

## ПРОЕКТУВАННЯ ХВОСТОСХОВИЩ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ УКРАЇНИ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

При розробці корисних копалин, збагаченні та гідрометалургійному перероблянні руд і концентратів невід'ємною частиною рудопереробного виробництва промислових підприємств є хвостові господарства, які створюються для вирішення питань транспортування і організованого складування мінеральних відходів від збагачення руди. Основною спорудою хвостового господарства є хвостосховище – природно або штучно створена ємність для складування хвостів, які переміщують з місць їх утворення переважно гідравлічним способом [1]. Ємність хвостосховища по контуру обмежується огорожувальними дамбами комбінованого типу, які складаються із первинних дамб обвалування, що виконуються із суглинистого ґрунту, дамб нарощування, огорожувальних і роздільних дамб із кам'яного накидання (часто використовується розкрив рудних кар'єрів або бідні руди), що утворюють систему карт, які замиваються хвостами. При цьому висота окремих дамб досягає до 100 м і може збільшуватися в процесі подальшого нарощування. Крім того, хвостосховища відносяться до об'єктів з підвищеною екологічною небезпекою [2]. Таким чином, хвостосховища в залежності як від висоти дамб згідно з [3], [4], так і від можливої небезпеки та економічних збитків згідно з [5] мають клас наслідків (відповідальності) СС3 і відносяться до IV або V категорії складності [5], [6].

Проектування таких відповідальних споруд в Україні здійснюється згідно з вимогами діючих норм [3], [4], [6–9] і стандартів [10], [11], а їх надійність і безпечність експлуатації залежить від прийнятих технічних рішень. Міжнародно визнаними рекомендаціями при проектуванні аналогічних об'єктів є вимоги стандартів ICOLD [12–18] і ANCOLD [19], які є еталонами кращих світових практик при проектуванні промислових гідротехнічних споруд.

Метою даної статті є:

- порівняльний аналіз норм і стандартів України з вимогами міжнародних стандартів;
- аналіз технічних рішень, прийнятих ДІ «УкрНДІводоканалпроект» у проекті «ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Реконструкція хвостосховища «Об'єднане. IV карта» до відм. 166.0 м», на відповідність вимогам міжнародних стандартів.



**О.І. Оглобля**

директор  
ДІ «УкрНДІводоканалпроект»,  
заслужений діяч науки і техніки  
України, д.т.н., професор



**Т.В. Дзюдзя**

головний інженер проекту  
ДІ «УкрНДІводоканалпроект»

**Порівняльний аналіз вимог стандартів України [3–11] з міжнародними стандартами ICOLD і ANCOLD [12–19] при проектуванні промислових гідротехнічних споруд.**

**Класифікація гідротехнічних споруд.** Розглянувши основні принципи класифікації споруд відповідно до вимог стандартів України та міжнародних стандартів ICOLD і ANCOLD, можна дійти висновку, що підходи до класифікації аналогічні, а саме враховується:

- матеріальна шкода;
- вплив на навколишнє середовище;
- небезпека, що виникає при пошкодженні споруди (кількість постраждалих).

Також можна відзначити і деякі відмінності щодо вимог. Для стандартів України це класифікація наслідків залежно від висоти огорожувальних дамб, а для міжнародних стандартів – класифікація наслідків залежно від рівня повені.

**Оцінювання сейсмічної небезпеки.** Порівняльний аналіз вимог України (ДБН В.1.1-12 [8]) і міжнародних (ICOLD B72 [14]) нормативів з оцінки сейсмічної небезпеки при проектуванні гідротехнічних споруд дозволяє констатувати наступне: для сейсмологічних умов України вибір періоду повторюваності в 5000 років для оцінки консервативного рівня сейсмічної небезпеки (максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ) за ДБН В.1.1-12 [8]), з одного боку, задовольняє національну нормативну базу, а з іншого – кількісні оцінки сейсмічності будуть практично однаковими і для періоду повторюванос-

ті 10000 років (аналог МРЗ – SEE по ICOLD-B72 [14]). Це пов'язано з тим, що в сейсмотектонічних умовах України має місце ефект насичення сейсмічної інтенсивності, коли, починаючи з деякого періоду повторюваності, сейсмічна інтенсивність практично не збільшується при збільшенні періоду повторюваності. Поняття МРЗ із періодом струсу 1 раз на 10000 років втрачає сенс, оскільки крива залежності сейсмічної інтенсивності від періоду повторюваності на цьому періоді вже входить до області насичення і практично не відрізняється для періоду повторюваності в 5000 років.

**Оцінювання потенціалу зосередженої фільтрації.** Порівняльний аналіз вимог України (ДБН В.2.4-5 [3]) і міжнародних ICOLD B97 [17] нормативів стосовно явища зосередженої фільтрації при проектуванні гідротехнічних споруд свідчить про те, що основні підходи до визначення зосередженої фільтрації дуже близькі. Основоположним принципом є стійкість ґрунту, з якого відсипається тіло дамби, до явища суфозії.

**Оцінювання ризиків, що виникають при прориві огорожувальної дамби.** Порівняльний аналіз вимог України (ДБН В.2.4-5 [3]) і міжнародних ICOLD B97 [17] нормативів із визначення і оцінювання ризиків, що виникають при прориві огорожувальної дамби, дозволяє констатувати наступне: основні підходи до оцінювання ризиків дуже близькі. Основоположним принципом є гіпотетичне припущення можливості прориву дамби і визначення зон затоплення.

**Розрахунки фільтрації, міцності та стійкості.** Чинні будівельні норми України в галузі проектування напірних гідротехнічних споруд та їх основ досить детально регламентують якісний і кількісний склад розрахунків, необхідних для розроблення надійних і технічних рішень. Зіставляючи українські норми та рекомендації ICOLD (ANCOLD), можна відзначити багато спільного в підходах і методах у частині рекомендованих розрахунків. Наприклад, у чинному СНиП 2.06.05 п. 5.10\* [20] зазначено:

*«Расчеты устойчивости откосов ... следует выполнять для круглоцилиндрических поверхностей сдвига. При наличии в основании или теле сооружения ослабленных зон ... с более низкими прочностными свойствами... следует выполнять расчеты для произвольных поверхностей сдвига. При расчетах следует использовать методы, удовлетворяющие условиям равновесия призмы обрушения в предельном состоянии ...».*

В ANCOLD [19] рекомендується:

*«6.1.2 ... The analysis of stability of tailings dam embankments is usually carried out using limit equilibrium procedures.*

*6.1.7 ... In the majority of applications, non-circular failure surfaces may need to be considered».*

Щодо фільтраційних розрахунків [20] зазначено:

*«5.4\*. Фильтрационными расчетами ... надлежит определять следующие параметры фильтрационного потока:*

*а) положение поверхности фильтрационного потока (депрессионной поверхности) в теле плотины и берегах;*

*б) фильтрационный расход воды через тело плотины, основание и берега».*

В [19] рекомендується:

*«Seepage assessment is necessary as part of detailed design to:*

- *define pore pressures/phreatic surfaces for use in stability analysis;*
- *allow design of drainage and collection systems».*

Найбільш значною відмінністю в українських та міжнародних нормах є величина мінімально допустимого коефіцієнта стійкості укосу. В [20] дано:

$$k_s = \frac{R}{F} \geq \frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c},$$

де  $F$  – розрахункове значення узагальненого силового впливу;  $R$  – узагальнене розрахункове значення сил граничного опору зсуву по поверхні, що розглядається.

Числові значення коефіцієнтів  $\gamma_n$ ,  $\gamma_c$  та  $\gamma_{fc}$  наведені в таблицях 1–3.

Таблиця 1

Клас споруд	I	II	III	IV
Значення $\gamma_n$	1,25	1,20	1,15	1,10

Таблиця 2

Поєднання навантажень	Основне	Особливе	Будівельного періоду
Значення $\gamma_{fc}$	1,00	0,90	0,95

Таблиця 3

Методи розрахунку	Такі, що задовольняють умовам рівноваги	Спрощені
Значення $\gamma_c$	1,00	0,95

Таким чином, мінімальний коефіцієнт стійкості для споруд I-го класу при основному сполученні навантажень та методі розрахунку, що задовольняє всі умови рівноваги, дорівнює 1,25.

За рекомендацією [19] мінімальний коефіцієнт запасу становить 1,5 (табл. 4).

Необхідно відзначити, що така значна розбіжність за мінімальними коефіцієнтами запасу у вітчизняних та зарубіжних нормах (1,25 і 1,50) була відома, принаймні, з кінця 80-х років. Для забезпечення фактичної стійкості дамб споруд, запроєктованих інститутом, відповідно до міжнародних рекомендацій та дотримуючись вимоги [20]: п. 5.10\* ... значення коефіцієнта стійкості при відповідному сполученні навантажень не повинні перевищувати (мінімальний коефіцієнт запасу) ... більш ніж на 10 %, в інституті застосовувалася наступна практика:

- відповідно до рекомендацій [21] у розрахунках стійкості використовувався метод ВНИИГ – Терцаги;
- так як цей метод не відноситься до точних (дотримується рівність тільки моментів сил) застосовувався коефіцієнт 0,95 згідно з вищевказаною таблицею 3. Тоді мінімальний коефіцієнт запасу буде таким, що дорівнює  $1,25/0,95 = 1,32$ .

Відомо, що метод Терцаги (Ordinary) дає занижений коефіцієнт стійкості по відношенню до точних методів (Morgenstern-Price, Spencer). Було проведено порівняння численних результатів за вищевказаними методами. Середнє відношення коефіцієнтів запасу Morgenstern-Price/Ordinary склало 1,080.

Враховуючи той факт, що розрахункові значення параметрів ґрунтів у вітчизняних нормах призначаються з урахуванням коефіцієнтів надійності по ґрунту [22], а в міжнародній практиці проектування в якості розрахункових приймаються, як правило, середні значення величин, тобто нормативні за вітчизняним визначенням, було також проведено аналогічне порівняння. Отримано середній коефіцієнт 1,075.

Таким чином, якщо в результаті розрахунків за зазначеною методикою було отримано коефіцієнт запасу 1,32, фактично за міжнародними рекомендаціями він відповідає  $1,32 \times 1,080 \times 1,075 = 1,53$ . Отже, ще на ранніх стадіях проектування огорожувальних дамб гідротехнічних споруд інститутом враховуються вимоги стійкості, які відповідають міжнародній практиці.

**Оцінювання водного балансу.** Порівняльний аналіз вимог України [23], [24] і міжнародних [13], [19] нормативів з оцінювання водного балансу при проектуванні гідротехнічних споруд дозволяє констатувати наступне: основні підходи до складання водного балансу досить близькі.

Table 8 Recommended factors of safety

Loading Condition (Note 1)	Recommended Minimum for Tailings Dams	Shear strength to be used for evaluation
Long-term drained	1.5	Effective Strength
Short-term undrained (potential loss of containment)	1.5	Consolidated Undrained Strength
Short-term undrained (no potential loss of containment)	1.3	Consolidated Undrained Strength
Post-seismic	1.0 -1.2 (Note 2)	Post Seismic Shear Strength (Note 3)

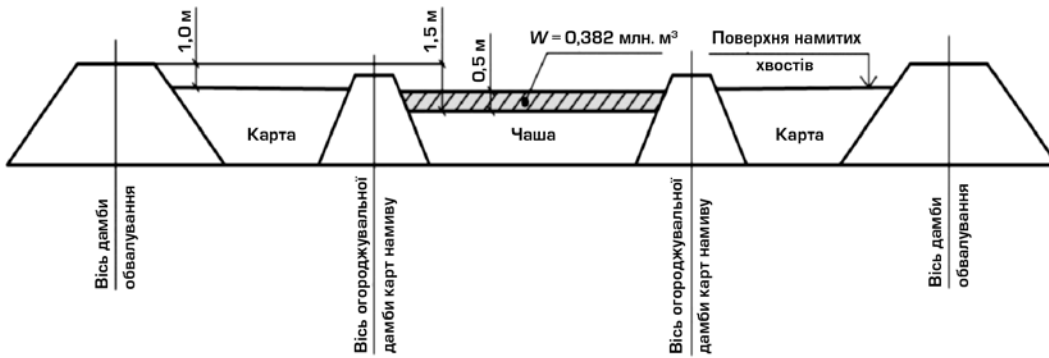
Як у відповідності зі стандартами України, так і відповідно до міжнародних стандартів при складанні балансу необхідно враховувати додатковий приплив води в період повені. Однак у вітчизняних стандартах складання балансу проводиться з урахуванням розрахунку річного обсягу води [24], а в міжнародних стандартах баланс необхідно розраховувати з урахуванням вимоги [13]: для гідротехнічних споруд, які класифікуються як «екстремальні», розрахунковий паводок слід визначати згідно з розрахунковою максимальною повинню (РМП).

**Висота надводного борту.** Порівняльний аналіз вимог України та міжнародних вимог щодо дотримання висоти надводного борту показав, що вони дещо відрізняються.

Згідно з вітчизняними стандартами перевищення гребеня огорожувальних споруд над можливим рівнем води в чаші потрібно приймати за розрахунком, але не менше 1,5 м [3]. У разі прогнозованого настання паводків, не пізніше ніж за місяць до початку повені або зливових паводків, підприємство повинно організувати паводкову комісію на чолі з особою, відповідальною за експлуатацію гідротехнічних споруд і розробити заходи щодо безпечного пропуску паводка, які повинні бути виконані не пізніше ніж за 15 днів до передбачуваного початку паводка [23], і розглянути необхідність зниження рівня води в чаші завчасно.

Згідно з міжнародними стандартами величина надводного борту приймається на 1 м вище максимального рівня повені [13]. У разі настання паводків як за вітчизняними, так і за міжнародними стандартами повинна зберігатися мінімальна довжина пляжу. У відповідності до стандартів України мінімальна довжина пляжу складає 50 м, для міжнародних – визначається розрахунком.

**Аналіз технічних рішень, прийнятих у проекті «ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Реконструкція хвостосховища «Об'єднане. IV карта» до відм. 166.0 м», на відповідність вимогам міжнародних стандартів.**



Принципова схема хвостосховища

### Загальна характеристика хвостосховища.

Хвостосховище «Об'єднане. IV карта» розташоване на промайданчику гірничо-збагачувального комбінату «ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в Інгулецькому районі м. Кривий Ріг. Проектом передбачено створення ємності для складування хвостів шляхом реконструкції існуючого хвостосховища нарощуванням огорожувальних дамб від відм. 156.0 м до відм. 166.0 м. Загальні дані:

- площа хвостосховища – 245 га;
- існуюча відмітка гребеня дамби – 156.0 м;
- максимальна висота існуючих огорожувальних дамб – 88 м;
- довжина огорожувальної дамби – 5040 м.

Огорожувальна дамба з відм. 166.0 м будується із хвостів, які закріплюються по верхньому укосу скельним розкритом. По низовому укосу передбачено перехідний шар, який складається з дрібного скельного розкритву. Ширина дамби по гребеню становить 8,2 м.

При розрахунку сейсмічної стійкості величина максимального розрахункового землетрусу складає 8 балів, а проектного – 6 балів за шкалою MSK – 64 [8].

### Виконання додаткових робіт і досліджень.

Для оцінювання відповідності прийнятих у проєкті технічних рішень вимогам міжнародних стандартів додатково було виконано:

- лабораторні дослідження динамічних характеристик намивних ґрунтів;
- геофізичні дослідження для визначення можливості розрідження хвостів;
- розрахунки стійкості системи споруда–основа при нарощуванні хвостосховища до відм. 166.0 м за прямим динамічним методом із використанням акселерограм із урахуванням максимальних сейсмічних навантажень 8 балів;
- оцінку потенціалу руйнування огорожувальних дамб внаслідок зосередженої фільтрації;
- перевірки водогосподарські розрахунки.

### Результати оцінки технічних рішень.

1. Відповідно до вимог міжнародних стандартів хвостосховище «IV карта» класифіковано як «екстремальне», що відповідає типу пошкоджень – велике, а «проєкт повені» – розрахунковому максимальному.

2. Гіпотетичні ризики, що виникають при проривах огорожувальної дамби, не призводять до зміни технічних рішень, прийнятих у проєкті.

3. Матеріал, що використовується для будівництва огорожувальних дамб, є практично стійким до суфозійного винесення.

4. Зосереджена фільтрація в тілі дамби неможлива через відсутність сполучених ділянок дамб, виконаних насипними і намивними методами.

5. Величина надводного борту буде на 1 м вище максимального рівня повені з урахуванням вільного об'єму (див. рисунок), що використовується для необхідної акумуляції води в період повені.

6. Для сейсмічних умов України вибір періоду повторюваності в 5000 років для оцінки консервативного рівня сейсмічної небезпеки, з одного боку, задовольняє національну нормативну базу, а з іншого – кількісні оцінки сейсмічності будуть практично однаковими і для періоду повторюваності 10000 років (вимоги міжнародних стандартів).

7. Визначення можливості розрідження хвостів в чаші хвостосховища геофізичними і лабораторними методами показало, що ґрунти динамічно стійкі.

8. Виконані фільтраційні розрахунки підтвердили правильність запроектованих дренажів та фільтраційних привантажень.

9. Результати розрахунків напружено-деформованого стану поперечних перерізів дамб при статичних навантаженнях показали відсутність зон з неадекватними переміщеннями і напруженнями (табл. 5).

Таблиця 5

**Осідання гребеня дамби**

Розрахунковий створ на пікеті	4 + 54	11 + 55	13 + 60	15 + 72	24 + 80	42 + 10	56 + 60	58 + 00
Осідання, м	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,70	0,30

Таблиця 6

**Результати розрахунків стійкості**

Розрахунковий переріз на пікеті	Коефіцієнт запасу стійкості					
	Розрахункові значення характеристик (норми України)			Нормативні (середні) значення характеристик (рекомендації ICOLD)		
	основне поєднання навантажень (пляж 50 м), $K_s \geq 1,25$	аварійне поєднання навантажень (сейсміка), $K_s \geq 1,0625$	аварійне поєднання навантажень (без пляжу), $K_s \geq 1,125$	пляж 50 м, $K_s \geq 1,5$	сейсміка, $K_s = 1,0 \div 1,2$	без пляжу
1	2	3	4	5	6	7
4 + 54	1,529	1,317	1,486	1,652	1,423	1,600
11 + 55	1,562	1,516	1,522	1,685	1,561	1,642
13 + 50	1,460	1,082	1,431	1,575	1,186	1,539
15 + 72	1,599	1,121	1,571	1,723	1,210	1,691
24 + 80	1,591	1,293	1,566	1,679	1,369	1,648
42 + 10	1,762	1,221	1,720	1,894	1,298	1,856
56 + 60	1,507	1,153	-	1,618	1,287	-
58 + 00	1,584	1,091	1,530	1,699	1,216	1,636

10. Для всіх розрахункових перерізів і сполучень навантажень коефіцієнти запасу стійкості відповідають вимогам стандартів України та міжнародних стандартів (табл. 6).

**Висновок.**

У результаті виконаної оцінки встановлено,

що рішення, прийняті в проекті «ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг. Реконструкція хвостосховища «Об'єднане. IV карта» до відм. 166.0 м», відповідають вимогам міжнародних стандартів ICOLD і ANCOLD, які є еталонами кращих світових практик.

- [1] О.І. Оглобля, С.Л. Раздайбіда. Особливості розрахунку огорожувальних дамб хвостосховищ // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2012. – № 4. – С. 29–36.
- [2] Постанова Кабінету Міністрів України від 28.08.2013 № 808 «Про затвердження переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку».
- [3] ДБН В.2.4-5:2012 Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво.
- [4] ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення.
- [5] ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва.
- [6] ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.
- [7] ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво.
- [8] ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України.
- [9] ДБН А.3.2-2:2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення.
- [10] Правила безпеки при експлуатації хвостових і шламових господарств горнорудних і нерудних підприємств.
- [11] ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.
- [12] ICOLD B121 – Tailings dams risk of dangerous occurrences.
- [13] ICOLD B139 – Improving tailings dam safety. Critical aspects of management, design, operation and closure.
- [14] ICOLD B72 – Selecting seismic parameters for large dams.
- [15] ICOLD B72 – Selecting seismic parameters for large dams, 2010 revision.
- [16] ICOLD B74 – Tailings dam safety.
- [17] ICOLD B97 – Tailings dams design of drainage.
- [18] ICOLD B111 – Dam-break flood analysis.
- [19] ANCOLD – Guidelines on tailings dams.
- [20] СНиП 2.06.05-84 Плотины из грунтовых материалов.
- [21] П-783-88 Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов. – Харьков: Гидропроект, 1988.
- [22] СНиП 2.02.02-85 Основания ГТС.
- [23] ИГАОП 0.00-1.53-87 Правила безопасности при эксплуатации хвостовых и шламовых хозяйств горнорудных и нерудных предприятий. – М.: Недра, 1989.
- [24] Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности. – М.: Стройиздат, 1986.

Надійшла 19.08.2015 р.