

А. О. ГУРЖІЙ (Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка)

РОБОТА ЗБІРНИХ ТРУБ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРА (ПУЛЬПОВОДІВ) НА НАМИВНИХ ҐРУНТАХ ХВОСТОСХОВИЩА ҐЗК

Розглянуто результати вивчення впливу деформацій дамб хвостосховища на пульповоди. Пропонується при проектуванні трас пульповодів проводити розрахунки деформацій основи під пульповодом для обґрунтування захисту пульповодів від руйнування.

Рассмотрены результаты изучения влияния деформаций дамб хвостохранилища на пульповоды. Предлагается при проектировании трас пульповодов проводить расчеты деформаций основы под пульповодом для обоснования защиты пульповодов от повреждения.

The research results of influence of the deformation of tailing-dump dams on the sludge lines are considered. In designing the routes of sludge lines, it is offered to calculate the base deformations under the sludge line to substantiate the anti-destruction protection of sludge lines.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями

В даний час трубопровідний вид транспорту широко застосовується в гірничодобувній промисловості. Аналіз сучасних технологій транспортування і переробки корисних копалин в умовах шахт і рудників України вказує на широкий спектр застосовуваних видів трубопровідного транспорту. При цьому трубопровідний транспорт використовується як у виді магістральних систем, що представляють собою одне з основних технологічних ланок процесу видобутку або збагачення, але також широко використовується для забезпечення менш значних і допоміжних виробничих процесів [1].

Поширеність трубопровідного транспорту в гірничодобувній галузі, обумовлена різноманітністю можливих схем його застосування. Він є незамінною технологічною ланкою в складі вуглесосних і землесосних установок, гідромеханізації кар'єрів, збагачувальних фабрик, а також наміванні дамб хвостосховищ.

У практиці прокладання пульповодів використовуються дані про рельєф місцевості (балки, яри, водостоки). В аномальних зонах проектуються підтримуючі опори, компенсатори, обходи (подовження траси) і т.д. [2]. Але при прокладанні пульповодів не враховуються дані структурної оцінки їх профілів, що приводить надалі до порушення цілісності тіла пульповоду, який виготовляється звичайно зі сталі. Небезпека проривів полягає не тільки у втратах рідини, що транспортується, але і розмиві тіла дамби, що може призвести до аварії, яка нанесе також і негативні екологічні наслідки. Тому

важливим практичним завданням є дослідження деформацій, що виникають в тілі дамби під пульповодом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми

Результати останніх публікацій свідчать про наявність трудомістких проблем у технологічному процесі гірничорудного виробництва. Не завжди проводяться необхідні комп'ютерні дослідження із використанням останніх методик. Це призводить у підсумку до аварійних ситуацій на гідротехнічних спорудженнях і навіть до зупинки підприємства.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття

Виникаючі швидкоплинні аварії на дамбах (греблях) хвостосховища, як правило, відносять до категорії «раптових», а причиною аварії, що відбулася, в основному, вважають порушення технології складування хвостів (шламів), переповнення ємкостей і т.д., але тільки не стан гірського масиву хвостосховища. Тому важливим завданням є дослідження деформацій огорожувальних дамб хвостосховища для обґрунтування захисту пульповодів від руйнування.

Формулювання мети статті

Виявити вплив масиву огорожувальної дамби хвостосховища на виникнення і розвиток у насипних ґрунтах ослаблених і аварійно-небезпечних ділянок під пульповодом. Розгля-

нути та порівняти розраховані (за програмою і аналітично) та вимірні значення деформацій основи ґрунту під пульповодом.

Виклад основного матеріалу досліджень

Обсяги гідромеханізації земляних робіт, а також гідротранспорту і наміву найрізноманітніших матеріалів у різних галузях народного

господарства безупинно збільшуються і складають більше мільярда кубічних метрів гірської маси в рік. Значну частину в обсязі цих робіт складає намів хвостосховищ.

Із 1970 року експлуатується хвостосховище Полтавського ГЗК. Поділено воно на два діючих відсіки I і II (об'єднані) і III відсік (рис. 1).

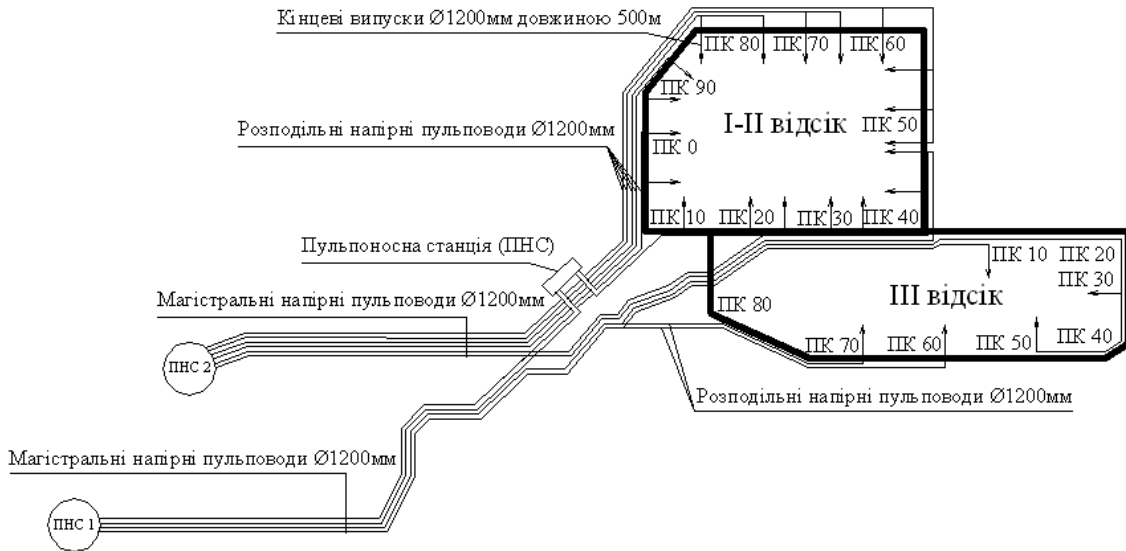


Рис. 1. Схема розкладки пульповодів

Подача пульпи в чашу I-го та II-го відсіку виконується магістральними і розподільними пульповодами (див. рис. 1), покладеними по гребеню на відмітках 67,0 м; 75,0 м.; 78,5 м.; 89,0 м; 91,0 м. Розподільні пульповоди III-го відсіку покладені на бермах з відмітками 76,0 м.; 79,3 м.; 80,6 м; 83,40 м. Ширина берм дозволяє укладання пульповодів, а також улаштування експлуатаційних автодоріг для обслуговування.

Неврахування сучасних тенденцій у технологічному процесі гірничорудного виробництва призводить у підсумку до аварійних ситуацій на гідротехнічних спорудженнях і навіть до зупинки підприємства.

Розглянемо найбільш характерні аварії хвостосховища Полтавського ГЗК. 26 травня 2003 року на відмітці 89,0 м огорожувальної дамби біля ПК72 відбулася осадка ґрунту в районі проходження пульповоду через автодорогу. Була виконана підсіпка автодороги щебенем. Осадка була замічена своєчасно, це дозволило не допустити розриву пульповоду. А у жовтні цього ж року осадка основи під пульповодом у районі ПК49 викликала його руйнування. У результаті прориву пульповоду була розмита частина огорожувальної дамби товщиною 0,2...0,3 м із відмітки 89,0 м до відмітки

76,60 м. 15 травня 2005 року по периметру карти 4 та у вересні при наміванні карти 14 під пульповодом були замічені повздовжні тріщини шириною 20...30 мм. Цього ж місяця утворилися повздовжні тріщини шириною до 40 мм на перемичці карт 4 і 5 в районі ПК29+30 та під пульповодом на перемичці 14 і 15 карт.

У країнах із розвинутою гірничорудною промисловістю трапляються руйнування хвостосховищ, що приносять значний збиток економіці, а в ряді випадків – супроводжуються людськими жертвами. Трубопровідний транспорт значно економічний, ніж залізничний, водний або автомобільний. Тому важливими практичними завданнями є питання про надійну та безперебійну роботу трубопроводів.

В результаті обстежень ділянки пульповоду, які було проведено у червні 2006 року біля ПК 45 III-го відсіку, було зафіксовано та виміряно повздовжні тріщини шириною 20...30 мм огорожувальної дамби під пульповодом. Повздовжня тріщина проходила як з одного боку пульповоду, так і з іншого (рис. 2).

Сучасний рівень програмного забезпечення дозволяє спрямувати методи моделювання НДС систем «споруда-основа» на розв'язання практичних завдань.

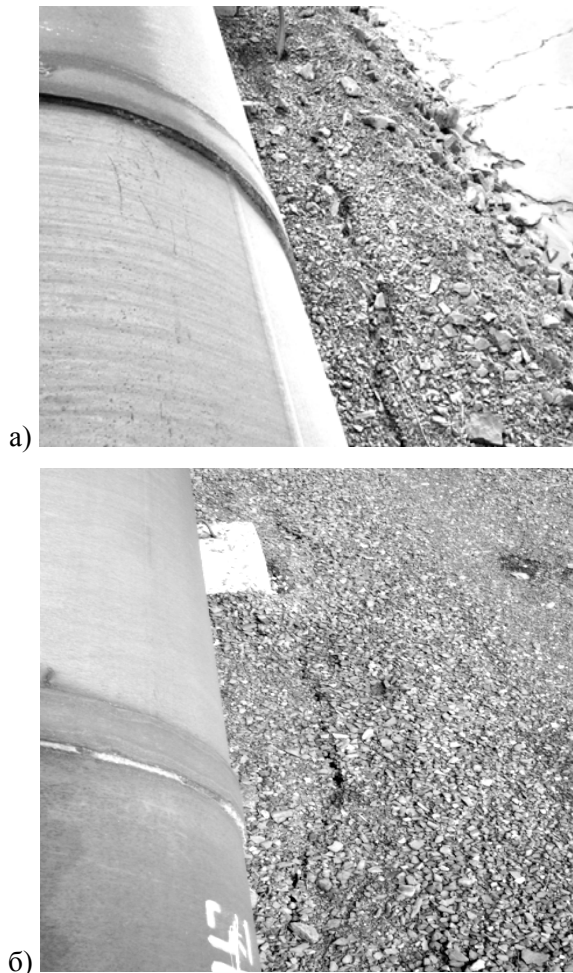


Рис. 2. Осідання огорожувальної дамби під пульповодом біля ПК45 III-го відсіку:
 а) – тріщина зі сторони карти наміву;
 б) – тріщина зі сторони автодороги

Тому розроблення методології розрахунку, в якій би поєднувався досвід експериментальних досліджень НДС основ при зведенні й експлуатації споруд із досягненнями математичного моделювання, є актуальним напрямом досліджень.

Широкі можливості при оцінці НДС відкривають, так звані, чисельні методи рішення, запозичені з механіки твердого деформуючого тіла. Найбільш ефективний з них – метод скінченних елементів (МСЕ). Суть методу полягає в тому, що суцільне тіло розглядають як таке, що складається із скінченного числа окремих елементів, що впритул прилягають один до одного і шарнірно скріплені між собою у вершинах цих елементів.

Застосування в практиці інженерних розрахунків стало можливим із розвитком і доступністю обчислювальної техніки. В останні два десятиліття завдяки застосуванню цього методу істотно розширився клас задач, розв'язуваних у механіці гірських порід.

Сучасні стандартні програмні засоби дозволяють суттєво розширити можливості методу скінченних елементів (МСЕ). Так, наприклад, для оцінювання напружено-деформованого стану системи «хвостосховище-основа» може бути використаний програмний комплекс «CONCORD-4.2», розроблений професором С. Ф. Клованичем за участю фахівців Полтавського НТУ ім. Ю. Кондратюка, який добре адаптується для розрахунків такого типу задач. Програмний комплекс призначений для рішення різних, як зовнішніх, так і внутрішніх задач механіки твердого тіла. Реалізована плоска задача (плоский напружений і плоский деформований стан) із використанням ізопараметричних скінченних елементів загального виду першого порядку [3].

На прикладі Полтавського ГЗК розглянемо рішення задачі оцінювання НДС дамби хвостосховища. Із загального масиву виділяємо область, яка нас цікавить. У даному випадку це геологічний розріз огорожувальної дамби III-го відсіку біля ПК45. При побудові розрахункової схеми враховано літологічне залягання ґрунтів [4].

Відповідно до геологічного розрізу вводимо у програму механічні характеристики прошарків ґрунту: питому вагу (γ), коефіцієнт Пуассона (ν), значення кута внутрішнього тертя (ϕ), зчеплення (c) й модуля деформації (E).

Виділивши на розрахунковій схемі окремі шари ґрунтів, розбиваємо область на скінченні елементи. В загальному випадку середовище є неоднорідним за своїми механічними властивостями. Однак розбивку на елементи зроблено так, що у межах кожного елемента ділянка середовища розглядається як однорідна. Причому, будь-який інший елемент, залишаючись так само однорідним, характеризується показниками механічних властивостей, відмінними від інших [5]. Таким чином, система елементів в цілому представляє неоднорідне середовище.

Точність і надійність моделювання залежить від досконалості прийнятого алгоритму рішення задачі, достовірності розрахункової схеми конкретним умовам будівництва чи експлуатації споруд, точності прийнятих у розрахунках параметрів і характеристик матеріалів, урахування дії інженерно-геологічних і техногенних процесів, послідовності будівництва і т.п. [6].

У межах площадки досліджень розрахункової схеми на глибину до 20,0 м поширені техногенні ґрунти чаші і дамб обвалування хвостосховища. Дамба з відміткою 89,75 м відноситься до вторинних дамб, утворених шляхом

відсіпання хвостів. Висота дамби складає 13,55 м. Насипні ґрунти тіла дамби залягають на намивних ґрунтах – хвостах чаші сховища. Хвости характеризуються середньощільним і рихлим складенням, в окремих інтервалах – щільним. Чітко вираженої закономірності в заміщенні літологічних різновидів хвостів не простежується. На глибину 1,0...2,0 м дамба укріплена скельним накиданням із кварцитів.

Далі геологічний розріз складають насипні ґрунти тіла дамби: техногенні ґрунти по гранулометричному складу відповідають піскам дрібним, середньої крупності, пилуватим, рідше – супіскам.

Розглянемо результати розрахунку дамби III-го відсіку хвостосховища. На рис. 3 показано розрахункову схему із зазначенням усіх шарів.

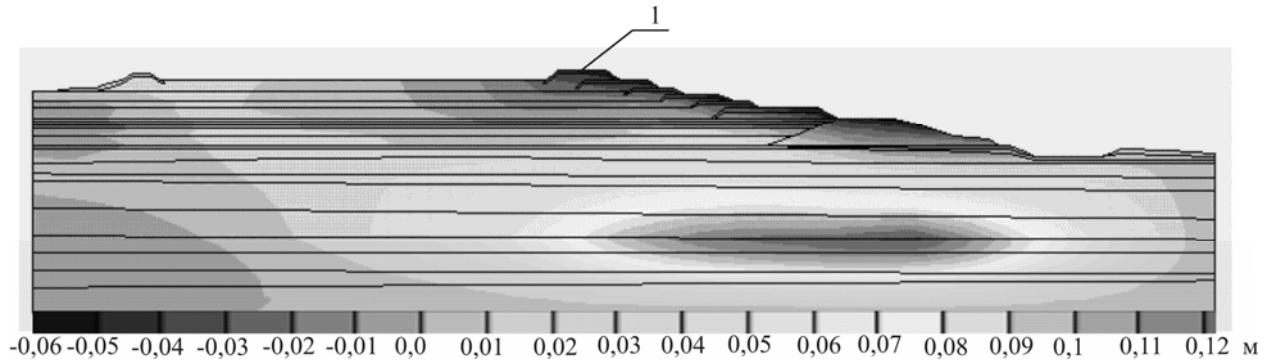


Рис. 3. Ізополя деформацій дамби при її самоущільненні:
1 – досліджувана ділянка дамби під пульповодом

При виведенні результатів розрахунку показана кольорова шкала, яка дозволяє оцінити ступінь небезпеки руйнування породного масиву у довільній його точці.

Отже, за результатами математичного моделювання (див. рис. 3.) отримали переміщення

основи під пульповодом на досліджуваній ділянці 0,035 м.

На рис. 4 показано напрямок переміщень шарів тіла дамби. Із рисунка видно, що напрямок руху шарів основи дамби протилежний намивним ґрунтам.

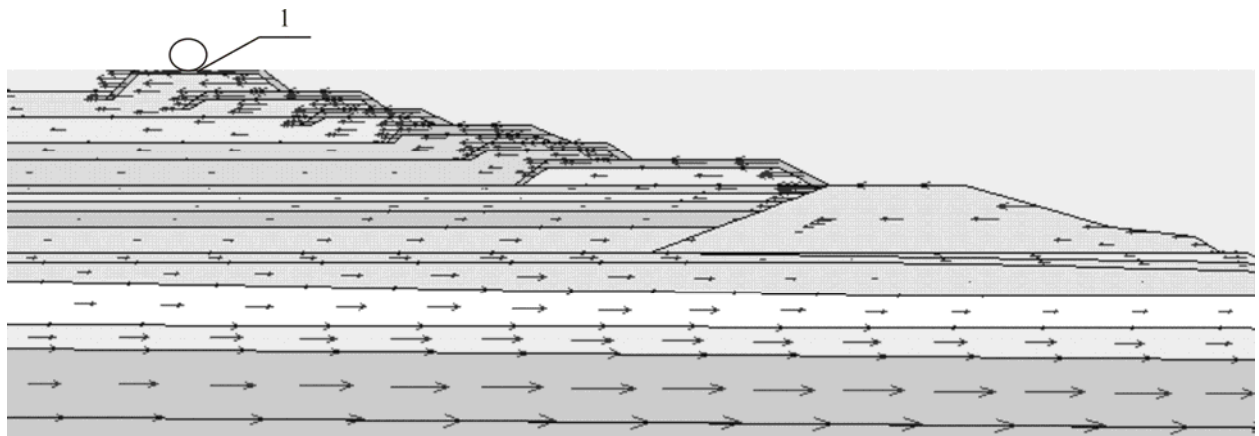


Рис. 4. Схема напрямку переміщень шарів тіла дамби та її основи:
1 – досліджувана ділянка дамби під пульповодом

Переміщення порід основ, що трансформуються намивними ґрунтами, викликають при цьому в ґрунтах перерозподіл напруженого стану, це і призводить до виникнення і розвитку тріщин розриву в різних напрямках щодо подовжньої осі дамби. Виявлений напрям переміщень масиву хвостосховища за програмою (рис. 4) пояснює ширину розкриття тріщин (рис. 2): тріщина зі сторони карти намиву ширша за розкриттям, ніж та, що зі сторони автодороги. Таким чином, розраховані переміщення

за програмним комплексом «CONCORD» реально відображають процес, що відбувається в масиві ґрунту дамби.

Результати, отримані при моделюванні, були підтвержені спостереженнями за деформаціями огорожувальної дамби за допомогою системи контрольно-виміральної апаратури (КВА). Встановлена КВА в тілі огорожувальної дамби (по гребеню). Саме на довжині досліджуваної ділянки 4 м було виявлено деформацію основи під пульповодом від 3 см до 4 см.

Розрахуємо максимальне переміщення λ_0 пульповоду на цій же ділянці, яке виникне від деформації основи. За СНиП 2.05.06-85 [7]:

$$\lambda_0 = \frac{1}{2} \left(\psi - \sqrt{\psi^2 - 3,75 \frac{\tau_{гр.оп.} l^2}{E_0 \delta_n} \Phi_1 \xi_0} \right) = \frac{1}{2} \times$$

$$\times \left(8191,56 - \sqrt{8191,56^2 - 3,75 \frac{0,153 \cdot 400^2}{2,2 \cdot 1,2} 0,883 \cdot 3,5} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} (8191,56 - \sqrt{67101658 - 107465}) =$$

$$= \frac{1}{2} (8191,56 - 8184,998) = \frac{1}{2} 6,56 = 3,28 \text{ см,}$$

де

$$\psi = \xi_0 + 0,2u_{\max} + \frac{\tau_{гр.оп.} l^2}{E_0 \delta_n} \Phi_1 = 3,5 + 0,2 \cdot 1,21 +$$

$$+ \frac{0,153 \cdot 400^2}{2,2 \cdot 1,2} 0,883 = 8191,56 \text{ см;}$$

$\xi_0 = 3,5$ – максимальне зрушення земної поверхні, см; $\tau_{гр.оп.} = 0,153$ – граничний опір ґрунту повздовжнім переміщенням пульповоду, МПа; $u_{\max} = 1,21$ – переміщення, що відповідає настанню граничного значення $\tau_{гр.оп.}$; $l = 400$ – довжина ділянки однозначних деформації земної поверхні, см; $E_0 = 2,2$ – модуль пружності, МПа; $\delta_n = 1,2$ – номінальна товщина стінки труби, см;

$$\Phi_1 = 0,9 - 0,65 \sin(l/l_m - 0,5) =$$

$$= 0,9 - 0,65 \sin(400/200 - 0,5) = 0,883;$$

$l_m = 200$ – довжина ділянки деформації пульповоду, см.

Отже, максимальне переміщення λ_0 пульповоду біля ПК45 III-го відсіку, яке виникне від деформації основи, за розрахунком буде дорівнювати 0,0328 м.

Висновки із даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

На основі проведених досліджень можна стверджувати, що при деформації основи 0,035 м під пульповодом на досліджуваній ділянці (одержаної за програмою) слід очікувати максимальне переміщення пульповоду 0,0328 м (розраховане за СНиП 2.05.06-85).

За отриманими результатами можна виявити та передбачити причини аварійних випадків, пов'язаних із розривами збірних труб (пульповодів), прокладених під і над високими насипами.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Таран, В. Д. Сооружение магистральных трубопроводов [Текст] / В. Д. Таран. – М.: Недра, 1964. – 544 с.
2. Казакевич, М. И. Проектирование конструкций надземных промышленных трубопроводов [Текст] / М. И. Казакевич, А. Е. Любин. – К.: Будівельник, 1989. – 160 с.
3. Клованич, С. Ф. Программа «Concord» для решения геотехнических задач методом конечных элементов [Текст] / С. Ф. Клованич // Вісн. Одеського нац. морського ун-ту. – 2003. – Вип. 10. – Одеса: ОНМУ, 2003. – С. 39-46.
4. Отчет об инженерно-геологических изысканиях по площадке III отсека хвостохранилища и трасы пульповодов [Текст]. – К.: УкрНИИВодоканалпроект. – арх. 16489.
5. Гольдштейн, М. Н. Механические свойства грунтов: (Напряженно-деформативные и прочностные характеристики) [Текст] / М. Н. Гольдштейн. – М.: Стройиздат, 1979. – 304 с.
6. Зоценко, М. Л. Розрахунки міцності і деформативності основ із використанням рішень нелінійної механіки ґрунтів [Текст] / М. Л. Зоценко, О. В. Борт // Розрахунок будівель та споруд спільно з основою: зб. матер. наук.-техн. семінару. – Львів, 2002. – С. 44-52.
7. СНиП 2.05.06-85 Магистральные трубопроводы [Текст]. – М.: Стройиздат, 1988. – 52 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2010.

Прийнята до друку 24.03.2010.