

© В.І. Тимошук<sup>1</sup>, Є.А. Шерстюк<sup>1</sup>, А.Л. Лозовий<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОГО СТАНУ СХІДНОГО БОРТУ КАР'ЄРУ ПРАТ "ІНГЗК" В УМОВАХ ПЕРСПЕКТИВНОГО РОЗВИТКУ ГІРНИЧИХ РОБІТ

© V. Tymoshchuk<sup>1</sup>, Y. Sherstiuk<sup>1</sup>, A. Lozovyi<sup>1</sup><sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE HYDRODYNAMIC AND GEOMECHANICAL STATE OF THE EASTERN SIDE OF PJSC "INGZK" OPEN PIT ACCORDING TO PROSPECTIVE MINING EXPANDING

**Мета.** Встановити закономірності формування кар'єрних водопрпливів до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та виконати оцінку гідрогемеханічного стану його північно-східної ділянки для обґрунтування технічних рішень щодо його гідрозахисту в умовах перспективного розвитку гірничих робіт.

**Методика дослідження.** Полягає у комплексному дослідженні геолого-гідрогемеханічних умов та геомеханічного стану східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" із застосуванням геофізичних методів розвідки, математичного моделювання геофільтраційних та геомеханічних процесів в порідних масивах в умовах, які визначаються складною взаємодією природних та технічних елементів в системі "залізородний кар'єр – породний відвал № 3 – алювіальні відклади в заплаві річки Інгулець".

**Результати дослідження.** За даними виконаних геофізичних досліджень у складі електротомографії та аудіомагнітотелуричних зондувань уточнена геологічна будова ділянки східного борту кар'єру та визначено положення рівня підземних вод у техногенному водоносному горизонті в межах порідного відвалу № 3. На основі встановлених закономірностей формування гідродинамічного режиму в межах східного борту кар'єру виконаний прогноз кар'єрних водопрпливів та їх розподілу в умовах будівництва нового русла р. Інгулець відповідно до його проектного положення з урахуванням перспективного розвитку гірничих робіт. За результатами чисельного моделювання напружено-деформованого стану північно-східної ділянки борту кар'єру визначені зони ослаблення порушеного гірничими роботами порідного масиву та обґрунтовані заходи щодо підвищення його стійкості.

**Наукова новизна.** Отримані нові дані щодо характеру залягання гірських порід і техногенного водоносного горизонту в межах східного борту кар'єру і основі відвалу № 3. Заходи щодо підвищення стійкості прибортового масиву обґрунтовано завдяки системному варіантному вивченню гідродинамічних процесів та напружено-деформованого стану порід, що складають східний борт кар'єру.

**Практичне значення.** Результати виконаних досліджень складають основу для обґрунтування технічних рішень щодо забезпечення стійкості північно-східної частини борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" в умовах проектного розвитку гірничих робіт.

**Ключові слова:** залізородний кар'єр, підземні води, гідродинамічний режим, геофізичні дослідження, математичне моделювання, кар'єрний водопрплив, гідрогемеханічна стійкість, протифільтраційна завеса



надходження фільтраційних вод з р. Інгулець до ділянки кар'єру у межах маркшейдерських осей (м.о). 26...84 і, відповідно, відбувалось зменшення впливу кар'єрних водоприпливів на гідрогеомеханічний стан верхньої частини розрізу східного борту кар'єру.

Однак, виконані оцінки стану ПФЗ дали підстави вважати, що її ефективність з часом була суттєво знижена, що сприяло збереженню існуючої ситуації щодо стійкості східного борту кар'єру. Цьому ж сприяв і масштабний зсув, який відбувся в межах східного укусу порідного відвалу № 3 у 1988 р., в результаті якого була зруйнована значна частина протифільтраційної завіси на ділянці м.о. 66...84 в межах північної східної частини борту кар'єру.

Одним із результатів порушення цілісності протифільтраційної завіси на цій ділянці можна вважати і розвиток масштабного зсуву, який стався 1993 року і охопив значний об'єм порід на ділянці сполучення східного борту кар'єру з порідним відвалом № 3

Протягом останніх років (2013-2016 р.р.) розвиток деформаційних процесів відбувався уже в межах зсуву 1993 року, зберігаючи загальні закономірності зсувного деформування, пов'язаного з обводненням супіщано-суглинистої товщі четвертинних відкладень і товщі глин київського і бучацького ярусів палеогену. Так, спільними ознаками зсувів 2013 та 2015 років в м.о. 72...76 стало формування площинних водопроявів по підшві алювіальних різнозернистих пісків на горизонті  $+12,0/\pm 0,0$  м та залучення до деформування глинистих відкладень на глибину до  $-15,0$  м, тобто на глибину залягання підшви київських глин палеогену та їх контакту з бучацькими вуглистими глинами.

**Основна частина.** Чисельне моделювання геофільтраційних процесів на ділянках масштабних геотехнічних об'єктів, які взаємодіють із підземною гідросферою, є ефективним інструментом аналізу та прогнозу [4,9,10,11]. Для ділянки взаємодії системи "залізорудний кар'єр – породний відвал № 3 – алювіальні відклади річки Інгулець" розроблена та верифікована геофільтраційна модель, яка відображує головні закономірності у живленні та розвантаженні розвинутого в межах досліджуваної території алювіального водоносного горизонту [1,2]. Основними з врахованих закономірностей є забезпечене живлення алювіального горизонту в зоні дренажного впливу східного борту кар'єру водами річки Інгулець та додаткове його інфільтраційне площинне живлення в межах розташування порідного відвалу № 3. Встановлене зростання розрахункових водоприпливів в межах східного борту кар'єру на ділянках понижених (до 5,5...12,0 м) відміток підшви гравелистих пісків – в м.о. 50...58 та 62...70, де водоприпливи за даними моделювання сягають 249,09 м<sup>3</sup>/добу.

Гідродинамічний вплив відвалу № 3 визначається рівнем інфільтраційного живлення в межах його розташування і наявністю шару слабопроникних ущільнених порід в його підшві, що сприяє формуванню водонасиченої зони в нижньому інтервалі складованих порід. Величини водоприпливів із техногенного горизонту на контурі кар'єру в межах м.о. 54...82 сягають 28,27 м<sup>3</sup>/добу.

Слід відзначити, що результати геофільтраційного моделювання досить до-

бре узгоджуються з даними польових геофізичних досліджень, виконаних на ділянці північно-східного борту кар'єру.

Польові геофізичні дослідження методом електротомографії (ЕТ) виконані уздовж двох профілів загальною протяжністю 2 км з кроком 20 м до глибини 60 м, які розташовані вздовж схилів відвалу № 3 на відмітках +54 та +66 м. Роботи виконувалися у відповідності до вимог інструкції з електророзвідки методом опору рівнодипольною осьюовою установкою. В якості приймача електромагнітного поля на частоті 1.22 Гц в приймальному диполі MN був використаний вимірювач ЕН-209м. Розміри приймального і живлячого диполів становили 20 м, мінімальний рознос установки – 40 м; максимальний рознос – 220 м. В якості джерела струму використовувався генератор ГЕР-1/300.

Результати розв'язання оберненої задачі ЕТ представлені на рис. 2.

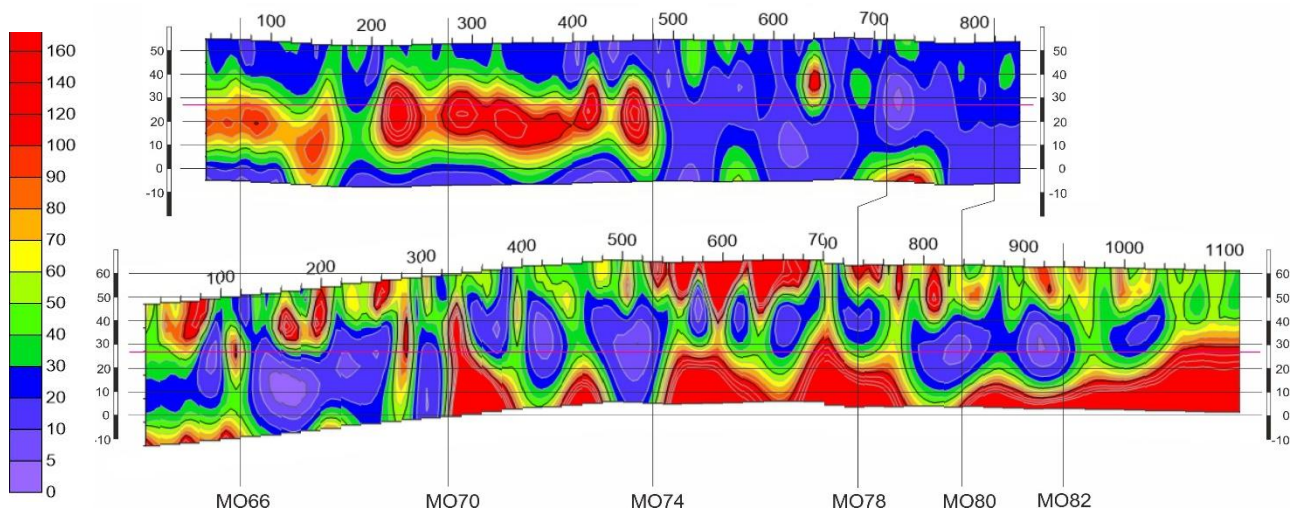


Рис. 2. Результати вирішення задачі інверсії даних ЕТ – імовірний електричний опір, Ом·м

На початку профілю +54 до пікету 480 м чітко простежується геоелектричний шар підвищеного опору потужністю 25...30 м, абсолютні позначки покрівлі якого мають порядок +30,0 м. Від пікету 480 м і далі на північ цей шар відсутній, і в розрізі спостерігаються низькоомні породи. Можливі два варіанти пояснення зникнення високоомного шару: шар виклинюється і заміщується електропровідними глинистими породами; шар обводнюється і його питомий електричний опір падає.

На профілі +66 простежується електропровідний геоелектричний горизонт на глибині 15,0...20,0 м: потужність шару коливається від 20 до 30 м. В цілому геоелектричний розріз ускладнений впливом техногенних відкладень, що призводить до уявних змін потужності і питомого опору шару.

Отримані результати свідчать про наявність в основі порідного відвалу шару обводнених відвальних порід, які за своїми електропровідними властивостями близькі до четвертинних глин і глин київського ярусу палеогену у їх природному заляганні.

Спостереження методом аудіомагнітотелуричного зондування (АМТЗ) на відвалі № 3 виконані в 9-ти фізичних точках апаратурою MTU-5A. Результати інтерпретації даних проведених на ділянці розташування відвалу № 3 польових геофізичних досліджень методом АМТЗ дають підставу вважати, що нижня частина відвалу знаходиться в стані, близькому до водонасиченого. Про це може свідчити наявність в досліджуваному інтервалі до глибини 60,0 м зон з низьким імовірним електричним опором – від 0...30 до 100 Ом·м, причому, в межах профілю +54 за імовірним опором виділяються дві ділянки: з підвищеним опором в межах м.о. 66...74 (більше 100 Ом·м, що може свідчити про наявність здренованих проникних порід), і зниженим опором в межах м.о. 94 74...80 (менше 30 Ом·м, ймовірно свідчить про наявність в основі відвалу зони водонасичених слабопроникних порід)

Імовірне висотне положення поверхонь обводнених відвальних порід для розглянутих профілів +54 і +66, очевидно, може бути охарактеризовано абсолютними відмітками + 30,0...45,0 м (рис. 3).

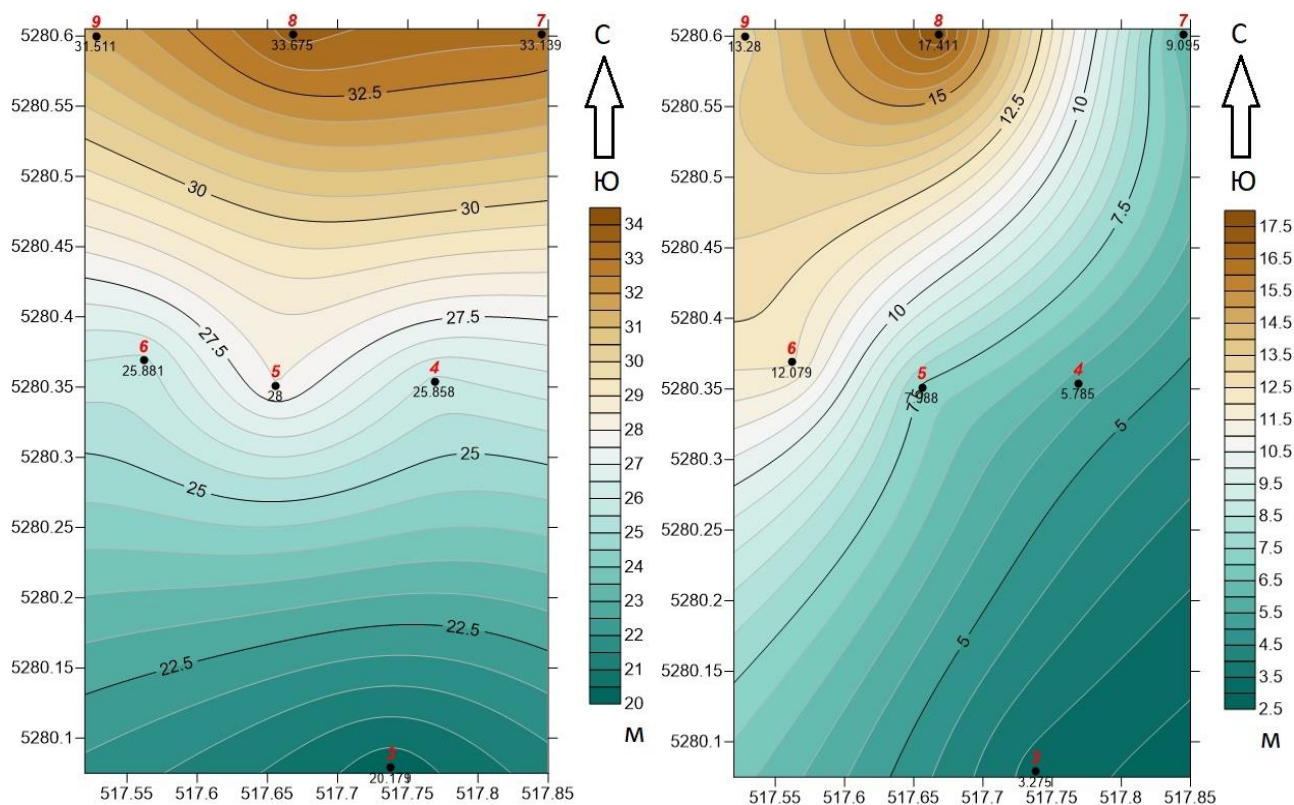


Рис. 3. Ізогіпси покрівлі модельованих шарів геоелектричного розрізу за результатами інтерпретації даних аудіомагнітотелуричного зондування, а – поверхня обводненої зони; б – покрівля київських глин, м

Згідно з даними АМТЗ імовірний розподіл рівнів води (поверхні зони водонасичення) в підшві порідного відвалу характеризується абсолютними відмітками 20,2 ... 33,7 м, із загальним ухилом рівної поверхні з півночі на південь – від точки 9 (+33,67 м) до точки 3 (+20,18 м).

Прогнозна оцінка величин кар'єрних водоприпливів та їх розподілу в межах

східного борту кар'єру виконана для умов будівництва нового русла р. Інгулець відповідно до його проектного положення [6] з урахуванням перспективного розвитку гірничих робіт на період до 25 років. До групи прогнозних задач, вирішення яких виконано за результатами геофільтраційного моделювання, відносяться:

- дослідження гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при будівництві нового русла р. Інгулець для умов існуючого положення контуру кар'єру;

- оцінка ефективності проекрованої протифільтраційної завіси за умови будівництва нового русла р. Інгулець при існуючому положенні контуру кар'єру;

- дослідження гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при прогнозованому просуванні контуру кар'єру за умови спорудження нового русла р. Інгулець;

- оцінка ефективності проекрованої протифільтраційної завіси в умовах прогнозованого просування контуру кар'єру.

Прогнозна оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці східного борту кар'єру в умовах спорудження нового русла р. Інгулець показала, що будівництво нового русла впливає переважно на зниження водоприпливів до південної ділянки східного борту – в межах м.о. 30...62, тоді як межах його північної ділянки в м.о. 62...90 цей вплив мінімальний, що визначається відносною віддаленістю північно-східного борту кар'єру від ділянки будівництва нового русла.

В умовах проектного положення контуру кар'єру приріст прогнозних водоприпливів відбувається як в межах південної, так і північної ділянок східного борту, складаючи відповідно на ділянках їх концентрації 839,8 м<sup>3</sup>/добу в м.о. 30...46 і 603,09 м<sup>3</sup>/добу – в м.о. 58...74. Наявність ділянок піднятого залягання покрівлі київських глин сприяє утворенню в межах м.о. 46...50 і 52...58 зон осушення алювіального горизонту, що свідчить про зменшення імовірності формування на контурі східного борту кар'єру значних водоприпливів.

Ефективність протифільтраційної завіси з гідравлічною проникністю до 0,001 м/добу, шириною 0,7 м і заглибленням в глини київського ярусу палеогену забезпечується при її спорудженні на західному контурі р. Інгулець в межах м.о. 22...74, за рахунок чого відбувається зниження водоприпливу в кар'єр в межах м.о. 26...90 до величини 540,2 м<sup>3</sup>/добу при існуючому положенні контуру кар'єру. При цьому спостерігається формування зон осушення алювіального горизонту на контурі кар'єру в межах м.о. 34...70. В умовах розвитку гірничих робіт на 25 років протифільтраційна завіса забезпечує підтримку зниження кар'єрних водоприпливів на рівні 479,7 м<sup>3</sup>/добу з формуванням основних їх об'ємів у межах м.о. 30...34 і 70...74 (рис. 4).

Зважаючи на наявність обводненої зони в підшві складованих у відвал № 3 порід і можливість формування гідравлічного підпору в межах східного укосу відвалу закладення протифільтраційної завіси доцільно здійснювати в алювіальних відкладеннях нижче ординарної відмітки рівня води в р. Інгулець +22,2 м для забезпечення можливості розвантаження техногенного горизонту і сприяти підвищенню гідрогеомеханічної стійкості східного укосу відвалу.

Подовження протифільтраційної завіси до м.о. 90 не здійснює визначального впливу на величини кар'єрних водоприпливів в межах м.о. 59...98, проте, може перешкоджати розвантаженню ґрунтових вод з обводненої зони у підшві відвалу і, як наслідок, створювати передумови для порушення стійкості його східного укосу.

За результатами чисельного гідрогеомеханічного моделювання встановлено, що стійкість північно-східного борту кар'єру визначається особливостями будови ділянки кар'єру і характером її обводнення. Встановлений за результатами моделювання напружено-деформований стан ділянки сполучення північно-східного борту кар'єру і відвалу № 3 характеризується формуванням зон зсувів в межах двох контурів – в межах 100-метрової ділянки з охопленням уступів відвалу +41,0... +48,7 м, і в межах 300-метрової ділянки – в границях уступів +68,9 і +80,1 м, тобто в межах контуру, який відповідає верхній границі зсуву, що відбувся у 1993 році.

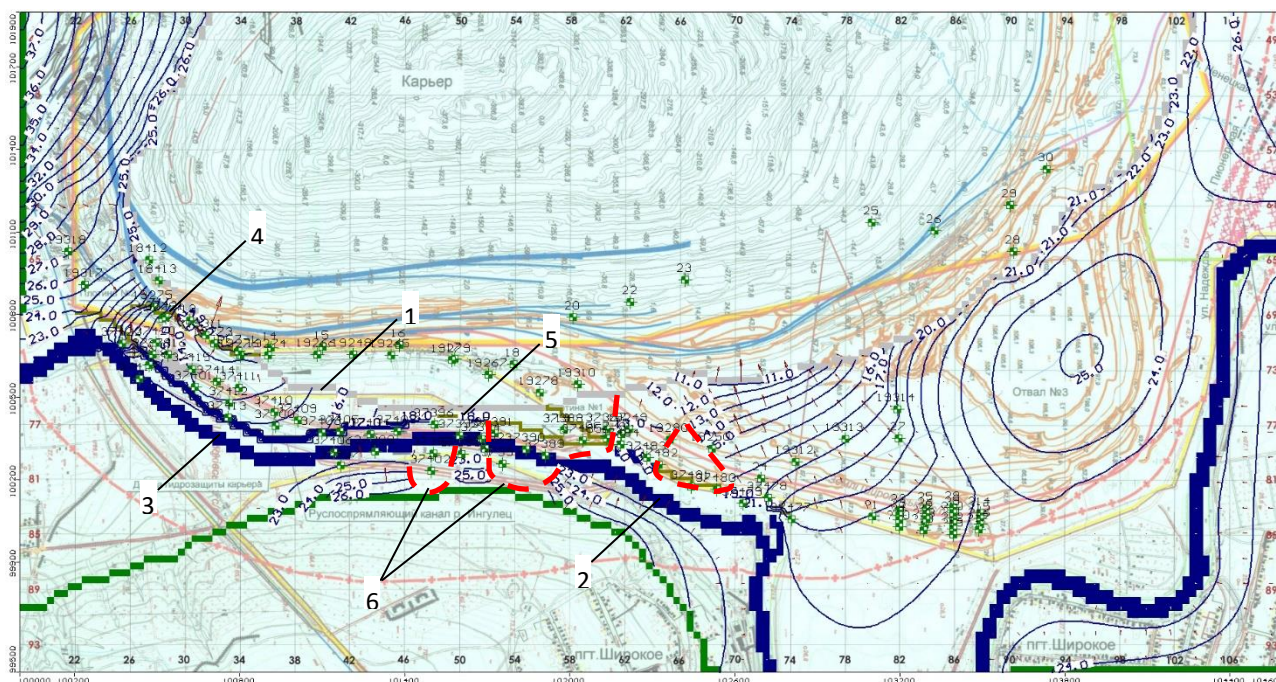


Рис. 4. Положення рівневої поверхні алювіального водоносного горизонту в умовах проектного положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проектне положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектане нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована ПФЗ; 6 – зона осушення

При відсутності забезпеченого дренажного водовідведення на ділянці спорудження дренажно-утримуючих призм в інтервалі горизонтів  $\pm 0,0/-15,0$ ;  $-15,0/-30,0$  гідрогеомеханічна стійкість навантажених відвальними породами зсувонебезпечних в межах м.о. 66...68 і 72...74 характеризується величинами коефіцієнту запасу стійкості відповідно  $K_{cm} = 1,26$  і  $K_{cm} = 1,10$ . Підвищення стійкості

борту кар'єру до  $K_{cm} = 1,30$  або вище, досягається за умови розвантаження приконтурної ділянки шириною до 100 м в межах уступів відвалу +41,0... +48,7 м до відмітки 26,0 м. За умови забезпечення надійного водозниження на ділянці дренажно-утримуючих призм в уступах  $\pm 0,0/-15,0$ ;  $-15,0/-30,0$  реалізація ліквідаційних і протизсувних заходів на ділянці північно-східного борту кар'єру, включно зі спорудженням дренажно-утримуючих призм в інтервалі  $\pm 0,0/+12,0$  м, забезпечує підтримання його стійкості на рівні  $K_{cm} = 1,336$  і  $K_{cm} = 1,332$  відповідно для м.о. 68 і м.о 74.

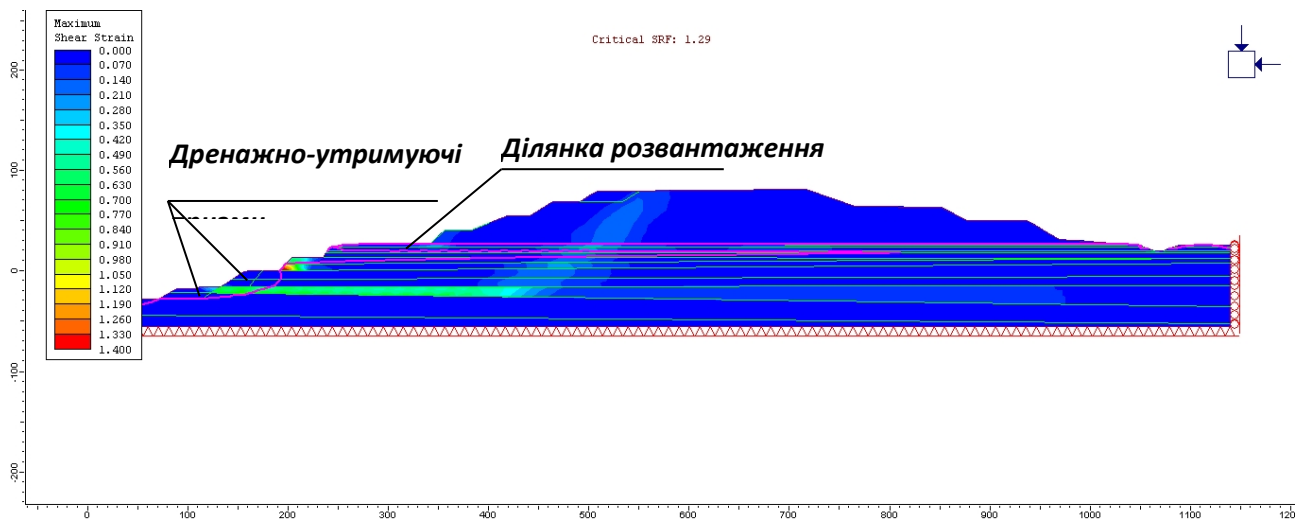


Рис. 5. Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і порідного відвалу № 3 в межах м.о. 72...74 при спорудженні дренажно-утримуючих призм в інтервалі горизонтів  $\pm 0,0/-15,0$ ;  $-15,0/-30,0$  і розвантаженні порідного відвалу в межах уступу +41,0...48,7 м, коефіцієнт запасу стійкості  $K_{cm} = 1,29$

**Висновки.** За результатами комплексу виконаних досліджень встановлено, що основними факторами, які визначають особливості формування гідродинамічного режиму на ділянці східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та його гідргеомеханічний стан, є тісний гідравлічний зв'язок алювіального водоносного горизонту, який розкрито бортом кар'єру, з руслом річки Інгулець та наявність сформованого техногенного водоносного горизонту в основі порідного відвалу № 3.

Серед заходів, спрямованих на забезпечення гідргеомеханічної стійкості східного борту кар'єру та його північно-східної ділянки, мають бути:

- забезпечення надійного водовідведення на ділянках спорудження дренажно-утримуючих призм, особливо в межах уступів, складених глинистими відкладеннями в зоні контакту київських і бучацьких глин (горизонти  $\pm 0,0/-15,0$ ;  $-15,0/-30,0$ ), а також київських глин в підшві алювіального водоносного горизонту (горизонт  $+12,0/\pm 0,0$ );

- дренажне водовідведення на контурі відвалу № 3 в смузї розвантаження приконтурної ділянки північно-східного борту кар'єру на відмітці +26,0 м за умови виїмки складованих у відвал порід горизонту +41,0...+48,0 м;



- організація відведення поверхневого стоку в межах відвалу № 3, в тому числі за рахунок спорудження прямотоків, для запобігання додатковій інфільтрації атмосферних опадів у масив відвальних порід і формуванню водонасиченої зони в підшві відвалу;

- проведення режимних геофізичних спостережень та створення мережі спостережних гідрогеологічних свердловин в межах ділянки вилучення складованих до відвалу порід на контурі північно-східного борту кар'єру та на північно-східній і північній ділянках порідного відвалу.

#### Перелік посилань

1. Тимошук, В. І., Савюк, О. А., & Шерстюк, Є. А. (2018). Закономірності формування кар'єрних водоприпливів з алювіального водоносного горизонту на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ ІНГЗК. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (54), 128-140. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/znpngu\\_2018\\_54\\_15.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/znpngu_2018_54_15.pdf)
2. Tymoshchuk, V., Sherstiuk, Y., & Morozova, T. (2018). Analysis of patterns of the open-pit mine water influx formation in the conditions of the Inhulets iron ore deposit using a three-dimensional geofiltration model. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 60, p. 00030). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000030>
3. Романенко А.О. (2013). Районування кар'єрного поля за фактором стійкості бортів. *Екологія і природокористування*, (17). 152-157. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/ecolpr\\_2013\\_17\\_20.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ecolpr_2013_17_20.pdf)
4. Шустов, О. О., Петльований, М. В., Зубко, С. А., & Шерстюк, Є. А. (2019). Геомеханічні проблеми стійкості природно-техногенних масивів рудних родовищ. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (58), 154-165. <http://doi.org/10.33271/crpnmu/58.154>
5. Дриженко А.Ю., Шустов, А.А., Адамчук, А.А., & Никифорова, Н.А. (2017). Совершенствование технологии открытой разработки железорудных карьеров Украины при их углубке. *Зб. наук праць НГУ*, 52. 79-86. <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/150854/11.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Григорьев, Ю.И., Миронов, М.Д., & Дрок, А. В. (2016). Технические решения по отработке Ингулецкого месторождения карьером ЧАО "ИнГОК" в границах лицензионной площади. *Геотехнічна механіка*, (129). 115-121. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/138236/12-Grigorev.pdf?sequence=1>
7. Несмашный, Е. А., Ткаченко, Г. И., & Болотников, А. В. (2018). Геомеханическое обоснование геометрических параметров бортов карьера ЧАО "ИНГОК" на предельном контуре. *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць*, 46. 19–25. <http://doi.org/10.31721/2306-5451-2018-1-46-20-25>
8. Несмашный, Е.А., Ткаченко, Г.И., & Болотников, А.В. (2016). Расчет устойчивости участка Восточного борта карьера ПАО ИнГОК в песчано-глинистой толще. *Вісник Криворізького національного університету*, (41), 64-69. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu\\_2016\\_41\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2016_41_16)
9. Тимошук В.И., & Шерстюк Е.А. (2012). Закономерности геофильтрации в зоне гравитационно нагруженных участков хвостохранилищ и отвалов горных пород. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 30-36. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2012\\_4\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2012_4_8)
10. Тимошук В.И., Тишков В.В., & Шерстюк Е.А. (2013). Гидродинамическое обоснование водорегулирующих мероприятий на участке шламонакопителя в балке Ясиновая Днепропетровской области. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 5-10.

<http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/monografii-i-innovatsii/monografii/773-ruscat/arkhiv-zhurnala/2013/soderzhanie-3-2013/geologiya/2161-gidrodinamicheskoe-obosnovanie-vodoreguliruyushchikh-meropriyatij-na-uchastke-shlamonakopitelya-v-balke-yasinovaya-dnepropetrovskoj-oblasti>

11. Kinzelbach W. (1986). *Groundwater modeling*. Elsevier.

#### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Установить закономерности формирования карьерных водопритоков к восточному борту карьера ЧАО "ИнГОК" и выполнить оценку гидрогеомеханического состояния его северо-восточного участка для обоснования технических решений по его гидрозащите в условиях перспективного развития горных работ.

**Методика исследования.** Заключается в комплексном исследовании геолого-гидрогеологических условий и геомеханического состояния восточного борта карьера ЧАО "ИнГОК" с применением геофизических методов разведки, математического моделирования геофильтрационных и геомеханических процессов в породных массивах в условиях, определяемых сложным взаимодействием природных и технических элементов в системе "железорудный карьер – породный отвал № 3 – аллювиальные отложения в пойме реки Ингулец".

**Результаты исследования.** По результатам выполненных геофизических исследований в составе электротомографии и аудиомагнитотеллурического зондирования уточнено геологическое строение участка восточного борта карьера и определено положение уровня подземных вод в техногенном водоносном горизонте в пределах породного отвала № 3. На основе установленных закономерностей формирования гидродинамического режима в пределах восточного борта карьера выполнен прогноз карьерных водопритоков и их распределения в условиях строительства нового русла р. Ингулец в соответствии с его проектным положением с учетом перспективного развития горных работ. По результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния северо-восточного участка борта карьера определены зоны ослабления нарушенного горными работами породного массива и обоснованы подходы к повышению его устойчивости.

**Научная новизна.** Получены новые данные о характере залегания горных пород и техногенного водоносного горизонта в пределах восточного борта карьера и в основании отвала № 3. Мероприятия по повышению устойчивости прибортового массива обоснованы благодаря системному вариантному изучению гидродинамических процессов и напряженно-деформированного состояния пород, слагающих восточный борт карьера.

**Практическое значение.** Результаты выполненных исследований составляют основу для обоснования технических решений по обеспечению устойчивости северо-восточной части борта карьера ЧАО "ИнГОК" в условиях проектируемого развития горных работ.

**Ключевые слова:** железорудный карьер, подземные воды, гидродинамический режим, геофизические исследования, математическое моделирование, карьерные водопритоки, гидрогеомеханическая устойчивость, противифльтрационная завеса

#### ABSTRACT

**Purpose** is to determine the regularities of mining water inflows to the eastern side of the pit PJSC "InGZK" and assess the hydrodynamic and geomechanical state of its northeastern section to substantiate the technical solutions for its hydraulic protection in terms of prospective development of mining operations.

**The methodology** of research consists in a comprehensive study of the geological and hydrogeological conditions and the geomechanical state of the eastern side of the open pit PJSC "InGZK" using geophysical methods of exploration, numerical modeling of groundwater flow and stress-strain state in rock massifs under conditions defined by the complex interaction of natural and technical elements in the system "iron ore pit – rock dump No. 3 – alluvial sediments within the Inhulets river floodplain".

**Findings.** The geological structure of the eastern side section of the pit has been specified and the watertable elevation of the technogenic aquifer within the rock dump No. 3 has been determined by the results of geophysical studies performed, consisting of electrotomography and audiomagnetotelluric sounding. The forecast of water influx and its distribution for the conditions of construction new Inhulets River channel according to its design position, taking into account the prospective expanding of mining operations, has been made on the basis of the defined regularities of hydrodynamic mode within the pit eastern side. Weakening zones of the rock mass disturbed by mining operations have been determined and approaches to increasing its stability have been substantiated based on the results of numerical stress-strain state modeling of the pit wall northeastern section.

**The originality.** New data on the nature of geological strata bedding and technogenic aquifer within the eastern side of the open pit and at the base of dump No. 3 have been obtained. Measures to increase the rock mass stability near pit side are justified through the systematic variant study of hydrodynamic processes and the stress-strain state of the rocks composing the eastern side of the open pit.

**Practical implications.** The results of the performed studies form the basis for substantiating technical solutions to ensure the stability of the northeastern part of the pit side in terms of prospective development of mining operations.

**Key words:** *iron ore open pit, groundwater, groundwater flow mode, geophysical studies, numerical modeling, open pit mine influx, geomechanical stability, cut-off wall.*