

УДК 622.272.5.6

© Ю.І. Демченко, В.О. Соцков, В.І. Сулаєв, С.В. Михайлик

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ПРОЦЕСИ ФІЛЬТРАЦІЇ В ЗОНАХ ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧИМИ ВИРОБКАМИ

© Yu. Demchenko, V. Sotskov, V. Sulayev, S. Mykhailyk

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE FILTRATION PROCESSES IN THE ZONES DISTURBED BY MINING WORKINGS

**Мета.** Провести аналіз природних і технологічних чинників, які мають безпосередньо негативний вплив на процеси фільтрації в техногенно порушених зонах в ході ведення очисних і підготовчих робіт. Дослідити гірничо-геологічні та гідродинамічні особливості гірського масиву ділянки шахтного поля. Простежити зв'язок технологічних і природних факторів геофільтрації у формуванні загального гідродинамічного фону шахтних полів.

**Методика дослідження.** Виконано узагальнення отриманих залежностей на основі якісного аналізу факторів, що впливають на загасання водопритоків. Проведено статистичний аналіз факторів, що формують водопрояви в очисних виробках, який показав, що система «водоносні породи - міжпластя - механізоване кріплення» взаємообумовлена.

**Результати дослідження.** Проаналізовано зв'язок гідродинамічних процесів формування водопритоків на ділянці ведення очисних робіт і геомеханічних факторів, що обумовлюють водопрояви в очисних виробках при підробці водоносних горизонтів. Оцінено наявність залежності величин водопритоків, виміряних в основних підготовчих виробках з частотою і питомою частотою проривів води в лави з підроблюваного водоносного горизонту. Оцінка гірничо-геологічних умов показала, що основними елементами, які визначали процес стабілізації водопритоків, повинні бути кольматація і злежування гірських порід, порушених шарів, а також виснаження статичних запасів підземних вод кам'яновугільних відкладень.

**Наукова новизна.** Встановлено, що гідродинамічна схема водопритоків в гірничі виробки на ділянці виїмкових робіт не залежить від умов формування водопроводів в лавах, тобто останніми можна управляти не погіршуючи загального гідродинамічного фону.

**Практичне значення.** В ході натурних спостережень встановлена залежність схеми водоприпливів від умов формування водопроводів в лавах. Зроблено уточнення і вдосконалення науково-методичної основи, яка об'єднує комплекс гідрозахисних технологічних заходів, необхідних для розвитку підземного вуглевидобутку.

**Ключові слова:** геофільтраційні процеси, гірничі виробки, водоприток, гідродинамічний стан

**Вступ.** Більшість діючих вугільних шахт в Україні розробляють родовища в складних гідрогеологічних умовах - Західний Донбас, Львівсько-Волинський басейн, східна частина Донбасу. Закриття шахт Центрального району Донбасу в Донецькому басейні призвело до того, що цей район слід віднести до найбільш складних по гідрогеологічним факторам у зв'язку із затопленням шахт, що закриваються. Зафіксовані ускладнення і аварії в гірничих виробках, обумовлені водопроявами, за 2016 рік склали понад 60 випадків. В останні роки в гірничій справі вживається поняття гідробезпека гірських робіт. Вельми істотно, що водоприпливи в

шахти і особливо випадки водопроявів з аномально великими водопритоками (до  $200 \text{ м}^3/\text{рік}$  в окремі виробки) обумовлені гамою природно-технологічних умов, що визначають поєднання технічних і екологічних аспектів вуглевидобутку.

До теперішнього часу потрібне уточнення і вдосконалення науково-методичної основи, яка об'єднує комплекс гідрозахисних технологічних заходів, необхідних для розвитку підземного вуглевидобутку сьогодення.

**Постановка задачі.** Специфіка і різноманітність гірничо-геологічних умов, а також характер взаємодії гірських виробок з вміщувачими породами обумовлює кількісне різноманіття геофільтраційних процесів навколо виробок.

Наведемо деякі кількісні оцінки значущості цих факторів на геофільтраційний стан гірського масиву.

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

Імовірність водопроявів з водопритоками ускладнюючі гірничі роботи (понад  $20 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ) згідно з [1] зменшується в 30 раз по мірі поглиблення гірничих робіт в інтервалі 100 - 500 м. При цьому зберігається пропорція в розподілі водопритоків в очисні, підготовчі виробки і шахтні стовбури відповідно в такій пропорції 60 - 64%, 32 - 40%, 1 - 4%.

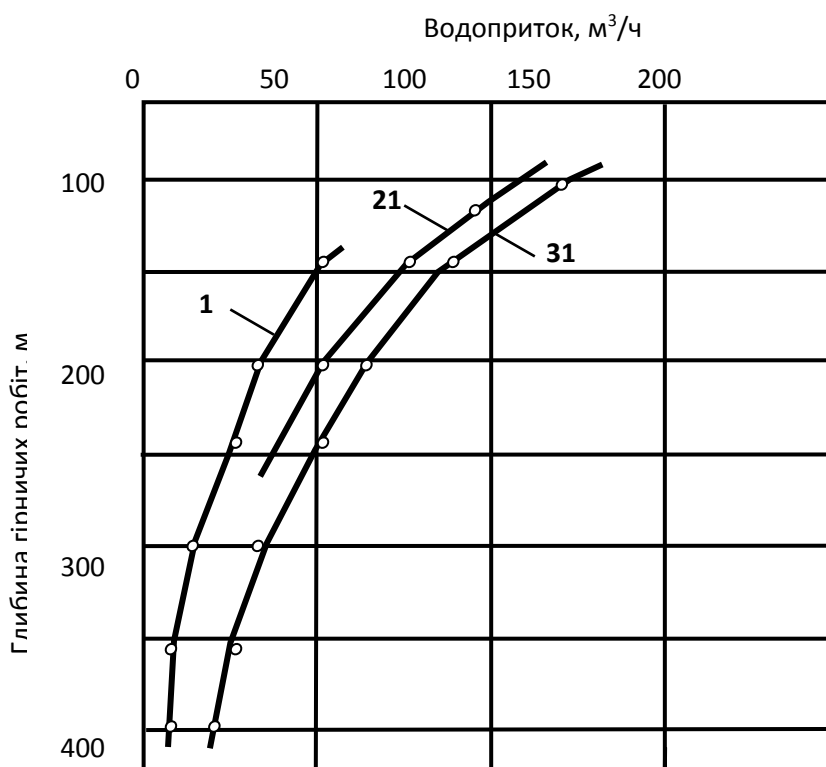


Рис. Зміна середніх водопритоків при проривах води в гірничі виробки: 1, 2, 3 - відповідно центральна і південна група шахт Красноармійського району Донбасу (по В.Н. Савицької).

Домінуючими чинниками у формуванні водопритоків є літологія гірських порід і ступінь тектонічної порушеності шахтних полів. На рис. 1 наведені відомості, що характеризують закономірну зміну 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 діючих шахт Західного Донбасу продуктивна товща нижнього карбону перекрита водоносними відкладеннями кайнозою і мезозою. В них виділяється більше десяти водоносних горизонтів та комплексів, з яких вода потрапляє в шахти.

Максимальна кількість води в гірничій виробки надходить по вугільних пластах і пісковиках, що мають вихід під бучакські, тріасові і юрські відкладення, які володіють значними запасами підземних вод. Шахтні водопритоки формуються також за рахунок статичних запасів вод, відповідно до вугільних пластів і піщаників, які не мають виходу під водоносний комплекс покровних відкладень.

Запропоновано кореляційні залежності, що відображають кількісний зв'язок водопритоків з площею гірничих робіт, продуктивністю річного видобутку вугілля, співвідношенням фронту гірничих робіт по повстанню і падінню 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 є важким.

За фактичними даними добре простежується, що найбільші значення притоків збігаються з максимумом розвитку гірничих робіт уздовж верхньої межі шахтного поля, причому, ці величини добре корелюють з розмірами виїмкових полів і інтенсивністю відпрацювання пластів відповідно до емпіричних формул, наведених в роботі [2].

Кореляційний аналіз показав, що водопритоки закономірно знижуються по гіперболічній залежності

$$Q = 2196 \frac{b_1}{T_{II}} + C_1; \quad (1)$$

де  $Q$  – водоприток, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{II}$  – оцінюваний період часу після досягнення максимального припливу, ч;  $b_1$  и  $C_1$  - параметри регресії.

Дисперсія значень при рівні довірчої ймовірності 0,95 фіксує відхилення фактичних даних від кривої регресії не більше 13,2% (табл.).

Узагальнення отриманих формул здійснено на основі якісного аналізу факторів, що впливають на загасання водопритоків. Оцінка гірничо-геологічних умов показує, що основними елементами, які визначали процес стабілізації водопритоків, повинні бути кольматація і злежування гірських порід, порушених шарів, а також виснаження статичних запасів підземних вод кам'яновугільних

відкладень. Останнє підтверджується зниженням мінералізації шахтних вод і її вирівнюванням з мінералізацією бучакського водоносного горизонту на досліджених ділянках шахтних полів.

Інтенсивність протікання процесів, що розглядаються, мабуть, повинна стійко реагувати на величину, що сумарно відображає гідравлічний зв'язок карбону і мезокайнозоя. Чисельно показник інтенсивності загасання може мати вигляд деякого параметра з розмірністю обсягу, що відображає інтегральну суму втрат від зниження швидкості притоків в оцінюваний проміжок часу.

Таблиця

## Результати регресійного аналізу загасання водопритоків

Показники регресійного аналізу	Найменування шахт, індекси пластів					
	бремсбергове поле шахти «Самарська»		бремсбергове поле шахти «Ювілейна»		бремсбергове поле шахти «Степова»	
	$C_5$	$C^2_4$	$C_6$	$C'_6$	$C_5$	$C_6$
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

Параметр  $b_1$  (коефіцієнт регресії в рівнянні, наведений в таблиці) має розмірність об'єму і стійко пов'язаний з максимальною величиною припливу по ділянці шахтного поля, за яким спостерігали. Очевидно, що  $b_1$  відображає граничну величину гідравлічного зв'язку карбону і мезокайнозоею. Параметр  $C_1$  (вільний член в рівнянні регресії) має розмірність притоку і є незмінною величиною його інтенсивності. Доречно зазначити, що  $C_1 = f(Q)$  логарифмічно прирівнюється, що досить характерно для гідродинамічних залежностей зв'язку напорів і приток (в даному випадку  $Q$  може розглядатися деяким непрямим аналогом напору).

Статистичний аналіз факторів, що формують водопрояви в очисних виробках, показує, що система «водоносні породи - міжпластя - механізоване кріплення» взаємообумовлена. Характерно, що розподіл ускладнень в лавах у вигляді вивалів і затиснень секцій кріплення багато в чому обумовлюється потужністю міжпластя відносно водоносних порід. Так само можливе настання обох подій відповідає потужності водотривких порід, гравітаційну вагу яких можна порівняти з опором кріплення. При близькому положенні важкої покрівлі (піс-

ковик) в більшій мірі проявляються її навантажувальні властивості в поєднанні з зменшенням розмокаємої безпосередньої покрівлі.

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

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

Шляхи дренажу та збору води викликаються якісно різними, але взаємообумовленими процесами зрушення гірських порід і напружено-деформованого стану навколо очисної виробки. Наприклад, вважається, що зона водопровідних тріщин на кордоні підтримуваного і обваленого простору є мобільною і постійно прагне наблизитися до привибійної частини лави [3]. Хоча твердження гіпотетичне, воно не суперечить пробірованим 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 відмінними на порядок виймаємою потужністю пласта і конвергенцією покрівлі [4] в підтримуваному просторі.

Припускаючи, що гідродинамічний зв'язок гірничих виробок, в тому числі і зони погашеного простору, з підробляючими водоносними породами існує незалежно від геомеханічних умов тріщиноутворення навколо очисної виробки, можна розвинути висновки авторів роботи [5-8] про керованість водопритоком, як складним гірничо-геологічним процесом.

Оцінімо наявність залежності величин водопритоків, вимірних в основних підготовчих виробках з частотою і питомою частотою проривів води в лави з підроблюваного водоносного горизонту. Величина водотоку 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, що припадають на одиницю площі гірських робіт.

Сенс відшукання зазначеної залежності полягає в поділі пайової участі водопритоків в лави в загальному водопритоці, що формується на ділянці виїмкових робіт, що включає і погашені площі.

Слід відразу пояснити правомірне заперечення з приводу неадекватності порівняних величин питомої частоти проривів та абсолютних значень водопритоків, вимірних в водозбірних виробках. І та і інша величини залежать від приросту площі очисних робіт, однак функція зв'язку водопритоку з площею очисних робіт на кілька порядків слабкіше. Як приклад, розглянемо шахту "Дніпровська" ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля". Фактичні дані про водопрояви в лавах тут найбільш представницькі, однак експлуатаційні ускладнення через

прориви води не настільки значні. Останнє важливо, тому що дозволяє відсіяти вплив кольматації тріщин в заваленій зоні за рахунок ущільнення завалених гірських порід і за рахунок нерівномірності процесу ущільнення, наприклад, викликане простоями лав, коли завалені породи злежуються, а приросту знову заваленої площі немає.

Спостереженнями охоплено чотирирічний період при відпрацюванні пласта  $C_{10}^6$  на горизонті 265 м. Безпосередня покрівля 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 ґрунті пласта залягають алевроліти міцністю 2,5. Алевроліти порівняно стійкі по відношенню до втрати міцності в воді і, що особливо важливо, не набувають липкості при зволоженні, яка ускладнює експлуатацію механізованого кріплення за рахунок перекосів. Ці обставини сприяли відносно стійкій роботі видобувних дільниць шахти "Дніпровська" в умовах частих водопроявів в лавах.

Уклонне поле горизонт 265 м підготовлено на західному і східному крилі для відпрацювання прямим ходом. Система розробки - довгі стовпи з посуванням лав по повстанню. Довжина стовпів 1300-2000 м, довжина лав 220-280 м.

Збір і відведення води очисними виробками, здійснюється за допомогою дренажного штреку.

Водовміщуючою породою є основна покрівля - пісковик. Його фільтраційні характеристики невисокі і складають соті частки метрів на добу. Добре виражений міцний розділ основної і безпосередньої покрівель приводив до помітних аномальних навантажень в породному масиві в періоди посадок основної покрівлі. Утворені тріщини розпушували водовміщуючий піщаник і створювали штучні дренажні зони, які формували водоприток до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Відомості про величину водопритоків і зафіксованих водопроявів документувалися на планах гірничих робіт. У розрахунок прийняті дані вимірів водопритоків по західному і східному дренажним штрекам і відповідні їм 187 зафіксованих випадків водопроявів в лавах. Дані згруповані в 5 представницьких вибірок по панелям. При знаходженні функціонального зв'язку, факторіальною ознакою приймалися величини частоти та питомої частоти водопроявів в лавах, результативним - значення водопритоків. Випробувана лінійна, параболічна, ступенева і поліноміальна залежності. Жоден з видів цих функцій не дав наближення з коефіцієнтом кореляції більше 0,3.

Здійснена перевірка вибірок за критеріями Фішера і Стьюдента, також підтверджує відсутність кількісного зв'язку між ознаками.

*Робота виконана в рамках наукової тематики ГП-497 «Ресурсозберігаюча геотехнологічна і гідродинамічна параметризація видобутку малопотужних запасів мінеральної сировини в техногенно-навантаженому середовищі», яка фінансується за рахунок державного бюджету України.*

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

#### **Перелік посилань**

1. Sotskov V.O., Demchenko Yu. I., Salli S.V. & Dereviahina N.I. (2017). Optimization of parameters of overworked mining gallery support while carrying out long-wall face workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 34 - 40.
2. Fomichov V., Sotskov V., Pochevov V. & Mamaikin O. (2018). Formation of a calculation model determining optimal rate of stoping face movement with a large deformation of a rock massif. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(7), 2381-2389.
3. Sotskov V., Podvyhina O., Dereviahina N. & Malashkevych D. (2018). Substantiating the criteria for applying selective excavation of coal deposits in the Western Donbass. *Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography*, 26(1), 158-164.
4. Fomychov V. & Sotskov V. (2018). Determination of parameters of non-uniform fractured rock massif in computing experiment. *Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography*, 26(1), 26-32.
5. Bondarenko V., Hardygora M., Symanovych H., Sotskov V., & Snihur V. (2016). Numerical methods of geomechanics tasks solution during coal deposits' development. *Mining of mineral deposits*, 10(3), 1-12.
6. Fomichov, V., Sotskov, V. & Malykhin, A. (2014). Determination and analysis of the acceptable benchmark changes of the stress strain state of frame and bolt fastening elements of dismantling drift when approaching a working face. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 22-26.
7. Sotskov, V. & Saleev, I. (2013). Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking. *Annual Scientific-Technical Colletion - Mining of Mineral Deposits*, 197-202.
8. Malashkevych, D., Sotskov V., Medyanyk V. & Prykhodchenko D. (2018). Integrated Evaluation of the Worked-Out Area Partial Backfill Effect of Stress-Strain State of Coal-Bearing Rock Mass. *Solid State Phenomena*, (277), 213-220.

#### **АННОТАЦІЯ**

**Цель.** Провести анализ природных и технологических факторов, которые негативно влияют на процессы фильтрации в техногенно нарушенных зонах в ходе ведения очистных и подготовительных работ. Исследовать горно-геологические и гидродинамические особенности горного массива участка шахтного поля. Проследить связь технологических и природных факторов геофильтрации в формировании общего гидродинамического фона шахтных полей.

**Методика исследования.** Выполнено обобщение полученных зависимостей на основе качественного анализа факторов, влияющих на затухание водопритоків. Проведен статистический анализ факторов, формирующих водопроявления в очистных выработках, который показал, что система «водоносные породы - междупластье - механизированная крепь» взаимобусловлена.

**Результаты исследования.** Проанализирована связь гидродинамических процессов формирования водопритоків на участке ведения очистных работ и геомеханических факторов, обуславливающих водопроявления в очистных выработках при подработке водоносных горизонтов. Оценено наличие зависимости величин водопритоків, измеренных в основных подготовительных выработках с частотой и удельной частотой прорывов воды в лавы с подработанного водоносного горизонта. Оценка горно-геологических условий показала, что основ-

ными элементами, определяющими процесс стабилизации водопритоков, должны быть кольматация и слеживание горных пород, нарушенных слоев, а также истощение статических запасов подземных вод каменноугольных отложений.

**Научная новизна.** Установлено, что гидродинамическая схема водопритоков в горные выработки на участке выемочных работ не зависит от условий формирования водопроявлений в лавах, то есть последними можно управлять не ухудшая общего гидродинамического фона.

**Практическое значение.** В ходе натурных наблюдений установлена зависимость схемы водоприпливов от условий формирования водопроявлений в лавах. Произведено уточнение и совершенствование научно-методической основы, которая объединяет комплекс гидрозащитных технологических мероприятий, необходимых для развития подземной угледобычи.

**Ключевые слова:** *геофильтрационные процессы, горные выработки, водоприток, гидродинамическое состояние*

### ABSTRACT

**Purpose.** To conduct analysis of natural and technological factors that have a direct negative influence on filtration processes in technogenically disturbed zones during the process of excavation and preparatory work. Explore mining-geological and hydrodynamic features of the rock mass of the mine field. To trace the connection between technological and natural factors of geophyltration in the formation of the general hydrodynamic background of mine fields.

**Research methodology.** The generalization of the obtained dependences on the basis of qualitative analysis of the factors influencing the attenuation of water intakes is made. The statistical analysis of the factors forming the water manifestation in the treatment workings has been carried out, which has shown that the system "aquifers - interlayers - mechanized fasteners" is interdependent.

**Research results.** The connection of hydrodynamic processes of formation of water leakage at the site of treatment works and geomechanical factors, which determine the water manifestation in the treatment of forging aquifers, is analyzed. The existence of the dependence of the quantities of water intakes, measured in the main preparatory workings with frequency and specific frequency of water breaks in the lava from the fake aquifer, was estimated. The evaluation of mining and geological conditions has shown that the main elements that determined the process of stabilizing water intakes should be the colmatation and bedding of rocks, broken layers, as well as the depletion of static reserves of underground carbonaceous deposits.

**Scientific novelty.** It was established that the hydrodynamic scheme of water intakes in mining operations at the site of excavation works does not depend on the conditions of formation of water manifestations in lava, that is, the latter can be controlled without compromising the general hydrodynamic background.

**Practical value.** In the course of field observations, the dependence of the water intake scheme on the conditions for the formation of water in the lava is established. The refinement and improvement of the scientific and methodological basis, which combines the complex of hydroprotective technological measures necessary for the development of underground coal mining, was made.

**Keywords:** *geophyltration processes, mining operations, water intake, hydrodynamic state*