
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 504.058:558.567.3

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДОЙМИ- ОХОЛОДЖУВАЧА ЧАЕС В УМОВАХ СМЕРЧУ І ЗЕМЛЕТРУСУ

Ващенко В.М., Кордуба І.Б., Кризська Ю.М., Лоза Є.А.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
danileo@ukr.net

Розглянуто проблеми екологічної безпеки природно-техногенних водних комплексів. На прикладі водойми-охолоджувача ЧАЕС, яка знаходиться в районі з підвищеною смерчонебезпечкою обґрунтовано можливість виникнення радіоекологічних ризиків в разі синхронного впливу смерчу і землетрусу на комплекс, може призвести до затоплення огорожувальної дамби. Наведено моделювання процесу за допомогою гідродинамічного методу професора В. І. Скалозубові, для упередження затоплення дамби і виносу радіоактивних речовин за межі водойми-охолоджувача. *Ключові слова:* ЧАЕС, водойма-охолоджувач, екологічний ризик, радіоекологія, гідрологія, смерч, землетрус, затоплення.

Анализ экологической безопасности водоема-охладителя ЧАЭС в случае смерча и землетрясения. Ващенко В.Н., Кордуба И.Б., Кризская Ю.М., Лоза Е.А. Рассмотрены проблемы экологической безопасности природно-техногенных водных комплексов. На примере водоема-охладителя ЧАЭС, которая находится в районе с повышенной смерчонебезпечкою обоснована возможность возникновения радиоэкологических рисков в случае синхронного воздействия смерча и землетрясения на комплекс, может привести к затоплению ограждающей дамбы. Приведены моделирования процесса с помощью гидродинамического метода профессора В. И. Скалозубу, для предотвращения затопления дамбы и выноса радиоактивных веществ за пределы водоема-охладителя. *Ключевые слова:* ЧАЭС, водоем-охладитель, экологический риск, радиоэкология, гидрология, смерч, землетрясение, затопление.

Analysis of environmental safety of Chernobyl NPP coolant pool in case of tornado and earthquake. Vashchenko V., Korduba I., Kryzaska Y., Loza Y. The problems of ecological safety of natural technogenic water complexes are considered. For example, a Chernobyl NPP cooling water reservoir located in an area with a high tidal hazard justifies the possibility of occurrence of radioecological risks in the case of synchronous effects of tornadoes and earthquakes on the complex, may lead to flooding of the enclosure dam. The modeling of the process with the help of the hydrodynamic method of Professor V.I. Skalozubov is presented, in order to prevent flooding of the dam and the removal of radioactive substances outside the cooling water reservoir. *Keywords:* Chernobyl NPP, pond cooler, ecological risk, radioecology, hydrology, tornado, earthquake, flood.

Досвід перших років виведення з експлуатації водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС визначив необхідність вирішення завдань, пов'язаних із небезпечними радіоекологічними наслідками, які можуть виникнути в результаті зовнішніх екстремальних природних впливів на водойму-охолоджувач ЧАЕС (ВО ЧАЕС). До таких екстремальних явищ – смерчі і землетруси. Актуальним завданням є забезпечення екологічної безпеки протягом усього життєвого циклу водойми і запобігання негативних радіоекологічних наслідків при будь-яких комбінаціях природних і техногенних внутрішніх і зовнішніх впливах із урахуванням уроків великої Фукусімської катастрофи [2-4] та уроків радіоекологічної катастрофи на радіоактивному озері Карачай у 1967 році в Челябінській області. Аналіз головних уроків великої аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі також виявив необхідність перегляду і вдосконалення детерміністичного аналізу впливу на ВО ЧАЕС подібних малоймовірних природних явищ [5].

Багаторічні сейсмічні спостереження показали, що ВО ЧАЕС розташована на території підвищеної смерчо- і сейсмоактивності [6-11]. У роботі [9] виявлено механізм значного посилення сейсмічних низько-частотних коливань, які виникають внаслідок впливу ґрунтових і гідро-геологічних умов у районі промислового майданчика та ВО ЧАЕС. Існує також ймовірність синхронного впливу смерчу і землетрусу на частково осушену чашу ВО ЧАЕС, що може спричинити утворення хвилі затоплення її огорожувальної дамби.

У роботі [1], опублікованій ще у 1989 році, показано, що ймовір-

ність виникнення смерчу в межах Чорнобильської зони відчуження дорівнює $6 \cdot 10^{-3}$ 1/рік. Аналогічні висновки також одержані й у роботі [10] на підставі аналізу численних даних, які частково наведені в роботах [12-16].

В основу моделювання можливості затоплення дамби ВО ЧАЕС при синхронному впливі на чашу водойми смерчу і землетрусу покладено гідродинамічний метод, запропонований В. І. Скалозубовим [2, 17]. Раніше цей метод успішно застосовувався для моделювання ризиків затоплення промайданчика Запорізької АЕС під впливом смерчу на її водойму-охолоджувач і на Каховське водосховище.

Основні положення моделі

У стратегії забезпечення абсолютної радіаційно-екологічної безпеки осушення ВО ЧАЕС на тривалих масштабах часу необхідно забезпечити підтримання оптимальної висоти рівня поверхні водної товщі в чаші водойми-охолоджувача, яка б екранувала винос радіоактивних нуклідів з її дна. При цьому особливу увагу слід приділити вивченню процесів можливого швидкого перерозподілу концентрацій радіоактивних забруднень у системі «вода-донні відкладення» внаслідок впливу на водойму смерчів і землетрусів.

Світовий досвід щодо забезпечення довгострокової екологічної безпеки радіоактивних водойм свідчить, що ця задача вирішується шляхом створення умов і засобів для швидкої зміни рівня водної поверхні в чаші водойми.

Обсяг, глибина і якість водної товщі повинні забезпечити повне екранування радіоактивних забруднень нако-

пичених у чаші водойми. При цьому коригування співвідношення висот огорожувальної дамби і рівня води у водоймі має гарантувати неможливість затоплення дамби в результаті впливу на водойму смерчів і землетрусів.

Головні особливості використання в роботі методу пов'язані з удосконаленням гідродинамічним моделюванням динаміки хвилі затоплення і специфічними крайовими умовами затоплення дамби ВО ЧАЕС.

Основні положення моделі затоплення дамби ВО ЧАЕС такі:

- формування хвилі затоплення в загальному випадку відбувається під дією підйомної сили смерчу і сейсмічного поштовху та сил внутрішньої дисипації і гравітації водяного стовпа;

- форма хвилі затоплення моделюється у вигляді циліндра з площею перетину S та висотою $h + h_b$ (де h_b – рівень води у ВО);

- консервативно вважається, що максимальний вплив смерчу над поверхнею ВО відбувається поблизу огорожувальної дамби;

- умовно вважається, що процес формування хвилі затоплення відбувається в два етапи: етап I – початковий етап загального впливу смерчу і землетрусу протягом часу $t < \Delta t_3$; етап II – заключний етап впливу смерчу протягом часу $t > \Delta t_3$;

- Формування хвилі затоплення вважається ізотермічним, а швидкість звуку у воді – значно більшою від швидкості зміни висоти хвилі затоплення.

Гідродинамічна модель затоплення дамби ВО при спільному впливі смерчу і землетрусу з урахуванням прийнятих припущень матиме вигляд:

$$H \frac{d^2 H}{dT^2} + (1 + \xi_r) \left(\frac{dH}{dT} \right)^2 + H = K_p \quad (1)$$

За таких початкових умов:

$$H(T=0) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dH}{dT}(T=0) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{d^2 H}{dT^2}(t=0) = K_3, \quad (4)$$

$$\frac{d^2 H}{dT^2}(0 < t \leq \Delta t_3) = \frac{d^2 H}{dT^2}(T) + K_3, \quad (5)$$

де:

$$T = t / t_M;$$

$$t_M = \begin{cases} \Delta t_3 & (t \leq \Delta t_3), \\ \sqrt{h_{d0} / g} & (t > \Delta t_3); \end{cases}$$

$$H = h / h_{d0};$$

$$K_p = \Delta P / \rho g h_{d0};$$

$$K_3 = a_3 \Delta t_3^2 / h_{d0},$$

де t – поточний час формування хвилі затоплення; h_{d0} – початкова висота дамби над рівнем h_b ; g – прискорення вільного падіння; Δt_3 – тривалість поштовхів землетрусу; ΔP – перепад тиску в результаті впливу смерчу; a_3 – відгук прискорення землетрусу на поверхні ґрунту ВО; $\xi_r = 0,2$ – зведений коефіцієнт гідродинамічної дисипації при формуванні хвилі затоплення в ВО.

Результати дослідження

Рівняння (1) при початкових умовах (2) – (5) є нелінійним диференціальним рівнянням 2-го порядку, яке не має аналітичного розв'язку. Тому розв'язок був одержаний за допомогою методу Рунге-Кутта з точністю $\pm 10\%$.

Виходячи з головних результатів чисельного моделювання, представлених на рис. 1 і 2, можна зробити такі висновки.

У разі впливу лише одного землетрусу на ґрунт чаші ВО ($K_p = 0$) граничні умови незатоплення дамби мають вигляд:

$$K_3 < 1 \cdot 10^3. \quad (6)$$

При цьому, на відміну від традиційних підходів, умови затоплення залежать не лише від відгуків прискорення землетрусу на поверхні ґрунту чаші ВО ($K_3 \sim a_3$), але ще більшою мірою від тривалості сейсмічних поштовхів

$$(K_3 \sim \Delta t_3^2).$$

При мінімальній інтенсивності смерчів (F1.0) і спільному впливі землетрусу умова незатоплення дамби ВО має вигляд:

$$K_3 < 0,3 \cdot 10^3. \quad (7)$$

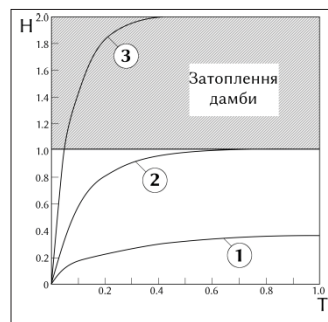


Рис. 1. Динаміка висоти хвилі в ВО під дією землетрусу ($K_p = 0$):
1 – $K_3 = 0,3 \cdot 10^3$; 2 – $K_3 = 1 \cdot 10^3$;
3 – $K_3 = 3,0 \cdot 10^3$

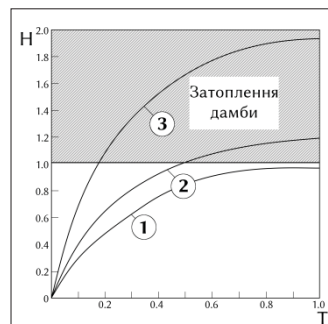


Рис. 2. Динаміка висоти хвилі в ВО під спільним впливом смерчу F 1.0 і землетрусу:
1 – $K_3 = 0$; 2 – $K_3 = 0,3 \cdot 10^3$; 3 – $K_3 = 1 \cdot 10^3$.

Аналіз відомих досліджень і експериментальних даних, а також уроки аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі визначають необхідність додаткового вивчення питань щодо можливості затоплення дамби водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС при спільному впливі (в загальному випадку) смерчу і землетрусу, яке може призвести до катастрофічних екологічних наслідків.

Висновки

Аналіз результатів відомих досліджень і експериментальних даних, а також уроки аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі в Японії визначили необхідність додаткового вивчення питання можливості затоплення дамби водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС при спільному впливі смерчу і землетрусу, яке може призвести до небажаних екологічних наслідків.

Результати розрахункового моделювання показують, що консервативне затоплення дамби при проектному рівні води в ВО ЧАЕС, у результаті впливу на неї смерчу класу інтенсивності F1.0, не виникає. Внаслідок впливу смерчів класів інтенсивності F2.0 і F3.0 і більше відбувається затоплення дамби ВО ЧАЕС вже на початкових етапах формування хвилі від смерчу.

У результаті зняття з експлуатації ВО ЧАЕС шляхом її поступового осушення за рахунок інфільтрації води крізь захисну дамбу забезпечується зниження проектного рівня води приблизно на 6-7 м, тобто до рівня води в річці Прип'ять. За таких умов консервативне затоплення дамби від смерчів класу F 3.0 (і нижче класом) згідно з одержаними результатами не виникає.

Визначено граничні умови незатоплення дамби ВО при спільному впливі смерчу і землетрусу показують, що в разі впливу лише землетрусу на ВО ($K_p = 0$) гранична умова незатоплення дамби: $K_3 < 1 \cdot 10^3$. При цьому, на відміну від традиційних підходів, умови затоплення залежать не лише від відгуків прискорення землетрусу на поверхні ґрунту чаші ВО, але також і від тривалості сейсмічних поштовхів.

При мінімальному класі інтенсивності смерчів F1.0 і за умови

синхронного виникнення землетрусу, гранична умова незатоплення дамби ВО має такий вигляд: $K_3 < 0,3 \cdot 10^3$.

З огляду на те, що Чорнобильська зона відчуження є територією із небезпекою виникнення смерчів класу інтенсивності F3.0, слід зробити однозначний висновок про необхідність підтримки рівня води в чаші ВО ЧАЕС з урахуванням умов можливого затоплення її огорожувальної дамби.

Література

1. Брюхань Ф.Ф., Ляхов М.Е., Погребняк В.Н. Смерчопасные зоны в СССР и размещение атомных станций // Изв. АН СССР. Сер. географ. – 1989. – № 1. – С. 40–48.
2. Скалозубов В.И., Оборский Г.А., Ващенко В.Н. и др. Комплекс методов переоценки безопасности атомной энергетики Украины с учетом уроков экологических катастроф в Чернобыле и Фукусиме. – Монография. – Одесса «Астропринт». – 2013. – 242 с.
3. Громов Г. В., Дыбач А. М., Зеленый О. В., Инюшев В. В. и др. Результаты экспертной оценки стресс-тестов действующих энергоблоков АЭС Украины с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии // Ядерная радиационная безопасность. – 2012. – № 1 (53). – С. 3–9.
4. IAEA International Fact Finding Expert Mission Of The Fukushima Daichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami: IAEA Mission Report. – IAEA, 2011. – 160 p.
5. Щодо Плану дій з виконання цільової позачергової перевірки та подальшого підвищення безпеки АЕС України з урахуванням подій на Фукусіма-1 / Колегія Держатомрегулювання, № 2 від 19.05.11 р.
6. Ващенко В.М., Кордуба І.Б. Аналіз смерчонебезпеки для вдосконалення технології екологічно безпечного виведення з експлуатації водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС. – «Екологічна безпека», – № 2/2016 (22), с. 128–136.
7. Волеваха В.А., Токарь Н.Ф. Шквали и смерчи на Украине в 1984–1985 гг. // Труды Украинского регионального научно-исследовательского института. – 1987. – Вып. 225. – С. 46–55.
8. Ромов А.И., Шишкин Н.С., Сосновская Р.П., Железняк О.М. Смерчи на Украине 30 мая 1985 г. // Метеорология и гидрология. – 1987. – № 2. – С. 27–36.
9. Страхов В.Н., Старостенко В.И., Харитонов О.М. и др. Сейсмические явления в районе Чернобыльской АЭС. – Геофизический журнал, том 19, №3, 1997, с. 3–15.
10. Сейсмологічні дослідження для безпеки ЧАЕС [Електронний ресурс] / Старостенко В.І. та ін. // Національна академія наук України — Чорнобиль: Зб. наук. пр. / НАН України. Нац. бібліотека України ім. В. І. Вернадського. – К., 2006. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/books/2006/chernobyl/svi.pdf>.
11. Кензера О.В. Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів. – Вісник НАН України – 2015 – №2 – С. 44–57.
12. Пояснительная записка к Техническому решению «Про визначення критичних подій, які мають бути розглянуті при розробці проектної документації на виведення з експлуатації

- водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС і вимог щодо радіаційних критеріїв кінцевого стану території». – 2012. – 7 с.
13. Талерко Н.Н., Гаргер Е.К., Кузьменко А.Г. Прогнозная оценка трансграничного переноса радионуклидов вследствие прохождения смерча над водоемом-охладителем ЧАЭС // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2013. – Вип. 20.
14. Каталог смерчей, которые наблюдались на территории Украины в 1987–2003 гг. – ВМП Укр ГМЦ. – 145 с.
15. Снитковский А. И. Смерчи на территории СССР // Метеорология и гидрология. – 1987. – № 9. – С. 12–25.
16. Наказ Держбуду України № 64 від 21.10.2002 «Основні нормативні вимоги та розрахункові характеристики смерчів майданчика Чорнобильської АЕС».
17. Скалозубов В.И., Габлая Т.В. Повышение экологической безопасности атомной энергетики Украины в постфукусимский период. – А.А. Гудима, Т.В. Герасименко, И.Л. Козлов. – Киев. – 2013. – 120 с.