

УТОЧНЕННЯ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ В РАЙОНАХ БУДІВНИЦТВА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

С. Вербицький, Ю. Вербицький, Р. Пронишин, І. Сапужак, А. Стасюк

Інститут геофізики НАН України, Львів

Рівень сейсмічної небезпеки є об'єктивною характеристикою території. Його визначають за допомогою комплексу геофізичних методів у рамках робіт із загального сейсмічного районування (ЗСР) території країни, детального сейсмічного районування (ДСР) окремих її районів і сейсмічного мікрорайонування (СМР) майданчиків розміщення об'єктів.

Інтенсивність сейсмічних впливів у балах шкали MSK-64 для району будівництва приймають на підставі списку населених пунктів України та комплекту карт загального сейсмічного районування (ОСР-2004 – А, В, С) території України залежно від коефіцієнта надійності щодо відповідальності об'єктів [1]. Положення даних ДБН визначають спеціальні вимоги для гідротехнічних споруд (ГТС), що розташовані в районах з нормативною сейсмічністю, що дорівнює 6 балам і більше за сейсмічною шкалою MSK-64. Ці вимоги треба виконувати під час проектування, будівництва, введення в експлуатацію, експлуатації, обстеження реального стану, оцінювання безпеки, реконструкції, відновлення, консервації і виведення з експлуатації ГТС.

Для забезпечення сейсмостійкості ГТС необхідно:

- проведення на стадії проектування комплексу спеціальних досліджень для визначення розрахункової сейсмічності майданчика будівництва, розрахункових сейсмічних впливів, отримання набору сейсмічних записів або їхніх спектрів, що моделюють розрахункові сейсмічні впливи;

- виконання комплексу розрахунків (а в разі потреби і модельних випробувань) за визначенням напружено-деформованого стану, оцінкою міцності і стійкості споруд, їхніх елементів і основи;

- застосування конструктивних рішень і матеріалів, що забезпечують сейсмостійкість споруд;

- включення в проекти особливо відповідальних споруд спеціального розділу стосовно проведення в процесі експлуатації ГТС моніторингу сейсмічних процесів і реакції споруд на їхні прояви;

- періодичне обстеження стану гідротехнічних споруд і їхніх основ, зокрема після кожного землетрусу силою понад 5 балів.

У разі обґрунтування сейсмостійкості ГТС використовують сейсмічні впливи двох рівнів: проектний землетрус (ПЗ) і максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ). За ПЗ приймають землетрус повторюваністю T один раз у 500 років (карта ЗСР “А”); МРЗ – один раз у 5000 років (карта ЗСР “С”).

Гідротехнічна споруда повинна сприймати ПЗ без порушення режиму нормальної експлуатації. У цьому разі допустимі залишкові зсуви, тріщини й інші пошкодження, які не перешкоджають можливості ремонту споруди за умов нормального функціонування. МРЗ не повинен загрожувати руйнуванням споруди або проривом напірного фронту. У цьому випадку допустимі пошкодження ГТС і її основи. Розрахункову сейсмічність майданчика ГТС I_p визначають як суму нормативної сейсмічності і приросту сейсмічної інтенсивності ΔI з огляду на ґрунтові умови. Нормативну сейсмічність визначають за картами ЗСР і ”Списку населених пунктів” [1].

Приріст ΔI в балах сейсмічної шкали з огляду на ґрунтові умови на майданчику ГТС визначають інструментальними і розрахунковими методами сейсмічного мікрорайонування.

Сейсмічне мікрорайонування – це врахування впливу локальних інженерно-геологічних, гідрологічних, геоморфологічних та геотектонічних умов майданчика будівництва. Локальні ґрунтові умови і рельєф можуть значно впливати на амплітуду, тривалість, переважну частоту та інші характеристики сейсмічних коливань.

У тих випадках, коли розрахункову сейсмічність майданчика визначають методами СМР, додатково знаходять швидкісні, частотні й резонансні характеристики ґрунту основи споруди.

Сейсмічні впливи враховують у тих випадках, коли I_p становить 6 балів і більше. Їх включають до складу особливих поєднань навантажень і впливів. До уваги беруть також можливі наслідки таких пов’язаних із землетрусами явищ, як:

- зміщення за тектонічними розломами;
- просідання ґрунту;

- обвали і зсуви;
- розрідження водонасичених або слабokonсолідованих ґрунтів;
- плинність глинистих тиксотропних ґрунтів.

Для водопідпірних і підземних ГТС першого і другого класів, а також морських нафтогазопромислових споруд розрахункові сейсмічні впливи моделюють розрахунковими акселерограмами (РА), які підбирають залежно від розташування і характеристик основних зон можливих вогнищ землетрусів (МВЗ) з урахуванням даних про швидкісні, частотні й резонансні характеристики ґрунтів, що залягають в основі споруди, а також по трасі руху сейсмічних хвиль від вогнища до об'єкта. Розрахункові акселерограми в загальному випадку задають як трикомпонентні.

Виконання практичних робіт з сейсмічного мікрорайонування передбачає використання методу мікросейсми, що ґрунтується на порівнянні параметрів мікроколиваний ґрунтів, спричинюваних джерелами природного і техногенного походження на досліджуваній і еталонній ділянках. Ґрунт у цьому разі розглядають як деякий фільтр, що виділяє коливання певного діапазону частот з амплітудним рівнем, залежним від інженерно-геологічних умов у пункті спостереження. Прирости сейсмічної інтенсивності визначають за результатами порівняння амплітуд коливаний ґрунтів у пунктах реєстрації.

Для реєстрації мікросейсм використовують триканальні цифрові сейсмічні станції *DAS-05* розроблені у відділі сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики НАН України, у комплекті з сейсмометрами ВЕГИК.

Амплітудно-частотна характеристика цифрової сейсмічної станції розрахована генераторним способом за спеціальною програмою. Зареєстровані сейсмічні сигнали мають розмірність одиниць аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Цифрова форма запису дає змогу за допомогою методів регуляризованого числового розв'язування зворотної задачі сейсмометрії перейти до "дійсного" виду коливаний.

Записи мікросейсм на еталонному і досліджуваному пунктах проводять протягом двох–восьми годин у вечірній і нічний час. Вибір часу спостережень зумовлений високою стабільністю амплітудно-частотного складу мікросейсм і мінімальним рівнем техногенних перешкод уночі.

Прирости сейсмічної інтенсивності ΔI за методом реєстрації мікросейсм можна оцінити двома способами – за співвідношенням максимальних

амплітуд мікроколивань ΔI_{M1} і за співвідношенням спектральної щільності записів різних складових коливань ΔI_{M2} .

Для оцінки зміни інтенсивності землетрусу за максимальною амплітудою мікроколивань ΔI_{M1} на переважному періоді використовують формулу

$$\Delta I_{M1} = 2 \lg \frac{A_{\max i}}{A_{\max j}},$$

де $A_{\max i}$ і $A_{\max j}$ – усереднені за зареєстрованими відрізками і за складовими максимальні амплітуди мікроколивань, відповідно, на досліджуваному й еталонному ґрунті.

Прирости сейсмічної інтенсивності ΔI_{M2} оцінюють за співвідношенням спектральної щільності записів різних складових коливань денної поверхні на досліджуваній і еталонній ділянках.

Для кожної компоненти запису і кожного пункту спостережень за програмою, що реалізує алгоритм швидкого перетворення Фур'є, розраховують спектри зареєстрованих мікросейсмічних коливань. За спектрами оцінюють відносні частотні характеристики і прирости сейсмічної інтенсивності. Для отримання стійкого результату за набором індивідуальних спектрів синхронних записів розраховують згладжені усереднені спектри коливань на пунктах, що вивчають та еталонному.

Під час побудови згладжених усереднених спектрів весь частотний діапазон розбивають на інтервали, у кожному з яких за масивом точок спектрів будують регресію і визначають відповідні довірчі інтервали. Отримані результати присвоюють середньому для інтервалу значенню частоти.

Відносні амплітудно-частотні характеристики (ВАЧХ) ґрунтів (для j -ї складової коливань) для пунктів на будівельних майданчиках $W_j(i\omega)$ визначають як співвідношення згладженого усередненого спектра коливань у досліджуваному пункті до згладженого усередненого спектра записів коливань на еталонному пункті:

$$W_j(i\omega) = S_{ji}(i\omega) / S_{j\text{эт.}}(i\omega),$$

де $S_{ji}(i\omega)$ і $S_{j\text{эт.}}(i\omega)$ – згладжені усереднені спектри коливань на j -х складових записів мікросейсм на i -му пункті майданчика й еталонному пункті.

Результати розрахунку відносних амплітудно-частотних характеристик ґрунтів використовували для оцінки приростів сейсмічної інтенсивності $\Delta I_{ji}(\omega)$ для j -ї складової коливань на i -му пункті спостережень на майданчиках за формулою

$$\Delta I_{ji}(\omega) = 1.6 \lg |W_j(i\omega)|.$$

Отже, як значення середнього приросту сейсмічної інтенсивності за методом мікросейсм для майданчиків проектованого будівництва відносно початкової сейсмічності приймають усереднену за двома способами величину ΔI_M :

$$\Delta I_M = (\Delta I_{M1} + \Delta I_{M2})/2 .$$

Остаточно уточнена з урахуванням впливу локальних ґрунтових умов прогнозована інтенсивність сейсмічних впливів для будівельних майданчиків ПЗ і МРЗ, відповідно,

$$I_{R \text{ ПЗ}} = I_{RN \text{ ПЗ}} + \Delta I_M ,$$

$$I_{R \text{ МРЗ}} = I_{RN \text{ МРЗ}} + \Delta I_M$$

Значення I_R округляють до цілого числа, оскільки ДБН В.1.1.-12:2006, що діє, не передбачає дробових значень сейсмічної бальності. Він ґрунтується на шкалі сейсмічної інтенсивності MSK-64, яка оперує цілими значеннями балів, так само як і її пізніші модифікації, у тім числі й європейська шкала EMS-98.

-
1. ДБН В.1.1–12:2006 „Будівництво в сейсмічних районах України”. К., 2006. 96 с.

REDETERMINATION OF SEISMIC THREAT IN REGIONS OF HYDROTECHNICAL BUILDINGS

S. Verbytsky, Yu. Verbytsky, R. Pronyshyn, I. Sapuzhak, A. Stasyuk

Intensity of the seismic influencing in the marks of scale of MSK-64 for the district of building of hydrotechnical buildings (HTB) is adopted, accordant DBN B.1.1–12:2006, on the basis of list of settlements of Ukraine and complete set of cards of the common seismic districting (ZSR-2004-A, B, C) of territory of Ukraine depending on to the coefficient of reliability on responsibility of objects. It is shown that at the ground of seismic firmness of HTB the seismic influencing of two levels is used: project earthquake (PE) and maximal calculation earthquake (MCE). At PE an earthquake is adopted by repetition of T one time in 500 years (card of ZSR “A”); MCE – one time in 5000 years (card of ZSR “C”).

ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КАЛУШ-ГОЛИНСЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНОЇ СОЛІ

Е. Кузьменко, С. Багрій

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019 м. Івано-Франківськ*

E-mail: kuzmenko@ivf.ukrpack.net, gbg@nung.edu.ua

Видобуток калійних солей підземним способом на Калуш-Голинському родовищі проводили камерною системою розробки із залишенням між-камерних ціликів (МКЦ) на трьох рудниках: “Голинь”, “Калуш” та “Ново-Голинь”. Запаси руди на рудниках повністю відпрацьовані. Залишені на рудниках МКЦ розраховані на тимчасову підтримку покривної товщі без закладення в сухих умовах. За час експлуатації родовища об’єм вироблених порожнин становить близько 19 млн м³, які, згідно з проектами відробки і вимогами правил безпеки, повинні бути закладені інертними матеріалами.

Видобуток корисних копалин підземним способом спричинює порушення рівноваги в товщі гірничих порід, що приводить до зміни природного геологічного середовища, а саме – до осідання і деформації земної поверхні над відпрацьованими покладами. Ці процеси впливають на нормальну експлуатацію будівель, споруд і ліній інженерних комунікацій, які розташовані в зоні впливу гірничих виробок, а також приводять до зміни природного режиму ґрунтових вод, підтоплення земної поверхні, заболочення, утворення провальних лійок, які створюють небезпеку для населення і наземних об’єктів. Тому актуальним є випереджальні геолого-геофізичні дослідження в режимі моніторингу, які дають змогу спрогнозувати розвиток природно-техногенної геологічної ситуації.

Загальна характеристика шахтних полів Калуш-Голинського родовища калійної солі. Запаси калійних солей на руднику “Голинь” відпрацьовували з 1930 по 1972 р. У 1973 р. рудник законсервований шляхом засипання стволів і перекриття їх залізобетонними перемичками. Сьогодні над полем проходить стадія загасання процесу зсуву земної поверхні з максимальними швидкостями осідання 15–20 мм за рік (2007).

Експлуатація рудника “Калуш” припинена 1978 р. після відпрацювання запасів. З огляду на утворення провальних лійок на земній поверхні та збільшення водопритоку в рудник “Калуш”, Центральне, Північне каїнітове

і Північне сильвінітове поля в 1988–1990 рр. ліквідовано шляхом заповнення відпрацьованих порожнин соляними розсолами. Хотинське поле, відокремлене від Центрального двома водонепроникними перетинками, не заповнювали розсолами, щоб не активізувати процесу осідання і деформації земної поверхні.

На шахтних полях рудника “Калуш” над відпрацьованими покладами відбувається осідання і деформація земної поверхні часто з утворенням провальних лійок. Найнебезпечнішим було раптове осідання земної поверхні в 1987 р. на Північному каїнітовому полі. Зона раптового осідання земної поверхні охопила площу 0,6 га, центр мульди осідання опустився на глибину 8,5 м. Із мульди осідання були відселені жителі з 17 житлових будинків та припинено будівництво нових 43 житлових будинків, де потім почалися карстоутворювальні процеси. Крім того, в зоні впливу шахтного поля рудника “Калуш” є близько 300 житлових будинків. Ці явища повторювались у 1993, 1995, 1997, 2001, 2007, 2008 та 2009 рр.

Запаси калійних солей на руднику “Ново-Голинь” відпрацьовували з 1966 до 1995 рр. З 1996 р. відбувається заливання порожнин рудника “Ново-Голинь” спочатку розсолами Домбровського кар’єру та муловими залишками від переробки калійної руди, а з 2003 р. тільки розсолами Домбровського кар’єру.

У зону впливу гірничих виробок рудників потрапляють житлові будинки сіл Кропивник і Сівка-Калуська. В 2006 р. почалося заповнення першого робочого горизонту, міжкамерні цілики на якому є під довготривалим навантаженням (близько 40 років) і перебувають у напружено-деформованому стані. У разі проникнення розсолів по мікротріщинах та глинистих прошарках у ціликах зменшиться їхня стійкість, що призведе до інтенсивного осідання земної поверхні. На шахтному полі рудника “Ново-Голинь” на окремих ділянках, водоносний гравійно-гальковий горизонт відокремлений від соленосних порід розсланцьованими знесоленими глинами, які здатні до самообвалювання. Зволожене шахтне повітря, а надалі й самі розсоли будуть сприяти руйнуванню й обвалюванню розсланцьованих глин, що може призвести до утворення провальних лійок на земній поверхні та потраплянню розсолів у водоносний горизонт, як це відбувається на Північному каїнітовому полі рудника “Калуш”.

Проблеми, які пов'язані з небезпечною еколого-геологічною ситуацією на Калуш-Голинському родовищі калійної солі, та методи їхнього вирішення.

1. Домбровський кар'єр і територія, яка прилягає до нього. За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру видобуто 35,4 млн м³ розкривних порід і 14,7 млн м³ калійної руди, разом 50,1 млн м³ гірничої маси. Експлуатація припинена 2007 р. Сьогодні кар'єр затоплюється природним способом.

2. Наявність двох хвостосховищ. Хвостосховище 1 частково рекультивоване, а хвостосховище 2 заповнене відходами: тверда плинна фаза – 9 млн м³, рідка фаза (розсол) – 1,7 млн м³. Рівень розсолів перевищив критичний, стінки нарощені. Небезпека полягає в можливості прориву дамби, у цьому разі розсоли потраплять у басейн р. Дністер. Розсоли, що просочуються через тіло дамби, забруднюють гальковий горизонт, ореол засолення пересувається в напрямі р. Лімниця.

3. Наявність шахтних полів. Призвела до виникнення проблем просідань та провалів денної поверхні. На всіх шахтних полях треба очікувати просідань, найбільше з них – на руднику “Ново-Голинь” – до 20 м. Сьогодні найбільше просідання зафіксовано на руднику “Калуш” – 4,8 м, де утворилося озеро.

4. Наявність солевідвалів. У солевідвалі 4 відбувається розчинення солі, розсоли потрапляють у гальковий горизонт та поверхневі водойми.

5. Забруднення підземних вод. Сьогодні визначено ореол соляного забруднення від хвостосховищ 1 і 2 через Домбровський кар'єр і до траси Долина–Івано-Франківськ. Загальна площа ореолу засолення – понад 900 га. Мінералізація підземних вод у межах ореолу змінюється від 1,18 до 28,08 г/л. У районі хвостосховищ і біля підніжжя відвалів концентрація солей у воді значно вища. Перелік заходів для вирішення еколого-геологічних проблем Калуш-Голинського родовища калійної солі наведено в табл. 1.

Методи геофізичних досліджень у разі вирішення еколого-геологічних завдань

1. Розвиток карсту в прибортових зонах Домбровського кар'єру. Для вирішення цього завдання використовували комплекс електророзвідувальних методів, а саме: метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), метод природного електричного поля (ПЕП) та метод

вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ). Геофізичні дослідження засвідчили, що карстові процеси розвинуті у межах ділянки досліджень від наявних ліжок на північ на відстань до 120 м. Карстом, головно, уражена південно-західна, південна і південно-східна частини ділянки. У межах аномалій слід очікувати на провали.

Таблиця 1

Заходи для вирішення еколого-геологічних проблем Калуш-Голинського родовища калійної солі

Заходи	Завдання
Рекультивація хвостосховища 2	Скинути наявні розсоли у Домбровський кар'єр з подальшою рекультивацією хвостосховища 2
Домбровський кар'єр	Розробити проект на технологію переробки розсолів з можливістю використання альтернативних джерел теплової енергії
	Уточнити водопритік у Домбровський кар'єр з урахуванням прогнозу динаміки
Шахтні поля рудників "Ново-Голин" та "Калуш"	Проведення польових моніторингових геофізичних спостережень на шахтних полях рудників для прогнозування просідань і провалів земної поверхні
Рекультивація солевідвала 4	Провести рекультивацію солевідвала 4
Забруднення підземних вод	Відновити контроль за забрудненням підземних та поверхневих вод

Інтенсивний розвиток карсту в прибортовій північній частині кар'єру спровокований трьома причинами.

Перша (природна) – неочікувана аномально низька потужність ГГШ на території досліджень (до 1,5 м), тобто відсутність надійного захисту від розмивання солі водами в гравійно-гальковому горизонті.

Друга – наявність штучного русла р. Сівка, з якого відбувається інфільтрація в ГГШ.

Третя – порушення ГГШ під час ліквідації дренажної траншеї для розширення кар'єру. Карстові процеси розвиваються від борту кар'єру на північ.

2. Оцінка карстопровальної небезпеки на шахтних полях Калуш-Голинського родовища калійної солі. Геофізичні дослідження проведені на руднику “Калуш” (Хотинське шахтне поле) та руднику “Ново-Голинь” (шахтні поля Сівка-Калуська та Голинь). Для вирішення цього завдання запропоновано комплекс геофізичних досліджень методом гравірознавства, природного імпульсного електромагнітного поля Землі, вертикального електричного зондування та зондування становленням електромагнітного поля, у цьому разі метод ПЕМПЗ є методом режимних спостережень.

Зазначений комплекс відповідно до фізичних передумов його застосування та геологічних завдань, визначених зміною стану гірських порід, наведено в табл. 2.

Таблиця 2.

Геофізичні методи та їхні фізичні передумови

Метод	Параметр, що визначений за методом	Зміна стану породи	Зміна параметра
Гравіметрія	Густина гірських порід	Розуцільнення, розвиток карсту	Зменшення густини
Зондування становленням електромагнітного поля	Електричний опір гірських порід	Наявність розсолів, розвиток карсту	Зменшення електричного опору
Вертикальне електричне зондування	Електричний опір гірських порід	Наявність розсолів, розвиток карсту	Зменшення електричного опору
Природні електричні потенціали	Природні потенціали гірських порід	Насичені водою або сухі	Від’ємні або додатні потенціали
Природне імпульсне електромагнітне поле Землі	Інтенсивність електромагнітного випромінювання	Збільшення механічної напруженості гірських порід, просідання, розвиток карсту	Збільшення інтенсивності

Особливістю комплексної геолого-геофізичної інтерпретації є розрахунки функції комплексного показника за різними параметрами, що дає змогу оцінити прояви провалів і просідань денної поверхні на кількісному імовірнісному рівні.

Отже, унаслідок тривалої експлуатації Калуш-Голинського родовища калійної солі відкритим та підземним способом активізувались небезпечні геологічні процеси, пов'язані з розущільненням гірських порід, просіданням земної поверхні, інтенсивною фільтрацією та розвитком карсту.

Зазначені процеси призвели до просідання та провалів земної поверхні й засолення водоносних горизонтів, що спричинює виникнення надзвичайних ситуацій геологічного характеру.

Сьогодні розроблено перелік заходів щодо контролю розвитку небезпечних геологічних процесів та їхнього запобігання.

Обов'язковою складовою досліджень є випереджальні моніторингові геолого-геофізичні дослідження, методика і технологія інтерпретації яких відпрацьована.

Наведені результативні матеріали дають змогу передбачити надзвичайну ситуацію з порушенням земної поверхні та вжити заходів щодо запобігання людським жертвам і зменшення матеріальних збитків.

THE GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL CHARACTERISTIC OF KALUSH-GOLINSKY POTASSIUM SALTS DEPOSITS

E. Kuzmenko, S. Bagriy

The characteristic of the geological and operational conditions of Kalush-Golinsky potassium salt deposit is given. The ecological-geological problems that are requiring immediate resolution is determined. The complex of geophysical methods and measures to prevent hazardous geologic processes and emergencies is proposed.

7