

УДК 621.039.586:614.876

В. М. ВАЩЕНКО, І. Б. КОРДУБА, А. А. ГУДИМА

ДЕТЕРМІНІСТСЬКИЙ МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СМЕРЧІВ НА ВОДОЙМУ-ОХОЛОДЖУВАЧ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

На основі використання модельних підходів, запропонованих В. І. Скалозубовим, виконано дослідження для оцінки параметрів хвилі цунамі, викликані впливом смерчу на водну поверхню водойми-охолоджувача ЧАЕС. При певних умовах хвиля може мати висоту більшу за висоту відгороджувальної дамби і спричинити переливання радіоактивних водних мас в річку Прип'ять поверх відгороджувальної дамби ВО ЧАЕС.

Ключові слова: зона відчуження, водойма-охолоджувач, смерчонебезпека, хвиля затоплення, детерміністський метод моделювання

В работе, на основе использования модельных подходов, предложенных В. И. Скалозубовым, выполнено исследование для оценки параметров волны цунами, вызванной влиянием смерча на водную поверхность ВО ЧАЭС. При определенных условиях волна может иметь высоту превышающую высоту отгораживающей дамбы и в таком случае и вызвать переливание радиоактивных водных масс в реку Припять поверх отгораживающей дамбы ВО ЧАЭС.

Ключевые слова: зона отчуждения, водоем-охладитель, смерчопасность, волна затопления, детерминистский метод моделирования

Based on the fact, that Chernobyl NPP is located in tornado-hazard area and based on the model approaches by V. I. Skalozubov, a research has been carried out to estimate the parameters of a tsunami wave that might be caused by a tornado influence at water surface of a Chernobyl NPP coolant pond. Under certain conditions the wave can have height larger than the border dike and cause overflow of the water masses into Pripyat river.

Modeling of the flooding wave in the coolant pond caused by tornadoes was performed for tornadoes with intensity class F1.0, F2.0 and F3.0. It was shown that a conservative dike flooding under the design water level in the Chernobyl NPP coolant pond does not happen under F1.0 intensity tornado influence. However, in case of F2.0 and F3.0 intensity class and higher the coolant pond dike is overflowed at the earliest stages of tornado wave formation ($T < 0.3$). Flooding of Chernobyl NPP coolant pond will cause a large quantity of radiation contaminated water substance enter into Pripyat river with further hazardous environmental consequences.

The final decommissioning of the Chernobyl NPP coolant pond supposes water level reduction by 7 m, i.e. approximately to Pripyat river level. Under such conditions conservative dike overflowing by a wave created by F3.0 intensity tornado and below does not happen according to the obtained results.

Keywords: exclusion zone, water-oholaditel, smercheopasnost wave zatoplniya, deterministic simulation method.

Вступ. Згідно статистичних даних про смерчі, що були зареєстровані на території України в 1844–2001 рр., більшість вітчизняних об'єктів використання ядерної енергії (ОВЯЕ) розташовані в смерч-небезпечних районах з розрахунковим класом імовірних смерчів kp^2 та з середньорічною імовірністю виникнення смерч-небезпечної події більшої за $P_S = 10^{-4}$ 1/рік [1].

В керівних і нормативних документах смерчі відносяться до небезпечних зовнішніх природних екстремальних впливів (ЗПЕВ). Для споруд АЕС зовнішніми являються впливи, що виникають зовні фізичних меж конструкції цих споруд [2]. Для водойм-охолоджувачів АЕС визначення поняття «фізичних меж» можна замінити на поняття «географічних меж» водойм разом з усіма їх інженерно-технічними системами і спорудами (дамби, насосне обладнання, канали, шлюзові системи та інше) що забезпечують їх екологічно безпечне функціонування і експлуатацію в штатних та аварійних режимах, а також в процесі виведення водойм-охолоджувачів з експлуатації шляхом осушування, консервації чи шляхом їх повної ліквідації.

Як показав світовий досвід експлуатації та виведення з експлуатації радіоактивних водойм, вплив смерчів на них може спричинити підняття та винесення радіації за межі чаші водойми. Тому, після аварії на Чорнобильській АЕС, виникла проблема смерч безпеки її водойми-охолоджувача забрудненої радіацією [3].

Статистичні дані про проходження смерчів над територією вибраного промислового майданчика розташування та спорудження ОВАЕ і на основі яких визначаються рішення про прийняття допустимої

межі імовірності виникнення смерчонебезпечної події P_0 значення якої (з врахуванням рекомендацій [1]) можна прийняти рівним $P_0 = 10^{-4}$.

Смерчонебезпека території розташування ОВАЕ оцінюється шляхом визначення річної імовірності P_S виникнення смерч-небезпечної події в районі розташування і спорудження ОВАЕ в межах території площею 1000 км² що оточує промисловий майданчик ОВАЕ [1]. Якщо для району розташування ОВАЕ в межах території площею 1000 км², що оточує майданчик ОВАЕ, розташований в зоні з однорідними фізико-географічними умовами щодо утворення смерчів, встановлено річну імовірність проходження смерчів більше P_0 ($P_S > P_0$), то тоді територія є смерчонебезпечною і це вимагає визначення головних характеристик смерчів для цієї території.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Нові дискусії та дослідження щодо довготривалої екологічної безпеки ВО ЧАЕС виникли у зв'язку з початком остаточного виведення з експлуатації цієї унікальної і забрудненої радіацією водойми шляхом її поступового осушування [4, 5].

Незаперечним стимулом для нових досліджень з переоцінки екологічної смерч безпеки для ВО ЧАЕС також є трагічні екологічні наслідки радіаційної аварії у 1967 році на радіоактивній технологічній водоймі В-9 (відома як озеро Карачай) в яку скидалися промислові радіоактивні відходи з підприємств відомого радянського виробничого об'єднання (ВО) МАЯК в Челябінській області.

Аналіз екологічної катастрофи 1967 року в результаті впливу вітрів та смерчів на радіоактивну водойму В-9 виробничого об'єднання (ВО) Маяк.

Водойма В-9 (відома під назвою озеро Карачай) з 1951 року використовувалось як сховище рідких радіоактивних відходів, яка після радіаційно-екологічної катастрофи на ВО Маяк перекинула скидання радіації в річку Теча. В озері сумарно було накопичено понад 120 млн Кі бета-активних нуклідів: 40 % ^{90}Sr та 60 % ^{137}Cs , з яких на момент початку консервування озера 7 % – знаходились в воді, 41 % – в суглинках чаші озера, 52 % – в динамічних донних відкладеннях.

Накопичені в озері радіонукліди спричинили його розігрів і озеро почало висихати, становлячись ще більш небезпечним джерелом розповсюдження радіоактивності.

На фоні радіоактивного розігрівання озера в 1967 році в Челябінській області виникли ваомальні кліматичні умови. Зима 1966–1967 р., була малосніжною (випало осадків менше 10 % від середньої багаторічної норми) а весна також була сухою і ранньою. Подальше розігрівання ґрунтів сприяло процесам інтенсивного пилоутворення. Почалось різке зниження рівня води в озері і осушення його берегів з радіоактивними відкладеннями. При цьому аномальні кліматичні умови викликали вітри та смерчі, а також стовпоподібні підйомні атмосферні потоки підняли висушені озерні радіоактивні відкладення і рознесли їх більше як на 2500 к. км, небезпечно посиливши рівень радіоактивного забруднення територій після першої катастрофи на ВО Маяк у 1957 р. В результаті було визнано що 500 000 населення було враженим вторинним радіоактивним забрудненням. Сумарна активність, рознесених вітрами і смерчами з осушених та водних поверхонь озера Карачай радіоактивних субстанцій, сягала около 600 Кі. Для порівняння відмітимо, що в озері Карачай знаходиться біля 200 млн Кі, а в Чорнобилі 40-50 млн Кі.

Радіоактивні відходи, що були перенесені вітрами і смерчами, покрили 63 населених пункти з населенням в 42 000 жителів. З них 18 000 були евакуйовані. А в результаті вторинного радіаційного забруднення в поселеннях на відстанях 7–12 км від озера Карачай утворились території рівень забруднення яких становив 0,1 Кі/кв. км що відповідає нормам надзвичайної екологічної ситуації. До того ж, дуже пологі радіоактивні береги озера стали причиною того, що навіть зовсім незначні коливання рівня води в озері внаслідок сухої погоди чи дощів призводило до значних змін площі водного дзеркала озера.

Аерокосмічні фотографії осушеної чаші ВО ЧАЕС багато в чому показують аналогічні рельєфні особливості з озером Карачай. До того ж рельєф екологічно небезпечної частини осушеної чаші ВО ЧАЕС підсилюється обширними висушеними багатокілометровими площами піщаних ділянок вкритих радіоактивними моллюсками дрейсени та їх залишками.

В пост фокусімських роботах [6, 7] були виконані переоцінки смерч-небезпеки для АЕС України з точки зору можливості затоплення їх промислових майданчиків в результаті утвореної смерчем хвилі затоплення на водоймах-

оохолоджувачах АЕС. Однак дослідження параметрів такої хвилі затоплення для ВО ЧАЕС не проводились. Проте нові спостережні та експериментальні дані для штучно створюваних смерчів дають можливість уточнити моделі і адекватно оцінити масштаби небезпечних радіаційних екологічних наслідків що можуть виникнути в результаті впливу смерчів на екологічно небезпечні природно-антропогенні водойми, яким є ВО ЧАЕС.

Тому в даній роботі, на основі використання підходів В.І. Скалозубова, були виконані дослідження характеристик хвилі-цунамі, що може утворитись в результаті впливу смерчу на поверхню ВО ЧАЕС і перемістити радіоактивні водні маси за межі огорожувальної дамби.

Загальна характеристика смерчонебезпеки в районі розташування водойми-оохолоджувача Чорнобильської АЕС. На європейській частині території СНГ існує два географічні центри смерчоутворення. Перший - по обидві сторони кордону Україна-Білорусь, другий – між Москвою і Новгородом [7].

Умови для формування смерчів виникають на території України нерідко – за останні 20 років зареєстровано більше 34 сильних смерчів. Найчастіше смерчі утворюються на територіях степового та центрального Полісся. Невеликі локальні смерчі спостерігаються там щороку. Оскільки Чорнобильська зона відчуження (ЧЗО), розташована на півночі Київської області на території Полісся, тому вона також є зоною підвищеної смерчонебезпеки [7]. В Київській області найпотужніший смерч, 3-го класу інтенсивності за шкалою Фуджіти, був зареєстрований 18 серпня 1969 року. Іще три руйнівних смерчі в Київській області які утворились та спостерігались в районі Київського водосховища, рухались в напрямку на південний схід. Імовірність виникнення смерчу в Київській області на 1000 км² оцінюється рівною $1.4 \cdot 10^{-1}$ 1/рік, а на території ЧЗВ - $4 \cdot 10^{-2}$ 1/рік. Таким чином, існує вагома імовірність того, що смерч може утворитись або пронестись над частково висушене чашею водойми-оохолоджувача ЧАЕС.

На території України спостерігаються смерчі з діаметрами в 10-300 м. Воронки смерчів утворюються в материнських хмарах на великих висотах не менше 13 км. Потім воронка опускається до поверхні землі і працює як насос. Швидкість руху повітря в смерчі від 360 до 1100 км/годину, а всередині смерчу виникає зона дуже низького тиску, яка затягує все, що виникає на його шляху. В результаті для ВО ЧАЕС найімовірнішим може бути сценарій утворення хвилі-цунамі яка здатна спричинити затоплення огорожувальної дамби та підняття і розповсюдження за периметр чаші водойми-оохолоджувача твердих і рідких радіоактивних субстанцій.

Мета та задачі дослідження. Мета роботи визначається тим, що найбільш екологічно безпечною стратегією виведення ВО ЧАЕС з експлуатації, як показує світовий практичний досвід експлуатації радіоактивних екологічно небезпечних водойм, повинна бути стратегія, що здатна забезпечити можливість підживлення ВО ЧАЕС водою за

допомогою насосів. Таке підживлення необхідне для підтримки рівня води в чаші водойми-охолоджувача на рівні, що забезпечить максимальне екранування та уникнення виносу затоплюючою хвилею, а також вітрами і смерчами радіації, що знаходиться у воді та на дні ВО ЧАЕС. При цьому цілком очевидно, що цей рівень повинен бути завжди оптимальним і враховувати можливість виникнення та головні параметри хвилі затоплення.

Матеріали та методи дослідження. Основні положення методу моделювання хвилі в ВО під

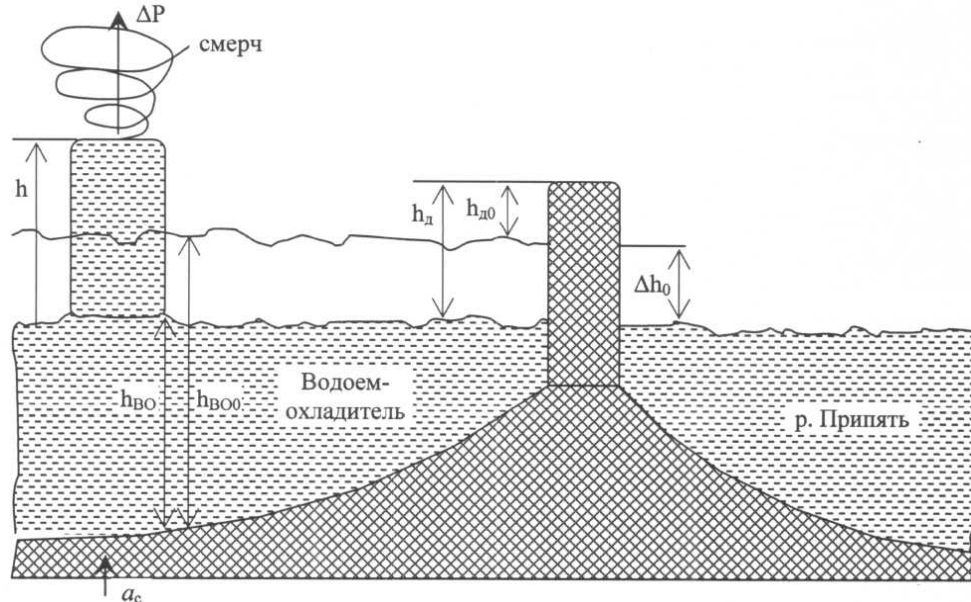


Рис. 1 – Розрахункова модель виникнення смерчу в водоймі-охолоджувачі ЧАЕС: $h_{во0}$ – проектний рівень поверхні води в ВО над поверхнею води в р. Прип'ять (~ 7 м); $h_{до}$ – висота дамби над рівнем води в частково осушеному ВО (максимальна висота ~ 3 м); h – поточна висота стовпа води над поверхнею води в ВО, сформованого в результаті смерчу; $h_{во}$ – проектний рівень поверхні води ВО в Балтійській системі висот (~ 111,0 м БС); $h_{во0}$ – поточний рівень води в частково осушеному ВО; ΔP – підйомна сила смерчу на одиницю поверхні; a_c – відгук прискорення землетрусу на дні ВО

Формуванню хвилі під впливом смерчу перешкоджають сили гідродинамічного розсіювання і вага стовпа хвилі над поверхнею ВО.

Хвиля утворювана смерчем моделюється як зосереджена система з усередненими гідродинамічними параметрами.

При моделюванні хвилі від смерчу в ВО приймаються наступні консервативні допущення, тобто «найгірші» умови щодо смерч небезпеки:

- процес формування хвилі від смерчу покладається ізотермічним а тепловими втратами енергії хвилі нехтується; щільність води в ВО р при її температурі в ВО;

- площа поверхні контакту епіцентру смерчу з поверхнею ВО значно менше загальної площі поверхні ВО а $h_{во} \sim h_{во0}$ (рис. 2);

- формування або проходження смерчу над поверхнею ВО відбувається в безпосередній близькості від дамби, яка відгороджує ВО від р. Прип'ять (рис. 2);

- перепад тиску ΔP між периферією і центром воронки смерчу приймається максимальним для кожного класу інтенсивності смерчу [4]: для F 1.0 $\Delta P = 31$ ГПа, для F 2.0 $\Delta P = 60$ ГПа, для F 3.0 $\Delta P = 104$ ГПа.

З урахуванням наведених вище припущень і положень рівняння утворення хвилі затоплення в ВО від впливу смерчу має вигляд [7]:

впливом смерчу полягають в наступному:

В результаті зародження або проходження вже сформованого смерчу над поверхнею води в ВО в результаті виникнення активного перемішування різногустинних і різнотемпературних шарів повітря виникають високошвидкісні обертання повітряних мас в епіцентрі смерчу, які створюють істотний перепад тиску ΔP на периферійній поверхні смерчу і визначають відповідну підйомну силу смерчу для виникнення вилі в ВО ЧАЕС (рис. 1).

$$\rho \frac{d}{dt} \left(h \frac{dh}{dt} \right) = \Delta P - \xi_r \rho \frac{d}{dt} \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 - \rho gh \quad (1)$$

при початкових умовах

$$h(t=0) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dh}{dt}(t=0) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d^2 h}{dt^2}(t=0) = 0 \quad (4)$$

Умова затоплення дамби хвилею утвореною смерчем:

$$h \geq h_{до} \quad (5)$$

де ρ – щільність водного середовища ВО; h – висота хвилі сформованої смерчем (рис. 2); t – поточний час; ΔP – перепад тиску на периферійно поверхні смерчу (рис. 2); ξ_r – приведений коефіцієнт гідродинамічної дисипації енергії при формуванні хвилі ВО від впливу

смерчу; g – прискорення сили тяжіння; $h_{до}$ – висота дамби над вихідною поверхнею рівня ВО.

Введемо далі безрозмірні параметри:

$$H = h/h_{до} \quad (6)$$

$$T = t/t_m \quad (7)$$

де t_m – часовий масштаб висоти хвилі сформованої смерчем.

Тоді рівняння хвилі сформованої смерчем в ВО в критеріальній формі має вигляд:

$$H \frac{d^2 H}{dT^2} + (1 + \xi_r) \left(\frac{dH}{dT} \right)^2 + K_g H = K_p \quad (8)$$

де

$$K_g = \frac{g t_m^2}{h_{до}}$$

$$K_p = \frac{\Delta P t_m^2}{\rho h_{до}^2}$$

При початкових умовах

$$H(T=0) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{dH}{dT}(T=0) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{d^2 H}{dT^2}(T=0) = 0 \quad (11)$$

З умови $K_g \approx 1$ впливає часовий масштаб хвилі затоплення дамби сформованої під впливом смерчу:

$$t_m = \sqrt{\frac{h_{до}}{g}} \quad (12)$$

Тоді рівняння (8) для хвилі затоплення в ВО сформованої під впливом смерчу:

$$H \frac{d^2 H}{dT^2} + (1 + \xi_r) \left(\frac{dH}{dT} \right)^2 + H = K_p \quad (13)$$

де

$$K_p = \frac{\Delta P}{\rho g h_{до}}$$

Аналіз результатів моделювання хвилі затоплення дамби водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС. Рівняння (13) при початкових умовах (9)–(11) є нелінійним диференціальним рівнянням 2-го порядку, яке не має аналітичних рішень. Тому рішення (9)–(13) виконувалось чисельним методом Рунге-Кутта з точністю розрахункового моделювання $\pm 10\%$.

Результати розрахункового моделювання динаміки хвилі затоплення в ВО під впливом смерчів з класом інтенсивності F1.0, F 2.0 і F 3.0 наведені на рис. 2.

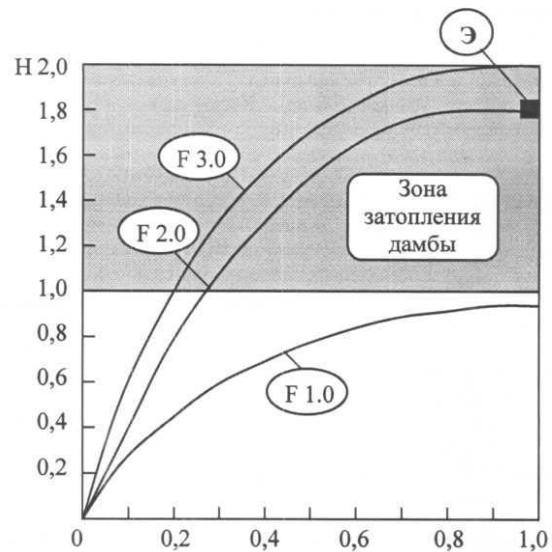


Рис. 2 – Динаміка висоти хвилі в ВО під дією смерчів з класами інтенсивності F 1.0, F 2.0 і F 3.0. Э – експериментальне значення висоти хвилі в долині річок Мацеста і Бзугу (Краснодарський край, $43^\circ 34/39^\circ 42$, 24.07.1991 р) під впливом смерчу 2-го класу інтенсивності (F 2.0)

Значення наведеного коефіцієнта гідродинамічної дисипації при формуванні хвилі в ВО під впливом смерчу визначалося на основі відповідності з відомими експериментальними даними по максимальній висоті хвилі від смерчу з класом потужності F-2.0 в долині річок Мацеста і Бзугу в Краснодарському краї, в районі міста Сочі, 24.07.1991р.). В результаті проведених варіаційних розрахунків було встановлено значення $\xi_r = 0,2$.

Аналіз отриманих результатів розрахункового моделювання впливу смерчів на ВО ЧАЕС дозволяє зробити наступні висновки:

1. Консервативне затоплення дамби при проектному рівні в ВО під впливом смерчу 1-го класу інтенсивності F 1.0 не відбувається.

2. При смерчах 2-го (F 2.0) і 3-го (F 3.0) класів інтенсивності і більше відбувається затоплення дамби ВО вже на початкових етапах формування хвилі від смерчу ($T < 0,3$). При цьому затоплення дамби ВО ЧАЕС призведе до потрапляння великої кількості радіоактивно забрудненого водного середовища в р. Прип'ять та до подальших небезпечних екологічних наслідків для навколишнього середовища.

3. Зняття з експлуатації ВО передбачає зниження проектного рівня води на 7м, тобто приблизно до рівня в р. Прип'ять. За таких умов консервативне затоплення дамби хвилею, створеною смерчем F 3.0, і класом нижче, згідно з отриманими результатами, не відбувається.

Аналіз результатів оцінок смерчонебезпеки для атомної енергетики України. Відповідно до статистичних даних для періоду 184-2001 рр., більшість ОВАЕ України знаходяться в смерч небезпечних районах в яких можливе утворення та проход-

ження смерчів з розрахунковим класом інтенсивності $kr^3/2$ з річною імовірністю виникнення смерч небезпечної події більше $PS = 10-4$ 1/рік [1].

До Фукусімської аварії оцінки смерчонебезпечної події для АЕС України виконувались в рамках звітів з аналізу безпеки при зовнішніх екстремальних впливах (ЗАБ ЗЕВ) [8]. Вплив смерчів на безпеку АЕС в ЗАБ ЗЕВ фактично характеризувався оцінкою сумарної імовірності виникнення смерчів (частоти проходження смерчів) в районі розташування АЕС при консервативному положенні, що виникнення смерчів різних класів інтенсивності, включаючи і смерчі з інтенсивністю менше 2-го класу, призводять до важких аварій. В результаті для ЗАЕС було встановлено, що смерчі привносять найбільший вклад з усіх можливих екстремальних природних явищ в ЧПАЗ для внутрішніх вихідних подій. А найкритичнішим для безпеки у разі впливу смерчів є системи нормального електрозабезпечення та технічного водо забезпечення відповідальних споживачів. Але разом з тим, на основі результатів консервативних оцінок відносно малого впливу смерчів на сумарну ЧПАЗ, відповідним протиаварійним організаційно-технічним заходам установлений низький пріоритет. Аналогічні результати були отримані і для інших проммайданчиків АЕС України.

Проведені після Фукусімської аварії стрес-тести переоцінки безпеки атомної енергетики України з врахуванням уроків даної аварії [7,8] не виявили додаткових (нових) дефіцитів безпеки стосовно екстремальних природних явищ - в тому числі і смерчів.

У відношенні основних результатів оцінок смерч-небезпеки для АЕС України (до і після Фукусімської аварії) необхідно акцентувати увагу на наступне:

1. Оцінки ЗАБ ЗЕВ частоти проходження смерчів суперечать встановленим категоріям смерчонебезпечних зон. Так, для району ЗАЕС (зона Б підвищеної смерч небезпеки) клас інтенсивності смерчів дорівнює значенню $F = 3,58$ з частотою проходження $8,7 \times 10^{-3}$ 1/рік [1]. А в ЗАБ ЗЕВ $8,19 \times 10^{-7}$ 1/рік. Саме такі необґрунтовано низькі оцінки ЗАБ ЗЕВ частоти проходження смерчів дозволили отримати висновки про їхній відносно малий вплив на базову ЧПАЗ, навіть при надлишкових консервативних припущеннях по умовній імовірності пошкодження активної зони, у разі впливу смерчів – умовно прийнята рівною одиниці.

3. Недостатньо обґрунтованим є прийняте рішення про виключення з розгляду та аналізу аварійних подій з затоплюванням проммайданчиків АЕС, що можуть бути викликані в результаті впливу на них смерчів. Цей же висновок необхідно поширити і у відношенні смерчонебезпеки для радіоактивно забрудненої водойми-охолоджувача ЧАЭС.

Для прикладу можна навести смерчонебезпечну подію 24 липня 1991 року в районі долин річок Маєста і Бзугу в Краснодарському краї. Смерч, що «вийшов» з моря, мав 2-й клас інтенсивності) підняв рівень води до 5 м, що призвело до значних руйнувань і людських жертв. На території бувшого СРСР було зафіксовано десятки подій, пов'язаних з насиченими водою смерчами не більше 2-го класу інтенсив-

ності з катастрофічними наслідками [1]. Так, для району розташування Запорізької АЕС при установленому класі інтенсивності смерчу більшої за 3-й, питома (на одиницю поверхні) підйомна сила майже в 2,5 разів (109 ГПа) перевищувала відповідне значення в приведених відомих випадках. Тому є дуже важливим і необхідним проведення додаткового аналізу можливого затоплення проммайданчиків АЕС та інших навколишніх територій в смерч небезпечних районах України і в тому числі у разі спільного впливу смерчу з іншими екстремальними природними явищами.

Обговорення результатів дослідження. Одним з головних принципів уроків ядерної екологічної катастрофи на японській АЕС Фукусіма-1 є недопустимість виключення з розгляду моделювання, аналізу, протиаварійних заходів і іншого, по відношенню до впливів малоімовірних екстремальних природних явищ. Тому прийнята в Звітах з аналізу безпеки зовнішніх екстремальних впливів (ЗАБ ЗЕВ) низька пріоритетність розгляду впливу смерчів на безпеку АЕС є необґрунтованою, і особливо для тих випадків, коли об'єкти використання атомної енергії розташовані в районах з високою смерчонебезпекою.

До аналогічного висновку приводять також результати аналізу радіаційної катастрофи на радіоактивній водоймі В-9 ВО Маяк у 1967 році в СРСР яка виникла в результаті спільної дії аномально засушливих кліматичних умов в даному році та виникнення і проходження великих і малих смерчів через його акваторію та осушені ділянки берегів.

Висновки. Детерміністське моделювання та аналіз ЗЕВ на об'єкти атомної енергетики в тому числі і на водойми-охолоджувачі АЕС не проводилося і фактично зводилося до оцінок імовірності виникнення того або іншого зовнішнього екстремального впливу. При цьому використовувані в звітах з аналізу безпеки зовнішніх екстремальних впливів (ЗАБ ЗЕВ) імовірнісні оцінки частоти виникнення окремих екстремальних подій були явно занижені і суперечили результатам відомих геологічних, метеорологічних та екологічних досліджень, в тому числі і по відношенню до імовірності виникнення смерчів та інших екстремальних зовнішніх впливів [7, 8].

Уроки аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі змусили все світове ядерне співтовариство повністю переглянути традиційні підходи щодо моделювання та аналізу вплив ЗЕВ на екологічну безпеку об'єктів атомної енергетики. У разі оцінки впливу ЗЕВ на екологічну безпеку консервативно припускалось, що виникнення будь-якого ЗЕВ призводить до важких аварій з пошкодженням ядерного палива. Однак оскільки використовується сумарна ймовірність виникнення ЗЕВ становила не більш 19 % від сумарної ЧПАЗ, то впливом ЗЕВ на безпеку АЕС фактично нехтувалось. Але цей висновок ніяк не відноситься до результатів можливого впливу ЗЕВ на водойми-охолоджувачі АЕС і в першу чергу до ВО ЧАЭС. Саме тому виникла необхідність переоцінки безпеки всіх українських АЕС з врахуванням наукового обґрунтування характеристик смерч небезпечних зон та найголовніших уроків Фукусімської аварії по відношенню до дуже мало імовірних екстремальних природних явищ і впливів.

Зняття з експлуатації ВО передбачає зниження проектного рівня води на 7м, тобто приблизно до рівня в р. Прип'ять. За таких умов консервативне затоплення дамби хвилею, створеною смерчем F 3.0, і класом нижче, згідно з отриманими результатами, не відбувається.

Консервативне затоплення дамби при проектному рівні в ВО під впливом смерчу 1-го класу інтенсивності F 1.0 не відбувається.

При смерчах 2-го (F 2.0) і 3-го (F 3.0) класів інтенсивності і більше відбувається затоплення дамби ВО вже на початкових етапах формування хвилі від смерчу ($T < 0,3$). При цьому затоплення дамби ВО ЧАЕС призведе до потрапляння великої кількості радіоактивно забрудненого водного середовища в р. Прип'ять та до подальших небезпечних екологічних наслідків для навколишнього середовища.

Список літератури:

1. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46587/index.php
2. Учет экстремальных метеорологических явлений при выборе площадок АЭС (без учета тропических циклонов). Руководство по безопасности [Текст]. – Вена: МАГАТЭ, 1983. – 76 с.
3. Наказ N 64 від 21.10.2002 р. Про Основні нормативні вимоги та розрахункові характеристики смерчів для майданчика Чорнобильської АЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://text.normativ.ua/doc10305.php>
4. Талерко, Н. Н. Прогнозная оценка трансграничного переноса радионуклидов вследствие прохождения смерча над водоемом-охладителем ЧАЭС [Текст] / Н. Н. Талерко, Е. К. Гаргер, А. Г. Кузьменко // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля. – 2013. – № 20. – С. 85–93.
5. Про визначення критичних подій, які мають бути розглянуті при розробці проектної документації на вивід з експлуатації водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС і вимог щодо радіаційних критеріїв кінцевого стану території: пояснювальна записка до технічного рішення за № 02-ГУПС.7 [Текст]. – ДСП ЧАЕС, 2012 – 23 с.
6. Скалозубов, В. И. Комплекс методов переоценки безопасности атомной энергетики Украины с учетом уроков экологических катастроф в чернобыле и Фукусиме [Текст] / В. И. Скалозубов, Г. А. Оборский, И. Л. Козлов. – Одесса: Астопринт, 2013. – 244 с.
7. Брюхань, Ф. Ф. Смерчеопасные зоны в СССР и размещение атомных станций [Текст] / Ф. Ф. Брюхань, М. Е. Ляхов, В. Н. Попробняк // Известие АН СССР. Серия география. – 1989. – № 1. – С. 40–48.
8. Скалозубов, В. И. Научно-технические основы мероприятий повышения безопасности АЭС с ВВЭР [Текст] / В. И.

9. Скалозубов, А. А. Ключников, Ю. А. Комаров, А. В. Шавлаков. – Чернобыль: Институт проблем безопасности, 2010. – 200 с.
9. Козлов, И. Критерии затопления площадок АЭС совместным воздействием смерчей и землетрясений в пруде-охладителе [Текст] / И. Козлов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/6 (75). – С. 53–58. doi: [10.15587/1729-4061.2015.42146](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42146)
10. Козлов, И. Обзор направлений совершенствования моделирования тяжелых аварий с учетом опыта АЭС Tree Mile Island [Текст] / И. Козлов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 5/10 (77). – С. 54–59. doi: [10.15587/1729-4061.2015.42145](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42145)

Bibliography (transliterated):

1. Rekomendacii po ocenke harakteristik smercha dlja obektov ispol'zovanija atomnoj jenerгии. Available at: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46587/index.php
2. Uchet jekstremal'nyh meteorologicheskikh javlenij pri vybore ploshhadok AJeS (bez ucheta tropicheskikh ciklonov). Rukovodstvo po bezopasnosti (1983). Vena: MAGATJe, 76.
3. Nakaz N 64 vid 21.10.2002 r. Pro Osnovni normatyvni vy'mogy' ta rozrakhunkovy harakterystyky' smerchiv dlya majdanchy'ka Chornoby'l's'koyi AES. Available at: <http://text.normativ.ua/doc10305.php>
4. Talerko, N. N., Garger, E. K., Kuz'menko, A. G. (2013). Prognoznaja ocenka transgranichnogo perenosa radionuklidov vsledstvie prohozhdenija smercha nad vodoemeom-ohladiatelem ChAJeS. Problemy bezopasnosti atomnyh jelektrostancij i Chernobylja, 20, 85–93.
5. Pro vy'znachennya kry'ty'chny'x podij, yaki mayut' buty' rozglyanuti pry' rozrobci proektnoyi dokumentaciyi na vy'vid z ekspluataciyi vodojmy'-oxolodzhuvacha Chornoby'l's'koyi AES i vy'mog shhodo radiacijny'x kry'teriyiv kincevogo stanu tery'torij: pojasnyuval'na zapy'ska do technichnogo rishennya za N 02-GUPS.7. (2012). DSP ChAES, 23.
6. Skalozubov, V. I., Oborskij, G. A., Kozlov, I. L. (2013). Kompleks metodov pereocenkы bezopasnosti atomnoj jenergetiki Ukrainy s uchetoм urokov jekologicheskikh katastrof v chernobyle i Fukusime. Odessa: Astoprint, 244.
7. Brjuhan', F. F., Ljahov, M. E., Pogrebnyak, V. N. (1989). Smercheopasnye zony v SSSR i razmeshhenie atomnyh Izvestie AN SSSR. Serija geografija, 1, 40–48.
8. Skalozubov, V. I., Kljuchnikov, A. A., Komarov, Ju. A., Shavlakov, A. V. (2010). Nauchno-tehnicheskie osnovy meroprijatij povyshenija bezopasnosti AJeS s VVJeR. Chernoby'l: Institut problem bezopasnosti, 200.
9. Kozlov, I. L. (2015). Criteria for NPP industrial site flooding by combined impact of tornadoes and earthquakes in the cooling pond. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(6(75)), 53–58. doi: [10.15587/1729-4061.2015.42146](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42146)
10. Kozlov, I. L. (2015). Overview of directions of improving the simulation of severe accidents based on the experience of the Tree Mile Island NPP. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(10(77)), 54. doi: [10.15587/1729-4061.2015.42145](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42145)

Надійшла (received) 18.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Детерміністський метод моделювання впливу смерчів на водойму-охолоджувач чорнобильської АЕС / В. М. Ващенко, І. Б. Кордуба, А. А. Гудима // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 49(1221). – С.106–112. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Детерминистский метод моделирования воздействия смерчей на водоем-охладитель Чернобыльской АЭС / В. Н. Ващенко, И. Б. Кордуба, А. А. Гудима // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 49(1221). – С.106–112. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Deterministic modeling method of tornado impact at chernobyl NPP coolant pond / V. Vashchenko, I.

Korduba, A. Gudyma //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 49 (1221).– P.106–112. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ващенко Володимир Миколайович – доктор фізико-математичних наук, професор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління; вул. Митрополита Василя Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035; e-mail: danileo@ukr.net

Ващенко Владимир Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления; ул. Митрополита Василия Липковского, 35, г. Киев, Украина, 03035; e-mail: danileo@ukr.net

Vashchenko Volodymyr – doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management; V. Lypkivskogo str., 35, Kyiv, Ukraine, 03035; e-mail: danileo@ukr.net

Кордуба Ирина Богданова – аспірант, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління; вул. Митрополита Василя Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035

Кордуба Ирина Богданова – аспирант, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, ул. Митрополита Василия Липковского, 35, г. Киев, Украина, 03035

Korduba Irina – graduate student, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management; V. Lypkivskogo str., 35, Kyiv, Ukraine, 03035.

Гудима Алла Анатоліївна – кандидат технічних наук, Державна інспекція ядерного регулювання України; вул. Арсенальна, 9/11, м. Київ, 01011.

Гудима Алла Анатольевна – кандидат технических наук, Государственная инспекция ядерного регулирования Украины; ул. Арсенальная, 9/11, г. Киев, 01011.

Gudyma Alla – PhD, State Inspectorate of Nuclear Regulation of Ukraine; Arsenalnaya str., 9/11, Kyiv, Ukraine, 01011.