформації товщі гірських порід, які обумовлюють техногенну водопровідність;

г) достатня потужність водозахисних порід (13-17 м), що виключає можливість різких збільшень притоку і проривів води, так як: небезпечні водопритоки в гірничі виробки формуються при зниженні потужності водозахисної товщі на 35-40% відносно висоти зони водопровідних тріщин (на ділянці 850 лави ця висота становить $1,65 \times 11 = 18$ м);

д) утворення зворотної фільтрової зони на зовнішньому контурі зони водопровідних тріщин, що перешкоджає надходженню бучакських пливунних пісків в гірничі виробки, додатковий резерв захисних властивостей товщі при цьому оцінюється трьома кратностями потужності вугільного пласта;

е) компенсація горизонтальних деформацій розтягнень, пов'язана з защемленням бучакського піску в тріщинах, що змикаються, підтверджує наявність захисних властивостей підроблених порід;

з) зниження рівня тріщиноутворення в попередньо підробленому масиві пласта C_4'', C_5, C_6^4 на 25-50%;

ж) рівень розвитку зони водопровідних тріщин для раніше підробленого масиву за результатами чисельного моделювання склав для умов Західного Донбасу 9,5-10,5 m , де m - потужність пласта, що виймається;

і) результати натурного експерименту, проведеного при відпрацюванні лави № 802 пласта C_8'' , свідчать, що розкриття водопровідних тріщин на віддаленні 8-9 крат виймаємої потужності недостатньо для руху бучакського піску під дією гідродинамічного напору води.

У 1996р. НДІ гірничих проблем АІН України проведено додаткові дослідження механізму формування водопровідних тріщин і руху водогрунтової суміші (пливуна). Встановлено поступовий характер протікання руйнування водозахисної товщі, наявність фази самогальмування процесу з поділом води і піску. Показано, що при вкрай несприятливих умовах, прорив пливунна можливий для положення бучакського водоносного горизонту ближче 15 метрів від покрівлі пласта C_8'' , тобто менше кратності підробки 12 m .

Таким чином, виявлені резерви водозахисних властивостей підробленої товщі теоретично і експериментально підтверджують можливість ведення безпечного відпрацювання запасів вугілля на ділянці 850 лави під бучакським водоносним горизонтом при зменшенні кратності підробки до 13 *m*.

4.2.3. Рекомендації щодо забезпечення безпечного ведення гірничих робіт в 850 лаві пласта C_8^H .

Відпрацювання запасів вугілля 850 лавою під бучакським водоносним горизонтом в діапазоні кратності від 15*m* до 13*m* ($m=1,65$) в конкретних гірничо-геологічних умовах ділянки шахтного поля блоку № 3 і взаємного розташування гірничих виробок показує, що ведення гірничих робіт буде здійснюватися за відсутності запасу нормативних вимог в частині запобігання прориву пливуну без виконання додаткових заходів захисту.

Тому, в проекті відпрацювання запасів на ділянці 850 лави необхідно передбачити спорудження перемичок на збірному і бортовому штреках лави. Встановити металеві двері-перемички нижче в 70*m* від ГБВГР.

Передбачити ліквідацію можливих аварій до переходу лінії забою лави існуючої границі 15 *m*.

Крім цього, повинні бути виконані наступні заходи і умови:

- а) забезпечити посування очисного забою не менше двох циклів на добу;
- б) потужність пласта, що виймається, не більше 1,65 *m*;
- в) двері-перемички повинні перебувати в справному стані і регулярно перевірятися особами дільничного технічного нагляду та дільниці ВТБ. У разі прориву пливуну двері повинні бути закритими і забезпечувати його зневоднення через фільтраційні пристрої.
- г) не допускати обвалів порід покрівлі в підготовчих виробках.
- д) уточнити контури розливу води р. Самари на земній поверхні.

Для забезпечення безпечного ведення гірничих робіт в 850 лаві під бучакським водоносним горизонтом в числі основних заходів необхідно:

– проведення виїмкових штреків і розрізної печі під пливуну здійснювати за спеціальним проектом, розробленим шахтою;

– в плані ліквідації можливих аварій розробити спеціальний проект з ведення очисних робіт в небезпечній зоні 850 лави до ізогіпс покрівлі пласта C_8^H на глибині 25-20 *m* під пливуну із зазначенням конкретних заходів і відповідальних осіб щодо забезпечення безпечного ведення гірничих робіт на ділянці і шахті. Основними заходами при цьому є регулярний контроль за виконанням робіт за проектом, станом виробок, ознаками появи води в лаві і на штреках;

– буровибухові роботи на кінцевих ділянках лави проводити зменшеною кількістю вибухових речовин з метою запобігання інтенсифікації процесу утворення тріщин і збільшення висоти розвитку зони водопровідних тріщин.

ВИСНОВКИ

Резюмуючи представлені розробки автори прийшли до наступних висновків.

Зміни рівнів ґрунтових вод в межах шахтного поля в процесі підробки очисними виробками визначаються положенням границь області фільтрації і природної (або штучної) дрен, що виражається загасанням руслових потоків при інтенсифікації фільтрації з суміжних площ, а також одночасним збільшенням випаровування за рахунок механічного підйому рівнів на підроблених ділянках.

Просідання підробленої осадової товщі призводить до опускання водотривкого шару і пов'язаного з цим зростання потужності першого від поверхні водоносного горизонту. При зміні величини просідання від 1 до 5 м, перепад напорів на границях просідаючої ділянки змінюється в межах від 0,3 - 0,5 м. Просідання шахтного поля разом з граничним водотоком призводить до рівномірного підвищення рівня ґрунтових вод, що зменшується в напрямку кордону шахтного поля

Зниження рівня ґрунтових вод при осіданні підроблюваного водоупору і пов'язаному з цим збільшенням випаровування, різні для піску і суглинку. У суглинках витрата води на випаровування більше змінює рівень, ніж просадка водоупору. Керуючим фактором у цьому процесі є цілеспрямована зміна меж підробітку на суміжних вугільних пластах.

Точність прогнозних оцінок величин поверхневого стоку на підроблених шахтних полях визначаються відхиленнями від фактичних даних на 3 -12% на основі авторегресії змінного середнього типу. Це дуже важливо для врахування та регулювання балансу підземних і поверхневих вод.

На прикладі найбільш водозбагаченої в Україні шахти ім. М.І. Сташкова показано, що формування інтенсивних водопритоків і спрацювання ресурсів підземних вод обумовлені гідродинамічною взаємодією сучасних русел і палеорусел вуглевмісної товщі, що є основою для мінімізації шахтних водопритоків за допомогою гідрозахисних ціликів. Контури ціликів визначаються на апробованій чисельній моделі.

Перетікання води через вугільний цілик може різко збільшуватися за рахунок вертикального гідророзриву, що веде до швидкого зниження напору і змикання тріщин. Отримані критеріальні співвідношення оцінки стійкості ціликів враховують появу фази нестационарного гідрогеомеханічного стану в системі «цілик - вода». Ця умова є вирішальною при оцінці можливості ведення гірничих робіт в шахті, що межує з затопленою.

Функція напору над гирлом перепускної свердловини залежить від горизонту затоплення суміжної шахти, а також нелінійна щодо коефіцієнта фільтрації затопленого масиву, довжини і діаметру свердловини. Максимально

можлива величина перетікання, яку слід враховувати при плануванні гірничих робіт, визначається величиною напору над свердловиною не більше як 10% від потужності зони затоплення.

При підробці контакту пухких і вуглевміщуючих порід в зоні найбільших розтягувань горизонтальних напружень, деформації знижуються на 20 ... 25% в межах висоти кратної 11 ... 13 виїмковим потужностям вугільного пласта. При кутах залягання пластів до 15° водозахисні властивості товщі, що підробляється, зменшуються при відпрацюванні виїмкових стовпів за повстанням. Ці параметри служать підставою для переміщення границі безпечного ведення гірничих робіт і підвищення повноти виїмки запасів вугілля.

Величина шахтного водопритоку 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, зменшується в два рази через 5-10 років і перестає виконувати дренажну функцію через 15-20 років. Встановити такі трансформації для конкретних гірничо-геологічних умов можливо шляхом вирішення тривалого (15-20 років) часового ряду нестационарних ідентифікаційних задач, що є обов'язковим етапом методики створення моделей шахтних полів і отримання довгострокових прогнозів високої вірогідності.

Гідроекозахист вугільних шахтних полів об'єднує комплекс технологічних заходів, які спрямовані на зниження водопритоків, запобігання втрати стійкості гірничих виробок при фільтраційному впливі на гірські породи, запобігання затопленню виробок, а також заходи водорегулювання в покривних відкладеннях і на поверхні. Фактори, які формують фільтрацію і складають основу гідрозахисту, розрізняються за структурно-геологічними, технологічними і конструктивними ознаками.

Підробка комплексу обводнених відкладень в заплаві річки включає етапи водорегулювання на шахтному полі, які визначаються часом підготовки та відпрацювання кожного з пластів - роботи по першому пласту синхронізуються з горизонтальним дренажем, а наступні шари відпрацьовуються в умовах 10% забезпеченості затоплення мульди зрушення і нівелюванням осушуючої дії як горизонтального, так і вертикального дренажу в межах річного гідрологічного циклу. Це орієнтує завершальний етап відпрацювання на відновну рекультивацію поверхні шахтного поля.

Оцінено ефективність технологічних схем водорегулювання за допомогою чисельного моделювання процесу геофільтрації в природній і порушеній гірничими роботами гідродинамічній обстановці з хронологічним відтворенням всіх етапів відпрацювання шахтного поля і визначенням факторів формування водопритоків.

Реалізація розглянутих технологічних схем водорегулювання дозволяє знизити приток води в шахту від 10 до 38%. При цьому застосовуватися вони можуть як незалежно один від одного на різних етапах експлуатації шахти, так і одночасно.

Представлені в монографії розробки знайшли ефективне застосування в проектуванні, програмах розвитку гірничих робіт, а також реалізовані на ряді шахт Західного Донбасу (ш. ім. М.І. Сташкова, «Тернівська», «Самарська» та ін.).

Автори будуть вдячні за відгуки та зауваження за суттю викладеного матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Ф.А., Шевелёв Г.А. Свойства выбросоопасных песчаников как породы-коллектора. – К.: Наук. думка, 1972. - 98 с.
2. Адамович А.Н. Закрепление грунтов и противофильтрационные завесы в гидроэнергетическом строительстве. - М.: Энергия, 1980. - 320 с.
3. Айвазян С.А. Статистические исследования зависимостей. Применение методов корреляционного и регрессионного анализа при обработке результатов экспериментов. - М.: Металлургия. 1968. - 432 с.
4. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и оптимизации корреляционных связей. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 218 с.
5. Акимов А.Г., К расчету наибольших горизонтальных сдвижений земной поверхности при разработке пологих пластов // Труды ВНИМИ. - Л., 1960. - Вып. 34. - С. 294-304.
6. Акимов А.Г. Общие закономерности деформирования и сдвижения горных пород при разработке глубоких горизонтов // Труды ВНИМИ. - Л., 1960.- Вып. 34. - С. 294-304.
7. А.С. 1645520 (СССР). Способ водоотлива из шахты / И.А. Садовенко, В.И. Тимошук. - Оpubл. в Б. И., 1991. - № 16.
8. А.С. 1717840 (СССР). Способ управления геофильтрационным состоянием горного массива / И.А. Садовенко, В.И. Тимошук, А. А. Матвиенко. - Оpubл. в Б. И., 1992. - № 9.
9. Безазьян А.В., Садовенко И.А., Дудля Н.А. Расчет основных параметров противофильтрационных завес для пластовых горизонтов шахт Западного Донбасса // Шахтное строительство. - 1983. - № 7. - С.12-14.
10. Безазьян А.В., Садовенко И.А., Никитина К.М. Пластовые отдельности и типизация поверхностей ослабления в породах нижнего карбона Западного Донбасса // Уголь. - 1986. - №7. - С. 55-56.
11. Безазьян А.В., Садовенко И.А., Чуудинов С.М. Прогнозирование размывов пластов в Западном Донбассе // Уголь Украины. - 1982. - №8. - С. 37.
12. Безазьян А.В., Костюк К.П., Садовенко И.А. Прогноз прорывов воды в очистные выработки шахт Западного Донбасса // Уголь. - 1980. - №5. - С. 25-26.
13. Безопасная выемка угля под водными объектами /Б.Я. Гвирцман, Н.Н. Кацнельсон. Е.В. Вошенятов и др. - М.: Недра. 1977.-175 с.
14. Биндеман Н.Н. Гидрогеологические расчеты подпора грунтовых вод и фильтрации из водохранилищ. М.: Углетехиздат. - 1951. - 71 с.
15. Блажевич В.А. Практическое руководство по гидравлическому разрыву пласта. - М.: Гостоптехиздат 1961. - 135 с.
16. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов: Пер. с англ.- М.: Мир, 1974. - 406 с.
17. Бондаренко В.И., Садовенко И.А., Пасичный В.Г., Демченко Ю.И. К вопросу о комплексности природоохранных мероприятий при подземной добыче угля. - Дн-ск: Науковий вісник НГАУ, №1, 1998. -С. 15-17.

18. Бондаренко В.И., Пасичный В.Г., Садовенко И.А., Демченко Ю.И. Исследование формирования техногенного режима водных ресурсов при дренаже шахтных полей Западного Донбасса. - Дн-ск: Науковий вісник НГАУ, №3, 1999. -С. 5-8.
19. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. - М.: Недра, 1980. - 360 с.
20. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. - М.: «Наука», 1986. - 544с.
21. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. - М.: Недра, 1982. -270с.
22. Бэр Я., Заславски Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. - М.: Мир, 1971. - 451 с.
23. Василенко Г.Т. Исследование распространения сообщающихся трещин в подрабатываемой толще пород люминисцентным методом с целью установления глубины разработки угольных пластов под пльвунами в Западном Донбассе: Автореф. дис. ... канд.техн. наук.: 05.15.02. - Днепропетровск, 1968. - 17 с.
24. Василенко Г.Т. Определение оптимальных условий безопасного ведения очистных работ под пльвунами // Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса. - Киев: Техніка, 1970. - С. 174-177.
25. Вапник Е.Н., Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. - М.: Наука, 1979. - 654 с.
26. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. - М.: Наука, 1988. - 480 с.
27. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. - К.: Наук, думка, 1989. - 192 с.
28. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях / В.М. Шестопалов. Н.С. Огняник, Н.И. Дробноход и др. - К.: Наук. думка, 1991. - 528 с.
29. Гавич И.К. Гидрогеодинамика. - М.: Недра, 1988. - 347 с.
30. Газизов М.С., Костенко В. И., Скворцов А. Г. Мероприятия по защите от воды очистных забоев шахты "Должанская-Капитальная" ПО "Свердловантрацит" // Добыча угля подземным способом. Научн. - техн. реф. сб. ЦНИЭИуголь. - 1979. - N 11. - с. 17-18.
31. Гвирцман Б.Я., Бошенятов Е.В. Функция изменения проницаемости подработанной толщи и ее эмпирические параметры в Кузнецком бассейне // Труды ВБИМИ. - Л., 1971. - Вып. 83. - С. 28-32.
32. Гвирцман Б.Я., Бошенятов Е.В., Токарева Л.В. Исследование изменения проницаемости подработанной толщи с удалением от выработанного пространства на моделях из эквивалентных материалов // Тр. ВНИЖ - Л.: ВНИМИ. - 1967. - Вып. 67. - С. 185-195.
33. Гвирцман Б.Я., Кацнельсон Е.Е., Стрельский Ф.П. Способ определения высоты зоны водопродящих трещин над выработанным пространством на пластовых месторождениях с выдержанными водоупорами // А. с. N 385046: Бюлл. Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР. - 1973. - N 25. - С. 123-124.

34. Гидрогеологические исследования в горном деле / Под ред. Е.А. Мироненко. - М.: Недра, 1976. - 349 с.
35. Гидрогеологические условия ведения горных работ и борьба с подземными водами на угольных шахтах Западного Донбасса / С.А. Шагоянц, Е.А. Григорович, В.А. Приходько и др. //Труды III геол. совещ. по твердым горючим ископаемым. - М. - 1967. -С. 16-18.
36. Гидроразрыв водоносного песчаника - средство повышения водопритоков в дренажные скважины / Н.Т. Гришко и др. // Уголь Украины. - 1979. - N11. - С. 41-42.
37. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. - Л.: Гидрометеиздат, 1962. - 376 с.
38. Горобец А.Ф., Горобец О.А. Применение в Западном Донбассе гидравлического разрыва при ликвидационном тампонировании скважин // Уголь Украины. - 1978. - N2. - С. 9-10.
39. Загриценко А.Н., Демченко Ю.И., Тишков В.В., Тимошук В.И. Особенности гидрохимического режима подземных вод в зоне влияния затопленной шахты // Наконий Вісник НГУ., Дн-ск., - 2007. №3, - С41 -43.
40. Земисев В.Е. Научное обоснование методов прогноза деформаций горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.: 05.15.01. - Л., 1989. - 38 с.
41. Изучение и прогноз сдвижений и деформаций массивов горных пород, гидрогеомеханических процессов при разработке месторождений подземным и открытым способами: Сб. науч. тр. ВНИМИ, С.-Пб., 1991. - 315 с.
42. Изучение фильтрационных свойств водоносных горизонтов в Западном Донбассе / В.Н. Савицкая, В.Н. Нагорный, Е.М. Ксенда, Ю.Н. Нагорный // Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса - К.: Техніка. - 1973, - С. 38-40.
43. Инструкция по изучению и прогнозированию гидрогеологических условий угольных месторождений при геолгоразведочных работах. – Ростов-на-Дону: ВНИГРИуголь, 1985. – 137 с.
44. Исследование изменения гидрогеологических условий Западного Донбасса в связи с дренированием территории проседания на участках отработки угольных пластов в пойме р. Самары (поле шахты "Самарская"): Отчет о НИР /НИИ геологии ДГУ. - №ГР 81075027. -Днепропетровск, 1982. – 39 с.
45. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. - М.: Недра, 1985. - 248 с.
46. Кайдалов Н.Е., Лабавин В.Г. Деформация слоистого массива с учетом межслоевого трения и пластического течения // Устойчивость и крепление горных выработок. Сб. науч. тр. - Л.: Изд. ЛГИ, 1986. -С.44-46.
47. Караваев В.Я. Условия накопления и прорыва подземных вод в очистные забой шахт Львовско-Волынского бассейна // Уголь Украины. - 1978. - N5. - С. 47-48.

48. Кашковский Г.Н., Сокулина Н.В., Солонко А.А. Изучение формирования водопритоков в угольные шахты Западного Донбасса и их прогноз методом моделирования // Гидрогеологические прогнозы на месторождениях полезных ископаемых. - М.: ВСЕГИНГЕО. - 1980. - Вып. 135. - С. 14-27.
49. Колоколов О.В., Садовенко И.А. Определение зоны водопроницающих трещин над очистными выработками // Известия вузов. Горный журнал. - 1983. - № I. - С.11-14.
50. Кононенко М.В., Лабазкин П. Г. Исследование влияния подработки на фильтрационные свойства массива горных пород в условиях шахты "Западно-Добасская N2" // Труды III науч.-техн. конф. - К. - 1970. - С. 34-38.
51. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1984. - 832 с.
52. Ксенда И. М. Подработка поверхностных водных объектов в Донбассе. -К.: Техника, 1982. - 118 с.
53. Левит В.В. Новые технические решения при строительстве вертикальных стволов и сопряжений в сложных условиях // Материалы отраслевой научно-технической конференции «Прогрессивные решения по креплению и поддержанию горных выработок». - Павлоград, 1996. - С. 44-46.
54. Лисица И.Г., Василенко Г.Т. Определение границ безопасного ведения очистных работ под плывунами // Изв. вузов. Горный журнал. - 1968. - N 12. - С. 29-31.
55. Ломидзе Г.М. Фильтрация в трещиноватых породах.- М.-Л: Госэнергоиздат, 1951. - 127 с.
56. Лукнер Л., Шестаков Е.М. Моделирование геофильтрации. – М.: Недра. 1976. - 404 с.
57. Мартюшев В.С., Халимендик Ю.М., Шмиголь А.В. Формирование зон потери устойчивости массива // Уголь Украины. - 1991. - N 5. - С. 17-20.
58. Методика определения аварийной и технологической брони предприятий угольной промышленности // Минуглепром СССР. .- М.: 1989. - С.81-92.
59. Методические рекомендации по инженерно-геологическому изучению глубоких горизонтов месторождений твердых полезных ископаемых при разведке / В.В. Фромм, К. - А.К. Вайтекунас, А.А. Дончук, А.А. Яланский. –М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. - 38 с.
60. Методические рекомендации по моделированию на ЭВМ фильтрации подземных вод в слоистых толпах / В.М. Лившиц, Е.А. Белокопытова, В. С. Давыдова, Б.А. Ревенко. - Днепропетровск: ДО ИМР. 1987. - 115 с.
61. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. - М.: Недра, 1974. - 296 с.
62. Мироненко В.А., Румынин В.Г., Учаев В.К. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах. - Л.: Недра, 1980. - 320 с.
63. Момчилов В.С. Защита шахт от подземных вод. - М.: Недра. 1989. – 190 с.

64. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др. / Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985.- 608 с.
65. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полезных ископаемых). – Л.: Недра. 1988. – 261 с.
66. Овчаренко Б.П. Механизм трещинообразования в кровле угольных пластов. - Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1983. - 172 с.
67. О прогнозе притоков воды в горизонтальные выработки шахт Западного Донбасса / Савицкая В.Н., Нагорный В.Н., Ксенда И.М., Нагорный Ю.Н. // Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса - К.: Техніка - 1973. - С. 40-43.
68. Опыт оценки и использования дренажно-разгрузочных функций выработок / Е.А. Немцов, А.Г. Марченко, И.А. Садовенко, В.И. Тимощук // Уголь Украины. -1991. - №5. -С. 11-13.
69. Оценка и прогноз водопотоков в выработки шахт Западного Донбасса / П.В. Блинов, Е.А. Яковлев, З.Г. Борщ, М.А. Шинкаревский // Уголь Украины. - 1979. - №1. - С. 38-39.
70. Павлова Н.Н. Трещиноватость и разрушение горных пород. - М.: Наука, 1970.-96с.
71. Пасичный В.Г., Садовенко И.А., Демченко Ю.И. // К вопросу о расчете водоохранных целиков угля при отработке гидродинамически открытых шахтопластов. Горный информационно-аналитический бюллетень №3, М., 1999., - С73 -74.
72. Петриченко П.Н. Динамика твёрдой и жидкой фаз разрабатываемой угле-вмещающей толщи как основа сглаживания техногенных аномалий. - Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Д.: НГУ, 2004. - 133 с.
73. Плотников Н.И., Рогинец И.И. Гидрогеология рудных месторождений. - М.: Недра, 1987. - 287 с.
74. Природоохранные и гидрогеомеханические аспекты оценки и использования водозащитных свойств горных пород / Садовенко И.А., Антропцев А.М., Антонов Ю.И., Тимощук В.И. // Известия Днепропетровского горного института: Сб. науч. тр. - М.: Недра, 1990. - С. 126-131.
75. Проблема подработки пойм рек в Западном Донбассе / И.Г.Лившиц, Г.Т. Василенко, А.И. Воронкин и др. // Уголь Украины. - 1974. - N3. - С. 8-10.
76. Прогнозирование водопроводимости углей Западного Донбасса по их литологическому типу и физико-механическим свойствам / Д.А. Терешкин, А.В. Безазьян, Е.А. Яковлев, И.А. Мушенко // Геологический журнал. - 1973. - N6. - С. 116-118.
77. Режим водопритоков в горные выработки угольных шахт Западного Донбасса / С.А. Шагоянц, В.А. Григорович, В.А. Приходько и др. // Уголь Украины. - 1968. - N2. - С. 42-43.
78. Результаты изучения прочностных и деформационных свойств горных пород Западного Донбасса / В.Т. Глушко, Б.М. Усаченко, Г.Г. Кирничанский и др. - К: Наук. думка. 1969. - 44 с. ун-та, 1972. - 19 с.

79. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1984.-360с.
80. Роом Е.С.Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1966. - 284 с.
81. Руководство по расчетам фильтрационной прочности плотин из грунтовых материалов. - Л.: ВНИИГ, 1976. - 80 с.
82. Садовенко И. А. Научные основы управления геофильтрационным состоянием породного массива вокруг горных выработок: Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.15.04 и 05.15.11. -Днепропетровск, 1992. - 34с.
83. Садовенко И.А. Исследование проявлений горного давления с помощью гидрогеологических измерений в лавах // Реф. журнал. Горное дело. - 1982. - № 3, 10Б – С12.
84. Садовенко И.А. Влияние факторов горного давления на фильтрацию подземных вод в шахтный ствол // Шахтное строительство. 1988. - № 6. - С.25-27.
85. Садовенко И.А. Взвешивающее разгружение крепи шахтных стволов в устойчивых водоносных породах // Известия вузов. Горный журнал. - 1989. - № 4. - С.33-37.
86. Садовенко И.А. Синтезирование численных моделей при решении задач управления геофильтрационным состоянием горного массива // Известия вузов. Горный журнал. - 1991. - № 12. - С.19 –22.
87. Садовенко И.А. Расчетный метод определения раскрытости трещин расслоения в экспериментальных скважинах // Известия вузов. Горный журнал. - 1991. - № 8. - С.16-19.
88. Садовенко И.А. Эмпириоаналитическая оценка формирования водопроницаемой зоны над выработками // Известия вузов. Горный журнал. - 1991. - № 9. - С.34-38.
89. Садовенко И.А., Гичко В.А., Харитонов К.С. Подготовка выемочных столбов при подработке водоносных горизонтов // Добыча угля подземным способом / Сб. ЦНИЭИуголь. - 1982. - № 5. - С. 14-15.
90. Садовенко И.А., Тимошук В.И. Исследование геофильтрационного состояния подрабатываемого горного массива на геомеханических моделях // Известия вузов. Геология и разведка. -1991. - № 2. - С.92-97.
91. Садовенко И.А., Приходько В.А., Листопадов А.Н. Исследование геофильтрации над очистной выработкой // Изучение и прогноз сдвижений и деформаций массивов горных пород, гидрогеомеханических процессов при разработке месторождений подземным и открытым способом: Сб. науч. тр. ВНИМИ. - С.Петербург, 1991. - С.244-247.
92. Садовенко И.А., Чуб В.В. Достоверность критериев безопасной отработки угольных пластов под пльвунами // Безопасность труда в промышленности. - 1992. - №3. - С.44-45.
93. Садовенко И.А., Тимошук В.И., Матвиенко А.А. Исследование возможности технологического применения гидроразрыва горных пород для водозащиты горных выработок // Тез. докл. Всесоюз. науч. - техн. конф. , г. Кривой Рог, 26-28 марта 1991г. -Кривой Рог, 1991. - С. 85-86.

94. Садовенко И.А., Тимощук В.И., Демченко Ю.И., Пасичный В.Г. Влияние физико-механических свойств пльвунов и разделяющей толщи на безопасность ведения горных работ. Сборник научных трудов НГАУ, №3, том 3, Дн-ск, 1998. С. 28-34.
95. Садовенко И.А., Тимощук В.И., Демченко Ю.И. Роль палеорусел продуктивной толщи в формировании водопритоков шахт Западного Донбасса и техногенного режима гидросферы. Сборник научных трудов НГАУ, №1, Дн-ск, 1998., С. 202-204.
96. Садовенко И.А., Демченко Ю.И., Пасичный В.Г. Учет физико-механических свойств пльвунов при оценке безопасности ведения горных работ. Горный информационно-аналитический бюллетень №3, Москва, 1999., С. 73-74.
97. Садовенко И.А., Демченко Ю.И., Улицкий О.А. // Оценка геомеханической устойчивости междушахтных целиков. Сборник научных трудов НГУ №17, том 1, Дн-ск., - 2003. С. 40-43.
98. Садовенко И.А., Тимощук В.И., Демченко Ю.И., Тишков В.В. // Управление гидродинамическим режимом подземных вод на подработанных горными работами участках шахтного поля. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки», Дн-ск, -2007., С. 197-200
99. Садовенко И.А., Загриценко А.Н., Подвигина Е.О., Тимощук В.И. Обоснование параметров безопасного пересечения горными выработками крупноамплитудного тектонического нарушения // Уголь Украины, №3, 2017. – С. 17-24.
100. Савицкая В.Н. Изменение водоносности пород на шахтах Красноармейского района // Уголь Украины. - 1975. - N5. - С. 51-52.
101. Скворцов А.Г. Влияние направления отработки выемочного столба на величину водопритока и условия работы механизированного комплекса // Добыча угля подземным способом. Научн.-техн. реф. сб. ЦНИЭИуголь. - 1977. - N 10. - С. 12-14.
102. Скворцов А.Г. Водоприток из подрабатываемого водоносного горизонта со стороны перемещающегося по падению контура стока // Технология добычи угля подземным способом. Научн.-техн. реф. сб. ЦНИЭИуголь. - 1976. - N 12 - С. 7-8.
103. Слащева Е.А. К методике учета гидрогеологических факторов при решении геомеханических задач устойчивости породного массива // Геотехническая механика. - Днепрпетровск: ИГТМ НАНУ, 1997. - № 3. - С. 167-170.
104. Справочник по гидротехнике. - М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1955. - 828 с.
105. Справочник по осушению горных пород / Под ред. И.К. Станченко. - М.: Недра, 1984. - 572 с.
106. Справочное руководство гидрогеолога / Под ред. Е.М. Максимова. - Л.: Недра, 1979. - 512 с.

107. Стрельский Ф.П. К вопросу об оценке водопроницаемости пород подработанной угленосной толщи (на примере Кузбасса) // Изв. вузов. Геология и разведка. - 1970. - № 9. - С. 116-123.
108. Техногенное воздействие на подземную гидросферу и проблемы ее охраны / Антропцев А.М., Антонов Ю.И., Приходько В.А. и др. // Известия Днепропетровского горного института: Сб. науч. тр. - М.: Недра, 1990. - С. 119-126.
109. Троицкий В.С., Земисев В.Е. К вопросу определения границы зоны сжатия в слоистом массиве с целью выбора оптимальных размеров целиков под водные объекты // Труды ВНИМИ. - Л., 1970. - Вып. 78. - С. 302-312.
110. Улучшение использования средств механизации на угольных шахтах / Под редакцией О.В. Колоколова. - Киев: Техника. - 1986. - С.5-25.
111. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. - Киев: Наук. думка, 1979. - 135 с.
112. Хохлов И. В. Безопасная разработка месторождений полезных ископаемых под водоемами. - М.: Недра, 1971. - 264 с.
113. Хохлов И.В. Сдвигение и проницаемость отработанной толщи горных пород. - М.: Недра, 1980. - 176 с.
114. Чернышев С.Н. Движение воды по сетям трещин. - М.: Недра, 1979. - 141 с.
115. Фармер Я. Выработки угольных шахт: Пер. с англ. - М.: Недра, 1990. - 269с.
116. Экспериментальные исследования защитных свойств подрабатываемых горных пород в Западном Донбассе / Садовенко И.А., Антонов Ю.И., Тимощук В.И., Матвиенко А.А. //Известия вузов. Горный журнал. - 1990. - № 2. - С.3-6.
117. Якоби О. Практика управления горным давлением: Пер. с нем. - М.: Недра, 1987.-566с.
118. Яковлев Е.А., Заезжев Н.М., Бондарец К.Л. Эффективность создания противодиффузионной завесы на шахте "Степная"// Уголь Украины. - 1975. - №8. - С. 47-48.
119. Яковлев Е.А. Методика прогнозирования водопритоков в шахты // Разведка и охрана недр. - 1979. - №4. - С. 44-48.
120. Banerjee P.K., Dargush Gary F. Progress in BEM applications in geomechanics via examples // Numer. Meth. Geomech.: Proc. 6th Int. Conf., Innsbruck, 11-15 Apr., 1988. Vol. 1. - Rotterdam; Brookfield, 1988. - P. 13-22.
121. Kirby S.H. Introduction and digest to the special issue on chemical effects of water on the deformation and strengths of rocks. - J. Geophys. Res., 1984, V. 89. № 6.-p. 3991-3995.
122. Graig Richard G. Geophysical problems in nuclear waste disposal. Geophys., 1989, № 1.-P. 20-23.
123. Kiipp K.L. Guide to the Revised Heat and Solute Transport Simulation: HST3D-Version 2. Denver: CO: USGS, 1997. Water-Resources Investigation Rep.97-4157. 149 p.

124. Langer M. Engineering geological evaluation of geological barrier rocks at landfills and repositories // *Env. Geol.* 1998. Vol. 35. № 1. P. 19-27.
125. Lundkvist A. The weathering of waste rock from the Kirunavaara magnetite mine // *Proceedings Swemp'96*. Ed. R. Ciccu. P. 827-834.
126. 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>

Наукове видання

Загриценко Аліна Миколаївна

Демченко Юрій Іванович

Соцков Вадим Олександрович

Мамайкін Олександр Рюрікович

ГІДРОЕКОЗАХИСТ ВУГІЛЬНИХ ШАХТНИХ ПОЛІВ

За редакцією проф. І.О. Садовенка

Монографія

Підписано до друку 15.07.2018. Формат 30х42/4.

Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 8,1.

Обл.-вид.арк. 8,1. Тираж 100 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано
у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.