

© Д.В. Рудаков<sup>1</sup>, І.О. Садовенко<sup>1</sup>, О.В. Інкін<sup>1</sup>, Н.І. Дерев'ягіна<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОБЕЗПЕЧНОГО РІВНЯ ВОД ШАХТИ №2 «НОВОГРОДІВСЬКА» ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ ВІД ПІДТОПЛЕННЯ

© D. Rudakov<sup>1</sup>, I. Sadovenko<sup>1</sup>, O. Inkin<sup>1</sup>, N. Dereviachina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## JUSTIFICATION OF ENVIRONMENTALLY SAFE WATER LEVEL IN “NOVOHRODIVSKA 2” MINE FOR PROTECTING ADJACENT AREAS FROM FLOODING

**Мета.** Прогнозне обґрунтування змін гідродинамічних умов шахти № 2 «Новгородівська» в період її закриття та роботи геотермальних систем з визначенням необхідної потужності водовідливних установок, здатних попередити підтоплення на прилеглих до шахти територіях.

**Методика.** Загальний шахтний водоприток розраховано за допомогою аналітичних співвідношень геофільтрації та емпіричних залежностей з урахуванням швидкості підйому рівня шахтних вод на попередніх стадіях затоплення та гідродинамічного зв'язку з гірничими виробками сусідніх шахт ім. Д.С. Коротченка та № 1-3 «Новгородівська», а також об'єму виробленого простору та наявних геолого-структурних тектонічних порушень.

**Результати.** Розрахований за різними підходами загальний водоприток до шахти № 2 «Новгородівська» знаходиться у діапазоні 2000 – 2200 м<sup>3</sup>/добу та може коливатися залежно від перетікання з сусідніх шахт, інфільтрації атмосферних опадів в діапазоні 30 – 50 мм/рік і притоку з верхнього водоносного горизонту. Для підтримання гідродинамічно та екологічно безпечного рівня +185 м в період закриття шахти та роботи геотермальних систем цей водоприток має повністю відбиратися водовідливними установками та скидатися до гідрографічної мережі за межами зони водозбору на території шахтного поля.

**Наукова новизна.** Запропонований в роботі новий комплексний підхід до визначення загального водопритоку в процесі закриття шахти дозволяє обґрунтовано врахувати гідродинамічні умови на її території, геолого-гідрогеологічну будову та вплив різних природно-техногенних факторів.

**Практична значимість.** Отримані в ході розрахунків дані про величини водопритоку до шахти № 2 «Новгородівська» використані для визначення необхідної потужності водовідливних установок, що дозволить попередити підтоплення та запобігти прояву несприятливих фізико-геологічних явищ на прилеглих до шахти територіях. Крім того, розраховані величини водопритоку передбачається застосовувати при визначенні технологічних і техніко-економічних показників геотермальних систем.

**Ключові слова:** затоплена шахта, водоприток, шахтні води, безпечний рівень, підтоплення.

**Вступ.** Одним з кардинальних напрямів реструктуризації вугільної галузі України та відновлення природного режиму у вугледобувних регіонах є закриття відпрацьованих та нерентабельних шахт [1, 2]. Завдяки цьому велика кількість невеликих шахтарських міст, на тлі зростаючих цін на природні енергоносії, стали відчувати гостру нестачу в тепловій енергії. Разом з тим, світовий науково-практичний

досвід (зокрема, у Німеччині, США, Великобританії) показує приклади рентабельного використання теплового ресурсу закритих шахт для обігріву будівель різного призначення [3-6]. У зв'язку з цим, в роботах [7, 8] вже була обґрунтована можливість та ефективність створення геотермальних систем відкритого та закритого типів на базі шахти № 2 «Новгородівська» Селидівської групи, що наразі перебуває у стадії закриття.

Зазначена шахта, що розташована у південній частині Покровського вуглепромислового району Донбасу, була запущена у 1951 р. і за період експлуатації відпрацьовувала пласти  $k_8$  та  $l_1$ . Площа шахтного поля складає 18 км<sup>2</sup> при абсолютній відмітці максимальної глибини введення очисних робіт  $-370,3$  м і усть стволів  $+205$  м [9]. Верхня межа обробки вугільних пластів має позначку  $+120$  м, вище якої до позначки місцевого базису розвантаження підземних вод у долині р. Солоні ( $+155$  м) гірські породи переважно заповнені водою. На півдні, з шахтою № 2 «Новгородівська» межує закрита шахта ім. Д.С. Коротченка, а на півночі та сході – діючі шахти № 1-3 «Новгородівська» та «Котляревська». У геолого-структурному відношенні поле шахти розташоване в межах південно-західного крила Кальміус-Торецької улоговини та відноситься до лежачого крила великого регіонального тектонічного порушення – Селидівського насуву. У будові ділянки шахти беруть участь відкладення світ середнього карбону, що перекриті палеоген-неогеновими пісками та четвертинними суглинками.

Наслідки формування техногенного режиму підземних і поверхневих вод в процесі закриття шахти № 2 «Новгородівська» можуть бути досить негативними і часто важко прогнозованими на різні періоди часу. Серед найбільш небезпечних явищ і процесів, які супроводжують формування техногенного гідродинамічного режиму, виділяють такі: розвиток деформацій земної поверхні, пов'язаний з обводненням гірських порід і зниженням їх міцності, утворенням провалів і зсувів; підтоплення і затоплення підроблених територій; пошкодження будівель, промислових споруд і комунікацій; забруднення підземних і поверхневих вод, в тому числі тих, які використовуються для питного водопостачання; засолення і забруднення ґрунтів.

**Постановка завдання.** Виходячи з того, що зазначені негативні явища та процеси несуть велику загрозу прилеглим до шахти територіям, великого значення набуває адекватність та точність прогнозування тривалості затоплення гірничих виробок і водопритоку на різних стадіях закриття шахти. Це дозволить своєчасно вживати необхідні заходи з управління водовідливом, зокрема, регулювання витрати відбору води, а також для підтримання безпеки ведення гірничих робіт на суміжних шахтах і захисту навколишнього середовища від зазначених вище негативних явищ. У зв'язку з цим, **метою** даної роботи є прогнозне обґрунтування змін гідродинамічних умов шахти № 2 «Новгородівська» в період її закриття, та роботи геотермальних систем з визначенням необхідної потужності водовідливних установок, здатних попередити підтоплення на прилеглих до шахти територіях.

**Основна частина.** При прогнозних розрахунках тривалості затоплення шахт, що ліквідуються, використовуються параметри водопритоку й об'єму виробленого простору у межах різних інтервалів затоплення, що ґрунтуються на

фактичних показниках і повинні мати достатній ступінь надійності [10, 11]. З урахуванням цього визначалися параметри рівневого режиму шахтних вод для умов шахти № 2 «Новгородівська», яка в даний час знаходиться на завершальній стадії ліквідації. Відповідно до гідродинамічного режиму даної шахти, в прогностичних розрахунках рівня шахтних вод слід враховувати водообмін з сусідніми шахтами ім. Д.С. Коротченка та № 1-3 «Новгородівська» (рис. 1).

Виходячи з геологічної будови та гідрогеологічного режиму, підосху верхнього водоносного горизонту на території поля шахти № 2 «Новгородівська» можна прийняти на рівні +190 м. Зважаючи на це та рекомендації [12], рівень шахтних вод слід обмежити висотним положенням +185 м, що дозволить уникнути потрапляння шахтних вод до верхнього водоносного горизонту. Для умов розглянутої шахти необхідно виконати прогнозування режиму безпечного та контрольованого підйому рівня шахтних вод до рівня +185 м.

Згідно отриманих даних, з моменту чергового припинення водовідливу на цій шахті (жовтень 2017 р.) по вересень 2019 р., рівень води у шахтному стволі піднявся на 90,6 м з абс. позначки +30,6 м до абс. позначки +121,1 м. Динаміка затоплення у межах гірничого простору була отримана шляхом періодичних вимірів рівня шахтних вод ТОВ ВГП «Артемівська гідрогеологічна партія» [13] (рис. 2).

В інтервалі глибин від +121,1 м до +155 м, крім власного водопритоку у гірничі виробки шахти № 2 «Новгородівська», будуть надходити води із сусідньої шахти ім. Д.С. Коротченка. У межах цього діапазону абсолютних відміток, при сучасному рівні затоплення шахти ім. Д.С. Коротченка (+164,0 м), величина перетікання по вугільним пластам оцінюється у 216 м<sup>3</sup>/добу. Крім того, через кору вивітрювання карбону та палеоген-неогенові піски із цієї шахти будуть додатково надходити підземні води з оціненою витратою 355 м<sup>3</sup>/добу. Наближення виробок пласту  $l_1$  обох шахт до зони Гродівського південного скиду також збільшує водопріток на 240 – 360 м<sup>3</sup>/добу. Отже, величина перетікання вод із шахти ім. Д.С. Коротченка у гірничі виробки шахти № 2 «Новгородівська» за рівнів станом на кінець 2019 р. мала становити 810 – 930 м<sup>3</sup>/добу (рис. 1). Це формує загальний водопріток до шахти № 2 «Новгородівська» в інтервалі глибин від +121,1 м до +155 м, величиною 2725 – 2845 м<sup>3</sup>/добу.

У більш високому інтервалі глибин (+155 – +185 м) перетікання шахтних вод із гірничих виробок шахти ім. Д.С. Коротченка у шахту № 2 «Новгородівська» відсутнє. Проте, води із гірничих виробок шахти № 2 «Новгородівська» будуть надходити до виробок шахти № 1-3 «Новгородівська» з витратою 880 м<sup>3</sup>/добу (рис. 1). Таким чином, в цьому інтервалі абсолютних відміток загальний шахтний водопріток становить 1035 м<sup>3</sup>/добу. З урахуванням цього, середній загальний водопріток до шахти № 2 «Новгородівська» в межах абс. відм. від +121,1 до +185 м оцінюється у 1910 м<sup>3</sup>/добу.

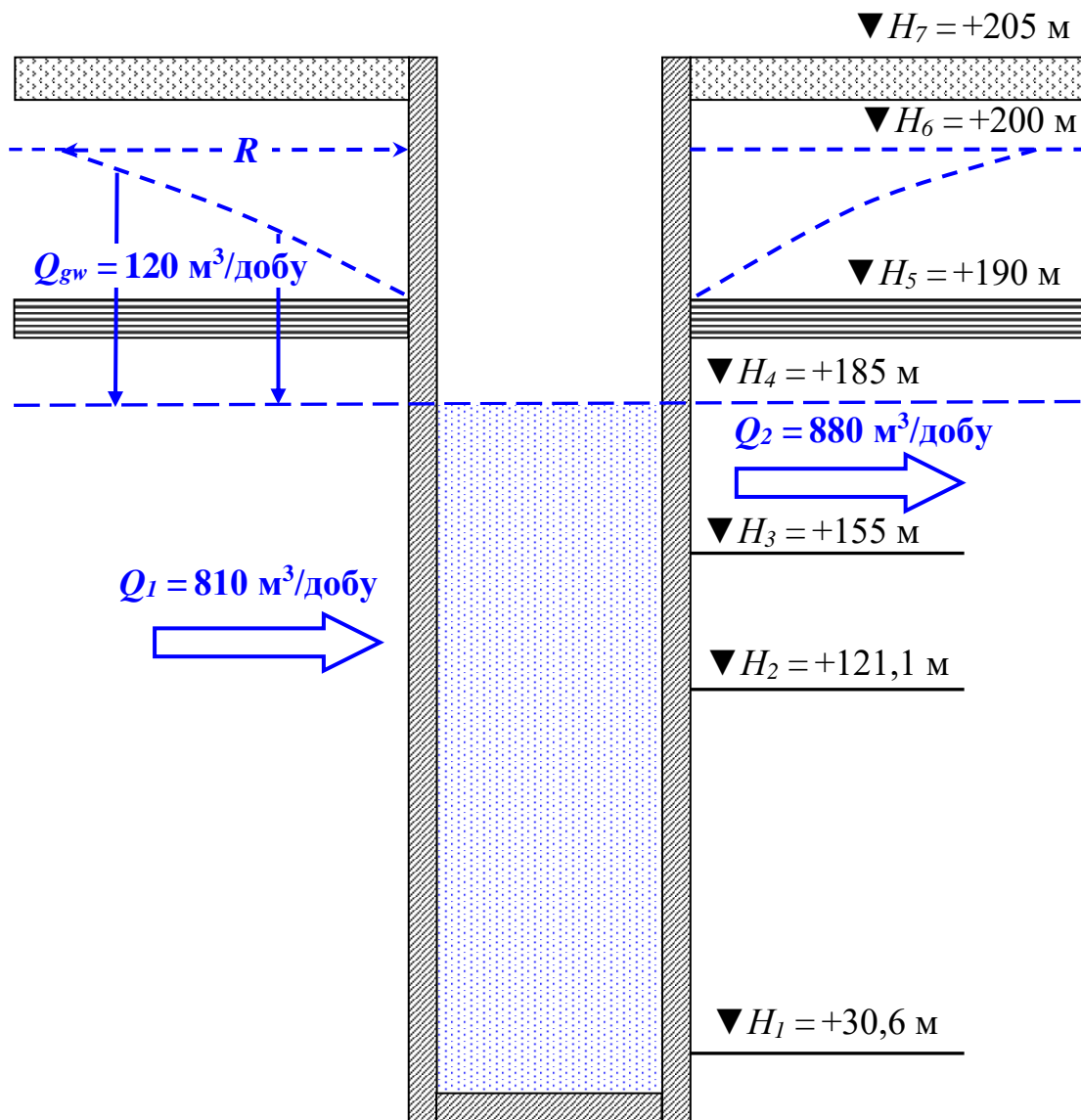


Рис. 1. Схема затоплення і гідрогеологічних умов шахти № 2 «Новгородівська»:  $H_1, H_2, H_3$  – абсолютна відмітка рівнів затоплення в різні моменти часу  $t_1, t_2, t_3$ ;  $H_4$  – проектна позначка затоплення шахти;  $H_5$  – відмітка підосви водотриву;  $H_6$  – відмітка рівня підземних вод у верхньому водоносному горизонті;  $H_7$  – відмітка денної поверхні;  $Q_1$  – перетікання води з шахти ім. Д.С. Коротченка в шахту № 2 «Новгородівська»;  $Q_2$  – перетікання води з шахти № 2 «Новгородівська» в шахту № 1-3 «Новгородівська»;  $Q_{gw}$  – приток підземних вод з верхнього водоносного горизонту;  $R$  – радіус зони впливу шахтного ствола у верхньому водоносному горизонті

Для попереднього прогнозу подальшого підйому рівня води застосовано кілька підходів.

Згідно першого з них [13], час затоплення гірничих виробок шахти можна оцінити за середньою швидкістю затоплення на попередній стадії за формулою:

$$t = \frac{H_4 - H_2}{v_{fl}}, \quad (1)$$

де  $H_4$  – проектна позначка затоплення, +185 м (рис. 1);  $H_2$  – позначка затоплення на вересень 2019 р, +121,1 м;  $v_{fl}$  – середня швидкість затоплення протягом цього періоду, 0,13 м/добу.

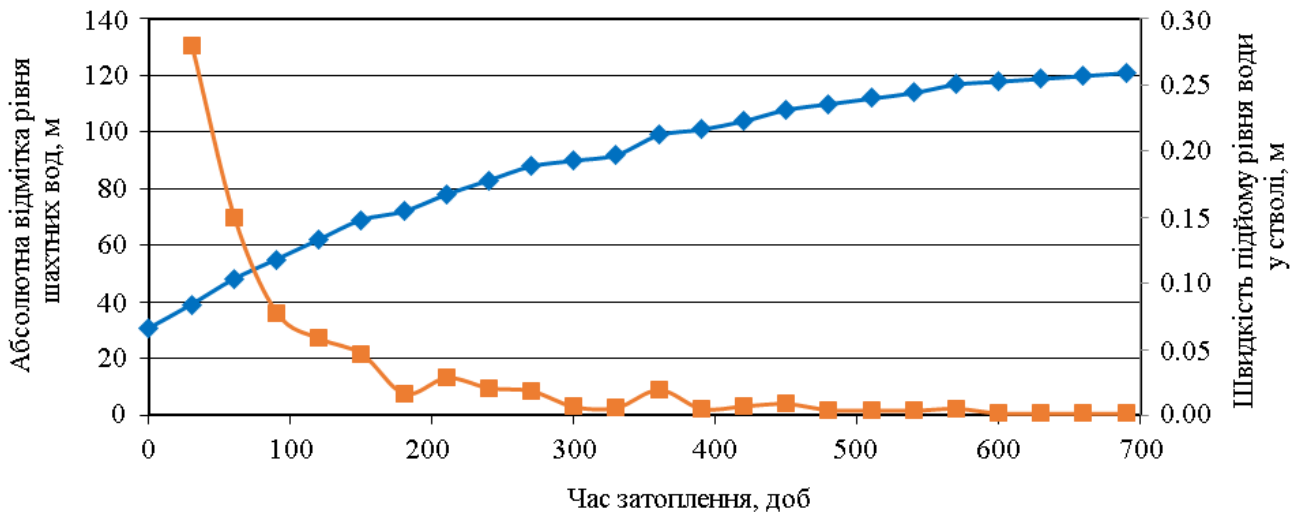


Рис. 2. Фактична динаміка затоплення гірничого простору шахти № 2 «Новгородівська»

За формулою (1) час затоплення гірничих виробок шахти № 2 «Новгородівська» до абс. відмітки +185 м складе 580 діб. Однак при підйомі шахтних вод швидкість затоплення зменшується через зменшення перепаду напорів на межах області фільтрації (контур живлення – шахтний ствол). Тому у подальших розрахунках за цим методом допустимо приймати значення часу затоплення гірничих виробок, що перевищують 580 діб.

Згідно отриманих даних щодо Селидівської групи шахт, об'єм виробленого простору на шахті № 2 «Новгородівська», в інтервалі затоплення гірничих виробок від абс. відм. +121,1 до абс. відм. +185 м, становить 2,7 млн. м<sup>3</sup>. Тоді очікуваний шахтний водоприток  $Q_{inflow}$  визначається за формулою:

$$Q_{inflow} = \frac{K_{fill} V_w}{t_{fl}}, \quad (2)$$

де  $K_{fill}$  – коефіцієнт заповнення, який характеризує ступінь збереження виробок (приймається 0,42 за [10]);  $V_w$  – об'єм виробленого простору у межах зазначеного інтервалу, м<sup>3</sup>.

За формулою (2), середня величина загального водопритоку до шахти № 2 «Новгородівська» в межах абс. відм. від +121,1 м до +185 м (на завершальній стадії затоплення) складе 1915 м<sup>3</sup>/добу.

Отриману середню величину загального водопритоку до гірничих виробок шахти № 2 «Новгородівська» можна також оцінити за допомогою емпіричної залежності, що базується на схемі «великого колодязя» [15]:

$$Q_{np} = Q_{\phi} \sqrt{\frac{H_{np}}{H_{\phi}}}, \quad (3)$$

де  $Q_{np}$  – прогнозний водоприток, м<sup>3</sup>/добу;  $H_{np}$  – прогнозний інтервал затоплення, м;  $Q_{\phi}$  – фактичний водоприток, м<sup>3</sup>/добу;  $H_{\phi}$  – фактичний інтервал затоплення, м.

Середній багаторічний власний водоприток у гірничі виробки шахти № 2 «Новгородівська» до жовтня 2017 р. складав 6840 м<sup>3</sup>/добу, при цьому рівень шахтних вод досяг абс. відм. +30,6 м. Враховуючи це, при розрахунках водопритоку в інтервалі глибин від +121,1 до +155 м в формулі (3)  $Q_{\phi}$  дорівнюватиме 7650 м<sup>3</sup>/добу (з урахуванням додаткового перетоку з шахти ім. Д.С. Коротченка у розмірі 810 м<sup>3</sup>/добу) і 6840 м<sup>3</sup>/добу при затопленні в інтервалі +155 – +185 м. Прогнозний інтервал затоплення  $H_{np}$  приймається як різниця абсолютних відміток денної поверхні (+205 м) і рівня затоплення (+155 і +185 м). Фактичний інтервал  $H_{\phi}$  як різниця між відміткою денної поверхні і рівнем затоплення на жовтень 2017 р. (+30,6 м). Виходячи з цього, за формулою (3) знаходимо, що величина водопритоку до рівня затоплення +155 м буде складати 4096 м<sup>3</sup>/добу, до рівня +185 м – 2316 м<sup>3</sup>/добу.

У середньому, за формулами (2) та (3), одержуємо оцінку водопритоку 2115 м<sup>3</sup>/добу.

Після досягнення рівня шахтних вод позначки +185 м затоплення шахти для попередження підтоплення території слід враховувати перетікання підземних вод з верхнього водоносного горизонту, який живиться інфільтрацією атмосферних опадів, у гірничі виробки. Величина інфільтрації в значній мірі залежить від досить мінливих у багаторічному інтервалі метеорологічних умов і для даного регіону може прийматися в межах 30 – 50 мм/рік. Величина притоку підземних вод з верхнього водоносного горизонту до шахтного ствола оцінюється за формулою [16]:

$$Q_{gw} = \pi K_f \frac{(H_6 - H_5)^2}{\ln(R/r_{sh})}, \quad (4)$$

де  $K_f$  – коефіцієнт фільтрації верхнього водоносного горизонту, м/добу;  $r_{sh}$  – радіус шахтного ствола, м; позначення  $H_5$ ,  $H_6$  див. на рис. 1.

Підставивши в формулу (4) значення  $K_f = 2$  м/добу,  $r_{sh} = 2,75$  м,  $R = 500$  м ( $R$  оцінено згідно формул, наведених у [15]) і значення інших параметрів з рис. 1 отримаємо величину перетікання підземних вод з верхнього водоносного горизонту 120,7 м<sup>3</sup>/добу. До отриманої величини необхідно додати значення притоку інфільтраційної води з поля шахти до шахтного ствола, яке можна знайти шляхом множення величини інфільтрації на площу шахтного поля, яка становить

18 км<sup>2</sup>. Сумарний приток води до шахтного ствола (рис. 3) з верхнього водоносного горизонту оцінюється в діапазоні 1600 – 2585 м<sup>3</sup>/добу, у середньому 2093 м<sup>3</sup>/добу, що добре узгоджується з оціненим за формулами (2) та (3) значенням 2113 м<sup>3</sup>/добу.

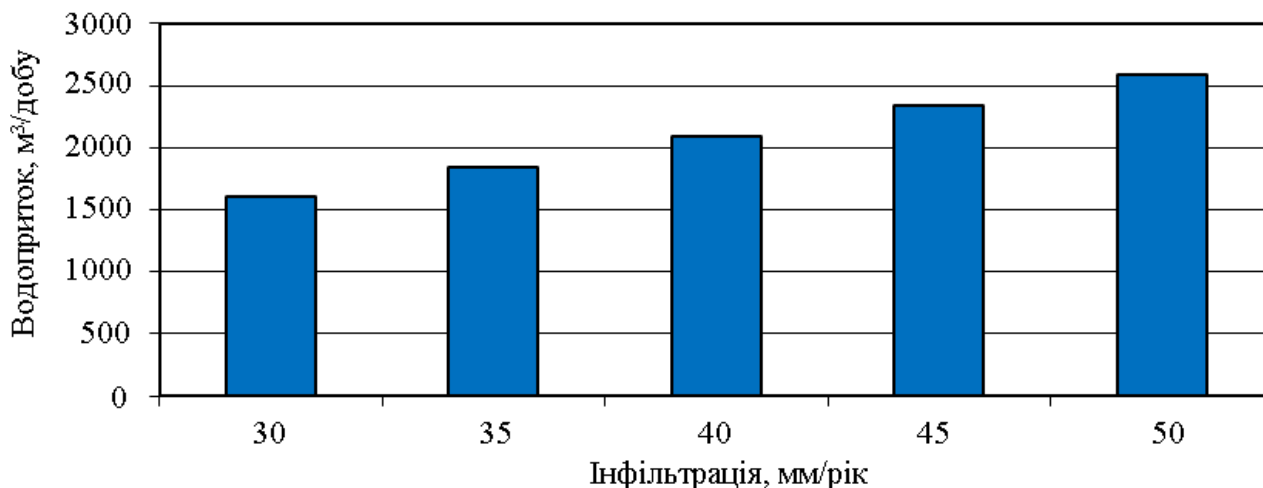


Рис. 3. Зміна сумарного притоку до шахтного ствола № 2 «Новгородівська» в період стабілізації рівня шахтних вод залежно від величини інфільтрації

Аналіз отриманих даних показує, що для підтримання гідродинамічно та екологічно безпечного рівня +185 м цей водоприток має повністю відбиратися та скидатися до гідрографічної мережі за межами зони водозбору на території шахтного поля. При подальших розрахунках параметрів експлуатації геотермальних систем для умов шахти № 2 «Новгородівська» будемо виходити з діапазону 2000 – 2200 м<sup>3</sup>/добу, який визначає інтервал потужності водовідливних установок в період закриття шахти та досягнення рівня +185 м.

**Висновки.** Визначення контрольованого підйому рівня шахтних вод проведено на прикладі шахти № 2 «Новгородівська», перспективної з точки зору встановлення геотермальних систем відкритого та закритого типів, яка наразі перебуває в процесі ліквідації. Виконані за допомогою співвідношень підземної гідродинаміки розрахунки дозволили оцінити загальний шахтний водоприток у діапазоні 2000 – 2200 м<sup>3</sup>/добу, що може коливатися залежно від перетікання з сусідніх шахт, інфільтрації атмосферних опадів, що змінювалась протягом багатьох років і притоку з верхнього водоносного горизонту. При цьому, напрямок розвантаження підземних вод буде регулюватися сучасним ерозійним врізом території та наявною дренаю – р. Солонюю. Для підтримання гідродинамічно та екологічно безпечного рівня +185 м в період закриття шахти та роботи на її базі геотермальної системи цей водоприток має повністю відбиратися водовідливними установками та скидатися до гідрографічної мережі за межами зони водозбору на території шахтного поля, що дозволить попередити підтоплення на прилеглих територіях.

Подальший розвиток досліджень у цьому напрямку доцільно проводити шляхом уточнень та деталізації встановлених аналітичними та емпіричними розрахунками величин водопритоку в шахту № 2 «Новгородівська» в процесі її закриття за допомогою чисельного моделювання геофільтрації в спеціалізованих програмних продуктах, наприклад Modflow.

#### Перелік посилань

1. Финкельштейн, З. Л., Кучин, И. Н., & Бойко, Н. З. (2004). О возможности использования подземных шахтных вод для промышленных, сельскохозяйственных и бытовых целей. *Вісник Сумського державного університету*, 2, 195–198.
2. Гавриленко, Ю. Н., & Ермакова, В. Н. (2004). *Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины: монография*. Nord-press.
3. LANUV, N. (2018). Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz nordrhein-westfalen: Potenzialstudie warmes Grubenwasser–Fachbericht 90. *Recklinghausen, Germany*.
4. Banks, D., Athresh, A., Al-Habaibeh, A., & Burnside N. (2019). Water from abandoned mines as a heat source: practical experiences of open- and closed-loop strategies, United Kingdom. *Sustainable Water Resources Management*, 5, 29–50.  
<https://doi.org/10.1007/s40899-017-0094-7>
5. Loredó, C., Roqueñí, N., & Ordóñez A. (2016). Modelling flow and heat transfer in flooded mines for geothermal energy use: A review. *Int J of Coal Geology*, 164, 115–122.  
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.013>
6. Burnside, N.M., Banks, D., Boyce, A.J. (2016). Sustainability of thermal energy production at the flooded mine workings of the former Caphouse Colliery, *Yorkshire, United Kingdom*. *Int J Coal Geol*, 164, 85–91.
7. Rudakov, D., Inkin, O., Dereviahina, N., & Sotskov, V. (2020). Effectiveness evaluation for geothermal heat recovery in closed mines of Donbas. *E3S Web of Conferences 201, 01008 Ukrainian School of Mining Engineering*, 1–10.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101008>
8. Sadovenko, I., Inkin, O., Dereviahina, N., & Khryplyvets, Y. (2019). Actualization of prospects of thermal usage of groundwater of mines during liquidation. *E3S Web of Conferences 123, 01046*.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301046>
9. *Заключение о результатах работы «Прогноз изменения эколого-гидрогеологических условий после полной ликвидации шахты № 2 «Новгородовская»*. (2015). Artyomovskaya GGP.
10. Питаленко, Е. И., Артеменко, П. Г., Педченко, С. В., & Ягмур А. Б. (2007). Время затопления шахт: прогноз и факт. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 1, 165–172.
11. Дьяченко, Н. А., Шевченко, Е. Н., & Кучук, В. Ф. (2012). Гидродинамика затопления угольных шахт в условиях деформационного режима сдвиговой зоны. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 10, 192–218.
12. Усенко, В. В., & Лисянская, Л. А. (2000). *Заключение о результатах работы «Разработка прогноза геофильтрации и управления подземными водами в горном массиве на поле шахты № 2 «Новгородовская» ГХК «Селидовуголь» и граничных шахт при её ликвидации»*. Artyomovskaya GGP.
13. *Гідрогеологічний прогноз про можливий приток шахтних вод та загрозу прориву води до ВП «Шахта 1-3 «Новгородівська» ДП «Селидугілля» з закритої шахти № 2 «Новгородівська»*. (2018). DRGP «Donetskgeology».
14. Улицький, О. А., Єрмаков, В. М., Луньова, О. В., & Бойко, К. Є. (2019). До питання оцінки прогнозу змін гідрогеологічних умов техноекосистем Селидівської групи шахт. *Екологічна безпека та природокористування*, 4 (32), 32–42.
15. Альтовский, М. Е. (1962). *Справочник гидрогеолога*. Gosgeoltekhizdat.
16. Бэр, Я., Заславски, Д., & Ирмей С. (1971). *Физико-математические основы фильтрации воды*. Mir.



### ABSTRACT

**Purpose.** Predictive estimation of changes in hydrodynamic conditions of “Novohrodivska 2” mine during its closure and operation of geothermal systems with evaluation of a required capacity of drainage systems capable to prevent flooding in the areas adjacent to the mine.

**Methods.** The total mine water inflow was calculated using the analytical relations of geofiltration and empirical dependencies while considering the rate of mine water level increase during the previous stages of flooding and hydrodynamic connections with mine workings of a neighboring mine named after D.S. Korotchenko and “Novohrodivska 1-3” mine as well as the volume of mined out space and existing geological and structural tectonic faults.

**Findings.** The total water inflow to the “Novohrodivska 2” mine calculated according to different approaches varies in a range of 2000–2200 m<sup>3</sup>/day depending on the inflow from neighboring mines, infiltration withing the range of 30 to 50 mm/year and the inflow from the upper aquifer. This inflow should be completely pumped out by drainage systems and discharged into the hydrographic network beyond the mine catchment area in order to maintain the hydrodynamically and environmentally safe level of +185 m during mine closure and the operation of geothermal systems.

**Originality.** The suggested new comprehensive approach to evaluate the total inflow during mine closure allows adequate consideration of hydrodynamic conditions in this area, geological and hydrogeological structure and the impact of various natural and technogenic factors.

**Practical significance.** The data obtained during the calculations of water inflow to the “Novohrodivska 2” mine will be used in estimation of a required capacity of drainage systems, which allow prevention of flooding and avoiding adverse physical and geological phenomena in the areas adjacent to the mine. In addition, the calculated values of water inflow are expected to be used in determining technological and economic indicators of geothermal systems.

**Keywords:** *flooded mine, water inflow, mine water, safe level, flooding.*