

7. Ubani, O., Atagana, H.I. and Thantsha, M.S. (2013), "Biological degradation of oil sludge: A review of the current state of development", African Journal of Biotechnology, available at: <http://www.academicjournals.org/AJB> (accessed November 10, 2013).

8. Sergiienko, M.I. and Radetska, O.I. (2015), "Investigation of the recycling process of oil sludge by method of biological degradation", Herald NTUU "KPI" series of "Mining", Collection of scientific papers, Kyiv, Ukraine, Iss. 28, pp. 140–146.

9. Surovytskyu, L.V., Zharikov, I.F. and Vinogradov, Y.I. (2013), "Review of experiment on the creation of the gas pipeline model and impacts of drilling and blasting operations on this gas pipeline", *Zhurnal "Suchasni resursoenergozberigayuchi tehnologii girnichogo virobnitstva"*, Kremenichug University, Iss. 1 (11), pp. 137–143.

10. Sergiienko, M.I. and Radetska, O.I. (2014), "Cleaning systems using groundwater pumping surround the extraction of gas condensate reservoir", *Zhurnal "Suchasni resursoenergozberigayuchi tehnologii girnichogo virobnitstva"*, Kremenichug University, Iss.1 (13), pp. 153–161.

Стаття надійшла 24.12.2015.

УДК 519.63

## АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАБРУДНЕННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ВНАСЛІДОК ДІЯЛЬНОСТІ ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

### **В. І. Біленко**

Фізико-математичний інститут Національного педагогічного університету  
ім. Михайла Драгоманова

вул. Пирогова, буд. 9, м. Київ, Україна. E-mail: [bilenko@voliacable.com](mailto:bilenko@voliacable.com)

### **В. В. Воробйов, А. В. Пасенко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: [pasenko2000@mail.ru](mailto:pasenko2000@mail.ru)

### **Л. І. Підоріна**

Кременчуцька загальноосвітня школа I-III ступенів № 31

вул. Героїв Сталінграду, 39-а, м. Кременчук, 39622, Україна.

E-mail: [profiplyus12@gmail.com](mailto:profiplyus12@gmail.com)

### **О. Б. Стеля**

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

пр. Глушкова, 4-д, м. Київ, 39600, Україна. E-mail: [oleg.stelya@gmail.com](mailto:oleg.stelya@gmail.com)

### **О. Б. Сьомик**

Управління освіти виконкому Кременчуцької міської ради

вул. Карла Маркса, буд. 3, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: [info@kr-osvita.gov.ua](mailto:info@kr-osvita.gov.ua)

Відкриті кар'єри та відстійники гірничодобувної промисловості в значній мірі збурюють природне гідрогеологічне середовище. Ще більш поглиблюють екологічну проблему супутні підприємства переробної промисловості, зокрема збагачувальні комбінати. Комплексне вивчення проблеми антропогенного впливу на навколишнє середовище в коротко- та довгострокові терміни неможливе без залучення інформаційно-моделюючих комп'ютерних комплексів. В даній роботі розгля-

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2015(16).

нуто питання математичного та комп'ютерного моделювання, прогнозування та аналізу шляхів забруднення ґрунтових та поверхневих вод на території впливу гірничодобувних підприємств. На основі попередніх досліджень авторів розроблено методику моделювання стану водоносних горизонтів на територіях, прилеглих до відстійників. Створено програмно-моделюючий комплекс для прогнозування гідрологічного режиму промислово-техногенних зон, зокрема, техногенної небезпеки процесів виносу забруднених вод в навколишнє гідро-геологічне середовище на прикладі Полтавського гірничо-збагачувального комбінату.

**Ключові слова:** гірничодобувне підприємство, моделювання, забруднення, ґрунтові води, відстійники, двовимірне рівняння вологопереносу, скінченно-різницевий метод.

### АНАЛІЗ ПУТЕЙ ЗАГРЯЗНЕННЯ ГЕОФИЛЬТАЦИОННОЙ СРЕДЫ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**В. И. Биленко**

Физико-математический институт Национального педагогического университета им. Михаила Драгоманова  
ул. Пирогова, 9, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: bilenko@voliacable.com

**В. В. Воробьев, А. В. Пасенко**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.  
E-mail: pasenko2000@mail.ru

**Л. И. Пидорина**

Кременчугская общеобразовательная школа I-III ступеней № 31  
ул. Героев Сталинграда, 39-а, г. Кременчуг, 39622, Украина.  
E-mail: profiplus12@gmail.com

**О. Б. Стеля**

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко  
пр. Глушкова, 4-д, г. Киев, 39600, Украина. E-mail: oleg.stelya@gmail.com

**Е. Б. Сёмик**

Управление образования исполкома Кременчугского городского совета,  
ул. Карла Маркса, 3, г. Кременчуг, 39600, Украина.  
E-mail: info@kr-osvita.gov.ua

Открытые карьеры и отстойники горнодобывающей промышленности в значительной мере нарушают природную гидрогеологическую среду. Еще более усугубляют экологическую проблему сопутствующие предприятия перерабатывающей промышленности, в частности обогатительные комбинаты. Комплексное изучение проблемы антропогенного влияния на окружающую среду в кратко- и долгосрочные периоды невозможно без применения информационно-моделирующих компьютерных комплексов. В данной работе рассмотрен вопрос математического и компьютерного моделирования, прогнозирования и анализа путей загрязнения ґрунтовых и поверхностных вод на территории влияния горнодобывающих предприятий. На основе предыдущих исследований авторов разработана методика моделирования

состояния водоносных горизонтов на территориях, прилегающих к отстойникам. Создан программно-моделирующий комплекс для прогнозирования гидрологического режима промышленно-техногенных зон, в частности, техногенной опасности процессов выноса загрязненных вод в окружающую гидрогеологическую среду на примере Полтавского горно-обогатительного комбината.

**Ключевые слова:** горнодобывающее предприятие, моделирование, загрязнение, грунтовые воды, отстойники, двумерное уравнение влагопереноса, конечно-разностный метод.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Важливим питанням техногенної безпеки Середнього Придніпров'я України при відкритій та підземній розробці корисних копалин є підвищення ризику підтоплення та забруднення прилеглих до промислових зон територій водозбірного басейну річки Дніпро. Світовий досвід прогнозування у галузі техногенної безпеки гірничих виробництв ґрунтується на інформаційно-математичному моделюванні [1, 2]. Такі дослідження проводяться для аналізу стану різноманітних гідротехнічних об'єктів, до яких відносяться: фільтруючі дамби [3], земляні греблі [4], дренажні системи, зокрема, відкритого типу, для оцінки фільтраційних режимів поблизу кар'єрів [5], хвостосховищ [6]. Таким чином, питання математичного моделювання, комп'ютерного аналізу та прогнозу екологічного стану, гідрогеологічного режиму території кар'єрів залишається актуальним прикладним питанням сучасних гідро- та геоекологічних досліджень [7].

Метою роботи є розробка алгоритмічного та прикладного програмного забезпечення інформаційної підтримки аналізу та прогнозування забруднення потоку ґрунтових вод у кар'єрних геофільтраційних середовищах.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Робота присвячена проблемі підвищення точності прогнозування та аналізу процесів в багатокомпонентних ґрунтових середовищах, в складних, неоднорідних інженерних об'єктах та визначенню їх динамічних характеристик. Програмне забезпечення ґрунтується на високоточних обчислювальних алгоритмах розв'язування крайових задач динаміки потоку ґрунтових вод в складних гідрогеологічних умовах.

В якості об'єкта дослідження розглядається територія прилегла до Полтавського ГЗКа (рис.1).

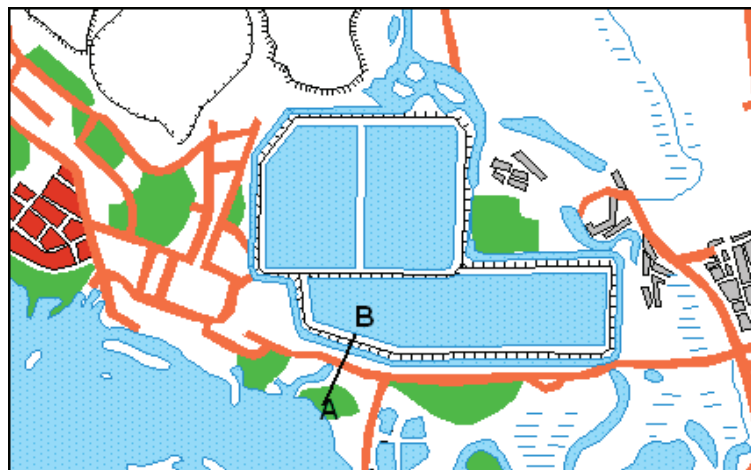


Рисунок 1 – Карта розташування відстійників Полтавського ГЗКа

Основними об'єктами, що впливають на режим ґрунтових вод є кар'єр [13–15] та відстійники комбінату. Розташування відстійників у безпосередній близькості до р. Дніпро створюють додаткову загрозу його забруднення. Тому оцінка динаміки ґрунтових вод є необхідним компонентом багатьох геотехнічних, гідрогеологічних та інших досліджень. В цих випадках моделювання здійснюється одночасно в зонах повного і неповного насичення без їх явного виділення. На рисунку 1 зображено фрагмент карти території прилеглої до відстійників. В роботі розглядається профільна модель фільтрації та вологопереносу в насичено-ненасиченому водоносному середовищі. Для моделювання вибрано переріз області по лінії АВ (рис. 1). В силу близького розташування відстійників до р. Дніпро, ця ділянка характеризується значною динамікою ґрунтових вод. Побудуємо математичну модель процесу.

Основою моделі є двовимірне рівняння вологопереносу. Розроблена модель дає змогу ураховувати: шаруватість ґрунтів (зокрема, наявність тонких слабо проникних прошарків), перетік між шарами ґрунту, різноманітні гідрогеологічні умови, що змінюються у часі та просторі, складну форму границі області.

На рисунку 2 зображено фрагмент області моделювання ABCDEFGHIJKL. У вертикальному перерізі область складається з шарів ґрунту з різними фільтраційними властивостями. Припускається, що кожний геологічний шар ґрунту є однорідним і ізотропним.

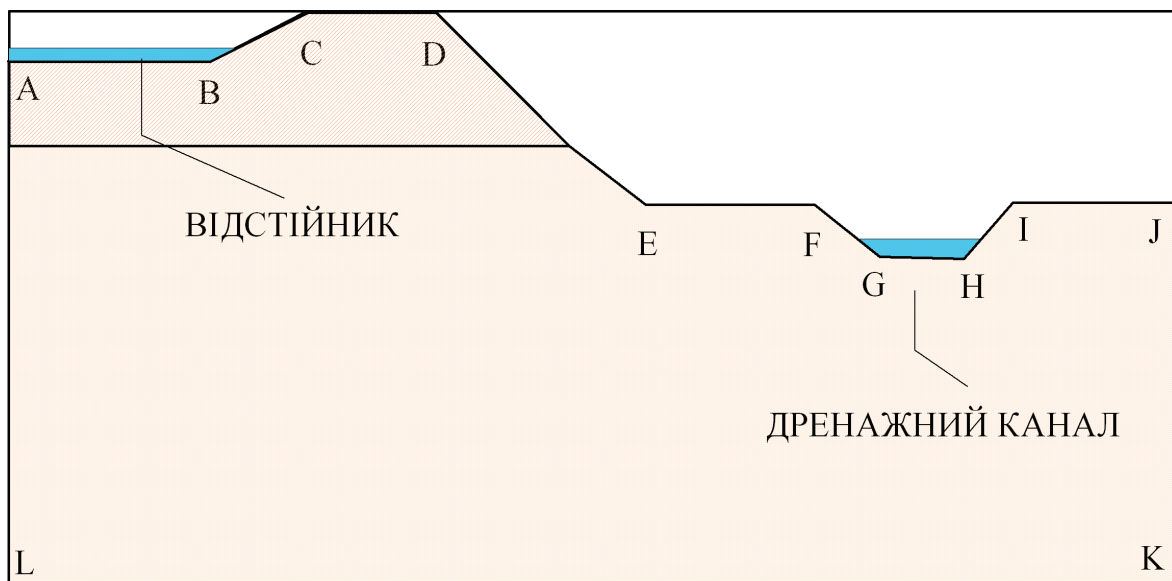


Рисунок 2 – Вертикальний переріз геофільтраційного середовища

Нестаціонарна течія в заданій області описується рівнянням вологопереносу

$$\frac{\partial \theta(x, u)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left( k(x, u) \frac{\partial u}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( k(x, u) \frac{\partial u}{\partial x_2} \right) + f(x, u, t),$$

де  $x_i, i=1,2$  – вертикальна та горизонтальна координати,  $x = (x_1, x_2)$ ;

$t$  – час;

$u(x, t)$  – гідравлічний напір;

$f(x, u, t)$  – розподілені чи зосереджені джерела або стоки в області;

$\theta(x, u)$  – об’ємна вологість ґрунту;

$k(x, u)$  – коефіцієнт вологопровідності.

Диференціальне рівняння враховує не тільки зміни об’ємної вологості ненасиченої зони, а також фільтрацію в насиченій зоні.

Положення вільної поверхні ґрунтових вод визначається з розв’язку рівняння як ізобара  $p(x, t) = 0$ , де  $p(x, t)$  – тиск, зв’язаний з напором співвідношенням  $u = p(x, t) - x_1$  (за нульовий прийнято тиск атмосферного повітря). Точки області, де  $p(x, t) < 0$ , визначають ненасичену зону, точки де  $p(x, t) \geq 0$  – насичену.

Для розв’язування рівняння необхідно записати математичні вирази в термінах  $u(x, t)$  для фізичних умов, що виконуються на границях області течії.

На ділянках границі CD, EF, IJ (рис. 2) задається умова

$$k \frac{\partial u}{\partial x_1} = Q_1(x, t),$$

де  $Q_1(x, t)$  – величина інфільтрації,

на ділянці LK аналогічна умова

$$k \frac{\partial u}{\partial x_1} = Q_2(x, t),$$

де  $Q_2(x, t)$  – визначає величину потоку (від’ємного або додатного) через нижню границю області. Якщо нижня границя є водоупором  $Q_2(x, t) = 0$ .

На вертикальних ділянках границі AL та JK відповідно задаються умови

$$u(x, t) = h_1(x, t), \quad u(x, t) = h_2(x, t).$$

На ділянках границі AB та GH задаються напори, що відповідають рівням води у відстійнику та дренажному каналі.

Особливу увагу викликає ділянка границі області DF. На цій ділянці можливе виникнення проміжків височування, які залежить від багатьох факторів. До таких факторів відносяться геометрія дамби обвалування відстійників, фільтраційні властивості ґрунтів матеріалу обвалування, товщина шару рідини у відстійнику, швидкість фільтраційного потоку в тілі дамби. Координати проміжків височування, умови їх виникнення та динаміка є невідомими і повинні бути визначені в процесі розв’язування задачі. При утворенні проміжків височування границя DF розділяється на ділянки двох типів – з нульовим тиском (на проміжках височування) і нульовим потоком на іншій частині. Оскільки ці ділянки заздалегідь невідомі, маємо задачу з невідомою границею. Згідно до [8] на всій ділянці DF задаються умови напівпроникності

$$k \frac{\partial u}{\partial n} = 0, \quad \text{якщо} \quad u(x, t) < U(x)$$

$$\text{та} \quad k \frac{\partial u}{\partial n} \leq 0, \quad \text{якщо} \quad u(x, t) = U(x),$$

де  $U(x)$  – напір, який відповідає нульовому тиску.

Ці умови дозволяють автоматично враховувати виникнення та динаміку декількох (їх кількість необмежена і залежить від конкретних гідрогеологічних умов) проміжків височування на ділянці границі області.

Важливість модельного визначення виникнення та динаміки проміжків височування полягає в тому, що наявність височування на схилі дамби може призвести до її прориву. Запобіжними заходами для попередження виникнення проміжків височування може бути збільшення товщини дамби, ущільнення її матеріалу або облаштування додаткового придамбового дренажу.

У випадку шаруватості ґрунтів, для яких розв'язується задача, для кожного шару задаються функції  $k(x,u)$ ,  $\theta(x,u)$ , а на лініях поділу шарів задаються умови спряження, тобто неперервність шуканої функції  $u(x,t)$  та фільтраційного потоку.

Якщо область, в якій вивчається рух рідини, містить тонкі слабо проникні прошарки, то в цьому випадку їх доцільно виключати з розгляду [9], замінивши лініями з координатами  $x_1 = \xi$ , на яких задаються умови

$$k(x,u) \frac{\partial u}{\partial x_1} \Big|_{x_1=\xi+0} = \alpha (u|_{x_1=\xi+0} - u|_{x_1=\xi-0}),$$

$$k(x,u) \frac{\partial u}{\partial x_1} \Big|_{x_1=\xi+0} = k(x,u) \frac{\partial u}{\partial x_1} \Big|_{x_1=\xi-0},$$

де коефіцієнт  $\alpha$  – залежить від товщини та проникності тонкого прошарку.

За початкову умову приймалась умова  $u(x,0) = H(x)$ .

Використовуючи інші комбінації крайових умов для рівняння вологопереносу, можна охопити широке коло різноманітних проблем, які виникають при вивченні профільного потоку ґрунтових вод.

Розглянемо метод розв'язування розробленого рівняння і проведемо розрахунки.

Для чисельного розв'язування задачі використовувався скінченно-різницевий метод на нерівномірних сітках [8, 10–11]. Системи нелінійних різницевих рівнянь розв'язувались за допомогою комбінованих ітераційних методів [12].

При розрахунках розглядався двошаровий ґрунт, де перший шар утворений штучно і має малий коефіцієнт фільтрації, а другий – складається із сильно проникних порід. Розглянуто переріз від відстійника до р. Дніпро. Були використані такі абсолютні відмітки: для поверхні води у відстійнику – 79,5 м, для поверхні води у дренажному каналі – 65,75 м, відмітка дна дренажного каналу – 62,2 м, відмітка поверхні води у Дніпрі – 64,3 м, відмітка водопору – 55 м. Загальна довжина області 1110 м. Функції вологості і коефіцієнта вологопроникності були задані у табличному вигляді.

В результаті багатоваріантних розрахунків було проведено аналіз характеристик фільтраційного потоку, а саме його швидкість та напрям руху. На рисунку 3 наведено фрагмент області моделювання з результатами розрахунків у вигляді ізоліній напорів. Фрагмент включає основу дамби та дренажний канал.

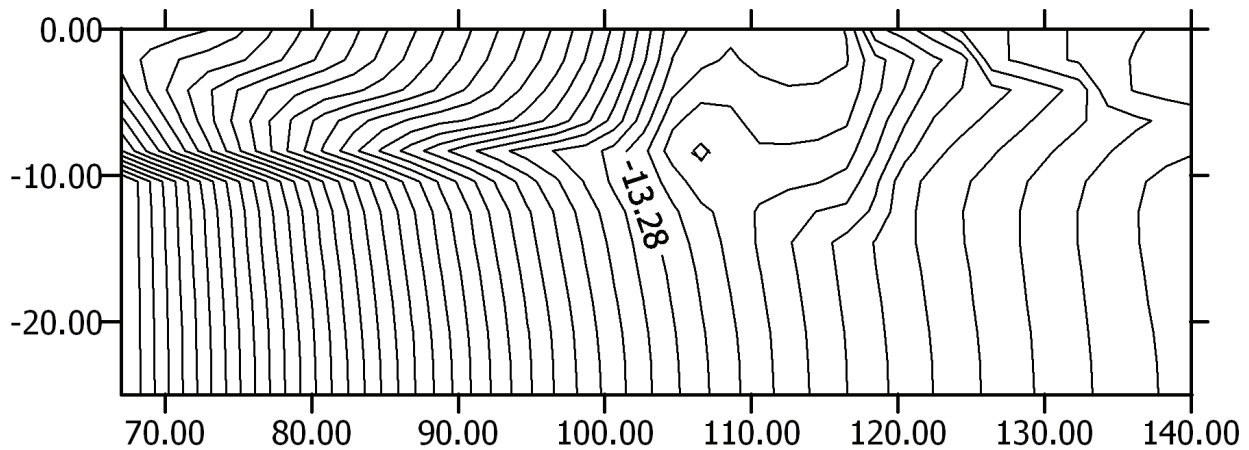


Рисунок 3 – Рух фільтраційного потоку

Як свідчать результати моделювання, значну кількість фільтраційного потоку, спрямованого від відстійника у напрямку р. Дніпро перехоплює дренажний канал. Так, кількість ґрунтових вод, яка рухається в напрямку каналу від відстійника становила  $56 \text{ м}^3$  на добу, в той час як кількість ґрунтових вод, які рухаються від каналу до р. Дніпро становить  $0,12 \text{ м}^3$  на добу. Розрахунки показали, що деяка частина ґрунтових вод проходить під дренажним каналом. Їх об'єм залежить від глибини залягання водоупору і становить від 10 % до 20 %.

Як свідчать результати моніторингу, концентрація деяких забруднювачів у дренажному каналі більша, ніж у відстійнику. Таким чином, кількісна характеристика забруднення ґрунтових вод між дренажним каналом та р. Дніпро з подальшим їх виносом у р. Дніпро на 80–90 % складається із забруднень, які виносяться з дренажного каналу.

Основним із заходів щодо зменшення надходження забруднюючих речовин у р. Дніпро є зниження рівня забруднення вод дренажного каналу, що може бути досягнуто скорочуванням об'ємів забруднених скидів у дренажний канал.

При подальшому розширенні кар'єру і збільшенні відстійника буде спостерігатись поступове збільшення просочування забрудненого фільтрату під каналом. Для запобігання такому розвитку подій в подальшому може виникнути необхідність у створенні вертикального дренажу на ділянці між відстійником і дренажним каналом. Місце розташування свердловин, глибина занурення і величина фільтрів (які однозначно визначають їх необхідний дебіт) може бути визначена за допомогою математичного моделювання. Такі розрахунки необхідно проводити при плануванні розширення відстійників.

#### ВИСНОВКИ.

1. Проведено аналіз існуючих гідрогеологічних умов та даних моніторингу ґрунтових вод в зоні впливу відстійників Полтавського ГЗКа. Дані були використані для їх подальшого використання для комп'ютерного моделювання.

2. Задачу аналізу шляхів забруднення геофільтраційного середовища внаслідок діяльності гірничодобувних підприємств сформульовано у вигляді крайової задачі для рівняння вологопереносу в області складної форми.

3. Адаптовано програмне забезпечення розв'язування профільних задач вологопереносу в областях складної форми до фільтраційно-зв'язаної системи: «відстійник промислових стоків – дренажний канал – річка».

4. Проведено серії розрахунків для визначення характеристик фільтраційного потоку.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дейнека В. С., Сергиенко И. В. Модели и методы решения задач в неоднородных средах. Киев: Наукова думка, 2001. – 606 с.

2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. – М.Наука, «Физматлит», 2-е изд. – 2001.– 320 с.

3. Seepage beneath water retaining structures founded on spatially random soil / D. V. Griffiths, G. A. Fenton // *Geotechnique*, – 1993. – Vol. 43, no. 4. – pp. 577–587.

4. Singh A. K. Analysis of Flow in a Horizontal Toe Filter // *The 12<sup>th</sup> International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, 1-6 October 2008 / Goa, India. – 2008.

5. Prediction of Groundwater Inflow and Height of the Seepage Face in a deep open Pit Mine using numerical Finite Element Model and analytical Solutions / [Aryafar A., Ardejani F. D., Singh R., Shokri B. J.] // In: Cidu, R. & Frau, F.: *Water in Mining Environments*, – 2007. – pp. 313–317.

6. Hydrogeological Assessment of Seepage through the Antamina Tailings Dam – Antamina Copper/Zinc Mine, Peru, South America / Levenick J. L., Zawadzki W., Haynes A., Manrique R. // In: *Water Institute of Southern Africa & International Mine Water Association: Proceedings, International Mine Water Conference / Pretoria*. – 2009. – pp. 730–737.

7. Інформаційно-математичне моделювання та прогнозування екологічного стану ґрунтових вод / В. І. Біленко, В. В. Воробйов, А. В. Пасенко, Л. І. Підоріна, О. Б. Стеля, О. Б. Сьомик, І. В. Шевченко // *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. – 2015. – Випуск 8. – С. 33–40.

8. Стеля О. Б., Стеля І. О., Тригуб О. С. Профільна модель вологопереносу в пористих середовищах // *Національний університет Києво-Могилянська академія. Наукові записки. Комп'ютерні науки*. – Т. 125. – 2011. – С. 41–45.

9. Вакал Є.С., Вакал Ю.Є., Стеля О.Б. Дослідження процесів вологопереносу в неоднорідних середовищах із слабо проникними прошарками. // *Вісник Київського національного ун-ту імені Тараса Шевченка*. – Сер. фіз.-мат науки. – Вип. 1. – 2014 – С. 49–52.

10. Кусково-поліноміальні наближення розв'язків жорстких задач на основі апроксимаційного методу В. К. Дзядика / В. І. Біленко, А. І. Дерієнко, Н. Г. Кирилаха // *Журн. обчисл. та приклад. математики*. – 2013. – № 2. – С. 68–77.

11. Bilenko V. Integro-approximational methods for modelling nonlinear dynamical objects. – *Math. and comp. model. in science rec.*, BAS, 1994. – P.146–158.

12. Ортега Дж. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными / Дж. Ортега, В. Рейнболдт. – М.: Мир, 1975. – 558 с.



13. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах: монография / Э. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко и др.; под ред. Э. И. Ефремова. – Днепропетровськ: Січ, 1996. – 181 с.

14. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород / Э. И. Ефремов, В. М. Комир, И. А. Краснопольский, В. П. Мартыненко. – К.: Техника, 1990. – 149 с.

15. Повышение эффективности дробления разнопрочных горных пород в сложных горногеологических условиях / Ю. Д. Норов, И. П. Бибик, Ш. Р. Уринов, Ш. Ш. Заиров // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук, 2012. – Вип. 2. – С. 48–52.

## THE ANALYSIS OF POLLUTION WAYS OF GEOFILTERING ENVIRONMENT AS A RESULT OF MINING ENTERPRISES ACTIVITIES

**V. Bilenko**

Drahomanov National pedagogical University the institute of physics  
and mathematics

vul. Pirogova, 9, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: bilenko@voliacable.com

**V. Vorobjov, A. Pasenko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul, Pershotravneva, 20, Kremenchug 39600, Ukraine.

E-mail: pasenko2000@mail.ru

**L. Pidolina**

Kremenchuk secondary school № 31

vul. Geroyiv Stalingrada, 39, Kremenchuk, 39622, Ukraine.

E-mail: profiplus12@gmail.com

**O. Stelya**

Kyiv National Taras Shevchenko University

prosp. Glushkov, 4-D, 39600, Ukraine. E-mail: oleg.stelya@gmail.com

**O. Syomyk**

Education department management of Kremenchug city council

vul. Karl Marx, 3, 39600, Ukraine. E-mail: info@kr-osvita.gov.ua

**Purpose.** Development of algorithmic and application software support information analysis and forecasting pollution groundwater flow in career heofiltrational environments. **Methodology.** We used mathematical modeling methodology for moving continuum. Software and software-based algorithmic precision computational methods for solving boundary value problems of groundwater flow dynamics in complex geological conditions. **Results.** The task of analyzing ways heofiltrational environment pollution due to mining activities formulated as a boundary value problem for the equation of moisture in complex form. The algorithm is implemented as a software solution specialized tasks moisture in areas of complex shape to filtration-related systems «industrial effluent sump - drainage channel - the river». **Originality.** Scientific novelty of this work is its orientation to solving problems concerning analysis, calculation and simulation heofiltrational environment pollution due to mining activities. Algorithms have unlike existing properties non-

saturation and optimal in terms of best polynomial approximations hydrogeological and physicochemical characteristics of the processes. **Practical value.** The analysis of existing hydrogeological conditions and groundwater monitoring data in the zone of the Poltava Mining septic tanks. The model of filtration and moisture in saturated-unsaturated aquifer environment allows consider: soil stratification (eg, the presence of thin layers of poorly permeable) flowing between the layers of soil, different hydrogeological conditions, which vary in time and space, complex shape boundary.

**Key words:** mining enterprise, modeling, pollution, ground waters, settlers, two equation, terminal method.

#### REFERENCES

1. Deineka, V. S, Sergienko, I. V. (2001), "Models and methods of solving tasks in inhomogeneous environments", Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine , 606 p.
2. Samarsky, A. A., Mikhailov, A. P. (2001), "Mathematic modeling. Ideas. Methods. Examples", Nauka, "Phismatlit", Moscow, Russia, 2-nd edition, 320 p.
3. Griffiths, D. V. (1993), "Seepage beneath water retaining structures founded on spatially random soil", *Geotechnique*, vol. 43, no. 4, pp. 577–587.
4. Singh, A. K. (2008), "Analysis of Flow in a Horizontal Toe Filter", *The 12<sup>th</sup> International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, Goa, India, 1–6 October, 2008.
5. Aryafar, A., Ardejani, F. D., Singh, R., Shokri, B. J. (2007), "Prediction of Groundwater Inflow and Height of the Seepage Face in a deep open Pit Mine using numerical Finite Element Model and analytical Solutions", *In. Cidu, R. & Frau*, *Water in Mining Environments*, F., pp. 313–317.
6. Levenick, J. L., Zawadzki, W., Haynes, A., Manrique, R. (2009), "Hydrogeological Assessment of Seepage through the Antamina Tailings Dam – Antamina Copper/Zinc Mine, Peru, South America", *In: Water Institute of Southern Africa & International Mine Water Association: Proceedings, International Mine Water Conference*, Pretoria, pp. 730–737.
7. Bilenko, V. I., Vorobyov, V. V., Pasenko, A.V., Pidolina, L. I., Stelya, O. B., Syomyk, O. B., Shevchenko, I. V. (2015) "Information and mathematic modeling and the broadcast of ecological state of underground waters", *Technogenic ecological safety and civil defence*, Edition 8.
8. Stelya, O. B., Stelya, I. O., Trigub, O. S. (2011), "Profile model of humidity translocation in pored environment", *National University Kiev Mohelyanska Academy. Naukovi Zapysky. Computer sciences*, volume 125, pp. 41–45.
9. Vacal, E. S., Vacal, Y. E., Stelya, O. B. (2014), "The research of humidity translocation processes in inhomogeneous environments with week subjacent layers", *Visnyk of Kyiv National Taras Shevchenko University*, Physical and mathematical sciences, issue 1, pp.49–52.
10. Bilenko, V. I., Deriyenko, A. I., Kirilakha, N. G. (2013), "Piece and polynomial approximating of solving rigid tasks on the basis of approximating method of V. Dzyaduk", *Journal of computation and applied mathematics*, no. 2, pp. 68–77.

11. Bilenko, V. I. (1994), “Integro-approximational methods for modelling non-linear dynamical objects”, *Math. and comp. model. in science rec.*, BAS, pp.146–158.
12. Ortega, J., Reinboldt, V. (1975), “Iterative methods of solving nonlinear system of equation with many variables”, Mir, Moscow, Russia, 558 p.
13. Yephremov, E. I., Beresnevich, P. V., Petrenko, V. D. et. al. “The problems of ecology of mass explosions in the quarries: monograph”, Translated by Yephremov E. V., Sich, Dnepropetrovsk, Ukraine, 181 p.
14. Yephremov, E. I., Komir, V. M., Krasnopol'skiy, I.A., Martynenko, V. M. (1990), “Resource saving technologies of explosive destruction of rocks”, Technika, Kyiv, Ukraine, 149 p.
15. Norov, Y. D., Bibik, I. P., Urinov, H. R., Zairov, H. H. (2012), “The increase of granulation efficiency of various rocks in difficult mountain and geological conditions”, *Modern resource saving technologies of rock production*, issue 2, pp. 48–52.

Стаття надійшла 29.12.2015.