



**МАТЧЕНКО П.Т.**  
Молодший науковий  
співробітник, ДНТЦ ЯРБ ДП  
Держатомрегулювання України

## ОЦІНКА СМЕРЧ НЕБЕЗПЕЧНОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ АЕС, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

УДК 624.015:624.023

### АНОТАЦІЯ

*Викладено співвідношення для визначення розрахункових характеристик смерчів, навантажень та впливів внаслідок дії смерчу та їх комбінацій на металеві конструкції, що знаходяться в експлуатації і мають пошкодження та визначення їх запасів стійкості до смерчу.*

*We set out to determine the ration of the design characteristics of tornadoes, loads and effects due to the action of a tornado, and combinations there of to the metal structures are in operation and have damage. Set out ratio for stocks resistance tornado.*

### КЛЮЧОВІ СЛОВА

смерч, стійкість, безпечність, металеві конструкції, смерч

### ВСТУП

Останнім часом почастишали випадки виникнення смерчів на території України та прикордонних державах. Металеві конструкції АЕС (наприклад: антени, ЛЕП, навіси, естакади трубопроводів та інші), що тривалий час експлуатуються і мають пошкодження у вигляді викривлень, тріщин, корозії, можуть втрачати стійкість до навантажень, викликаних смерчем. Відмова таких конструкцій може призвести до порушення зв'язку, відмови електро- та водопостачання або легкі металеві елементи можуть бути підняті смерчем і кинуті на обладнання та прилади, важливі для безпеки АЕС.

**Ціль цієї роботи** – викласти співвідношення для визначення навантажень імовірного смерчу, а також запасів стійкості до смерчу металевих конструкцій АЕС, що тривалий час експлуатуються і мають пошкодження.

### ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА СМЕРЧ НЕБЕЗПЕЧНОСТІ ТЕРИТОРІЙ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АЕС

Визначення розрахункових характеристик смерчів в межах території розміщення об'єкту



здійснюється на підставі мапи районування території України за смерч небезпечністю відповідно до Додатку 1 [6].

Якщо район розміщення об'єкту за мапою Додатку 1 [6] відноситься до зони підвищеної смерч небезпечності (з індексами А, Б, В) або до смерч небезпечного району (з індексами ІБ, ІВ, ІГ, ІД, ІЕ, ІА, ІБ, ІП, ІВ), тоді це визначає необхідність урахування навантажень і впливів від імовірного смерчу при експлуатації будівель і споруд АЕС, важливих для безпеки або об'єктів класу ССЗ. Попередньо характеристики смерчів визначаються за [6].

### ІМОВІРНІСНИЙ КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ СМЕРЧ НЕБЕЗПЕЧНОСТІ ТЕРИТОРІЙ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АЕС

Загальну кількість смерчів  $N$ , які проходять через район, що розглядається, і загальну площу руйнувань  $S$  слід визначати за допомогою формул:

$$N = \sum_{k=0}^n n_k a(k), \quad S = \sum_{k=0}^n n_k a(k) L_k B_k, \quad (1)$$

де  $n_k$  - кількість зареєстрованих смерчів класу  $k$ ;  $L_k$  - довжина шляху смерчу;  $B_k$  - ширина шляху смерчу;  $a(k)$  - відношення фактичної кількості смерчів до числа зареєстрованих смерчів, що приймається в залежності від класу інтенсивності рівним:

$$a(k) = a_0 \text{ при } k \leq 1, \quad a(k) = 1 \text{ при } k > 1. \quad (2)$$

Значення  $a_0$  для різних районів і зон підвищеної смерч небезпеки приймається за даними схеми районування, що приведена в [6].

Щорічна імовірність  $P_S$  виникнення смерч небезпечної події в районі розташування будівлі або споруди в межах оточуючої майданчик споруди території площею 1000 км<sup>2</sup>, розташованої в районі площею  $A$  з однорідними фізико-географічними умовами утворення смерчів, визначається за формулою:

$$P_S = \frac{S \times 10^3}{AT}, \quad (3)$$

де  $S$  - сумарна площа зони руйнування від смерчу в районі площею  $A$ ;  $T$  - ефективний період спостережень.

Для оцінки ефективного періоду спостережень  $T$  в районі, що розглядається, шляхом аналізу хронологічного графіку зареєстрованих смерчів необхідно вибрати максимальний однорідний за частотою проходження смерчів період  $T_0$ , протягом якого зареєстровано  $m_0$  смерчів. Значення  $T$  слід визначати з умови постійної частоти проходження смерчів за формулою:

$$T = T_0 \frac{m}{m_0}, \quad (4)$$

де  $m$  - повна кількість смерчів, зареєстрованих в районі.

Значення  $T_0$  для різних районів і зон підвищеної смерч небезпечності, а також площ  $A$  районів і зон приймаються за даними в [6].

Щорічна імовірність проходження смерчу з класом інтенсивності  $k$  через район площею  $A$ , в якому знаходиться будівельний майданчик будівлі або споруди, визначається за формулою

$$P = P_S [1 - F(k)], \quad (5)$$

де  $F(k)$  - імовірність не перевищення протягом року смерчу класу (інтенсивності)  $k$  серед інших смерчів, зареєстрованих в районі, що досліджується.

Пороговий рівень імовірності  $P_0$  виникнення смерч небезпечної події протягом року визначає прийняття рішення про врахування смерчів. Статистичні дані про проходження смерчів над територією вибраного майданчику будівлі або споруди визначають рішення про прийняття допустимої межі імовірності виникнення смерч небезпечної події  $P_0$ . З урахуванням рекомендацій [1] для АЕС  $P_0$  слід прийняти рівним  $10^{-4}$  протягом року. Якщо  $P_S > P_0$ , тоді територія площею  $A$ , на якій розташована будівля або споруда, є смерч небезпечною, що потребує визначення емпіричних інтегральних імовірностей  $F(k)$  розрахункового класу інтенсивності  $k_p$  і інших розрахункових характеристик імовірного смерчу.

Вхідною характеристикою для оцінки смерч небезпечності є клас інтенсивності смерчу, отриманий на підставі шкали Фуджіти-Пірсона (Керівництво МАГАТЕ з безпеки N-50-SG-S11A [2] або [6]).

Клас інтенсивності визначає основні динамічні параметри смерч вихору. Він встановлюється за F-шкалою Фуджіти на підставі кількісних і якісних описів наслідків проходження смерчу.

Розрахунковий клас інтенсивності  $k_p$  імовірного  $F(k)$  протягом року смерчу на території будівельного майданчика слід визначати з урахуванням вимоги:

$$F(k_p) = 1 - \frac{P_0}{P_S}, \quad (6)$$

за формулою:

$$k_p = -\frac{1}{a} \left[ \lg \left( 1 - \frac{P_0 AT}{S \times 10^3} \right) + b \right]. \quad (7)$$

Значення  $F(k)$  визначається при виконанні умови  $P_S > P_0$ .

При невиконанні цієї умови встановлення смерч небезпеки і розрахункових характеристик смерчів не здійснюється і територія розміщення споруди приймається безпечною за імовірними впливами смерчів. Діапазон зміни основних характеристик смерчів наведено в [6] і в таблиці 1.



Таблиця 1

Клас інтенсивності смерчу $k_p$	Максимальна горизонтальна швидкість обертального руху стінки смерчу $V$ , м/с	Поступальна швидкість руху смерчу $U$ , м/с	Довжина шляху проходження смерчем $L$ , км	Ширина шляху проходження смерчем $B$ , м	Перепад тиску між периферією і центром воронки смерчу $\Delta P$ , кПа
0	до 33	до 8	до 1,6	до 16	до 1,3
1	33-49	8-12	1,6-5,0	16-50	1,4-3,1
2	50-69	13-17	5,1-16,0	51-160	3,2-6,0
3	70-92	18-23	16,1-50,9	161-509	6,1-10,4
4	93-116	24-29	51-160	510-1600	10,5-16,6
5	117-140	30-35	161-507	1601-6070	16,7-24,9

### ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕРЧІВ БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА

Для будівельного майданчика в межах зон з підвищеною смерч небезпечністю, смерч небезпечних і безпечних по відношенню до смерчу районів оцінка ступеня смерч небезпечності території будівельного майданчика і визначення розрахункових характеристик смерчів повинна здійснюватися з урахуванням загальної кількості смерчів, що проходять крізь район площею  $A$  за даними [7], включаючи смерчі, що були зареєстровані додатково на рик проведення вишукувань.

Загальна кількість смерчів  $N$ , які пройшли через район, що досліджується, і сумарна площа руйнування  $S$  визначаються за формулами:

$$N = \sum_{k=0}^m n_k a(k), \quad S = \sum_{k=0}^m n_k a(k) L_k B_k. \quad (8)$$

Значення параметрів такі самі, як і в п.6.6.

Емпірична інтегральна імовірність  $F(k)$  смерчу класу  $k$ , що приймає  $n_k$  значень, визначається наступним чином:

$$F_i(k) = \frac{ia_0 L_0 B_0}{S} \quad \text{при } k = 0 \quad (i = 1, \dots, n_0), \quad (9)$$

$$F_i(k) = \frac{1}{S} \sum_{j=1}^{k-1} n_j a(j) L_j B_j + \frac{ia(k) L_k B_k}{S} \quad (10)$$

при  $k > 0 \quad (i = 1, \dots, n_k)$ .

При графічній побудові кривої інтегральної імовірності систему емпіричних точок слід згладжувати за допомогою логарифмічної шкали імовірностей:

$$-\lg F(k) = ak + b, \quad (11)$$

де  $a$  і  $b$  - константи, що визначаються методом найменших квадратів:

$$a = \frac{\langle k \rangle \times \langle \lg F(k) \rangle - \langle k \times \lg F(k) \rangle}{\langle k^2 \rangle - \langle k \rangle^2},$$

$$b = \frac{\langle k \rangle \times \langle k \times \lg F(k) \rangle - \langle k^2 \rangle \times \langle \lg F(k) \rangle}{\langle k^2 \rangle - \langle k \rangle^2}, \quad (12)$$

де  $\langle \rangle$  - символ, що позначає процедуру осеред-

нення.

$$\langle x \rangle = \sum_{m=1}^n x_m \quad \text{де } n = \sum_{k=1}^m n_k, \quad (13)$$

де  $n$  - кількість смерчів, що спостерігалися в районі.

Розрахунковий клас інтенсивності  $k_p$  імовірного смерчу слід вираховувати за п. 6.6 або за формулою:

$$k_p = -\frac{1}{a} \left[ \lg \left( 1 - \frac{P_0 AT}{S \times 10^3} \right) + b \right]. \quad (14)$$

Розрахункові характеристики імовірного смерчу: швидкість обертання стінки воронки  $V_p$ ; його поступальну швидкість  $U_p$ ; довжину  $L_k$  і ширину  $B_k$  шляху проходження смерчу, перепад тиску між периферією і центром воронки  $\Delta P_p$  слід визначати за розрахунковим класом інтенсивності  $k_p$  за формулами:

$$V_k = 6,3(k_p + 2,5)^{1,5}, \quad \text{м/с}; \quad U_k = 1,575(k_p + 2,5)^{1,5}, \quad \text{м/с}; \quad (15)$$

$$L_k = 1,609 \times 10^{0,5(k_0 - 0,5)}, \quad \text{км}; \quad B_k = 1,609 \times 10^{0,5(k_0 - 4,5)}, \quad \text{км}; \quad (16)$$

$$\Delta P_k = 0,485(k_p + 2,5)^3, \quad \text{ГПа при } (0 < k < 5). \quad (17)$$

### КОМПОНЕНТИ НАВАНТАЖЕНЬ ВІД СМЕРЧУ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Для оцінки смерч небезпечності території будівництва об'єкту слід враховувати:

- тиск повітря, що викликано прямим впливом повітряного потоку;
- тиск, що пов'язаний зі зміною поля атмосферного тиску за мірою проходження смерчу;
- ударні сили, що пов'язані з предметами, які летять при проходженні смерчу.

Максимальне розрахункове значення повітря-

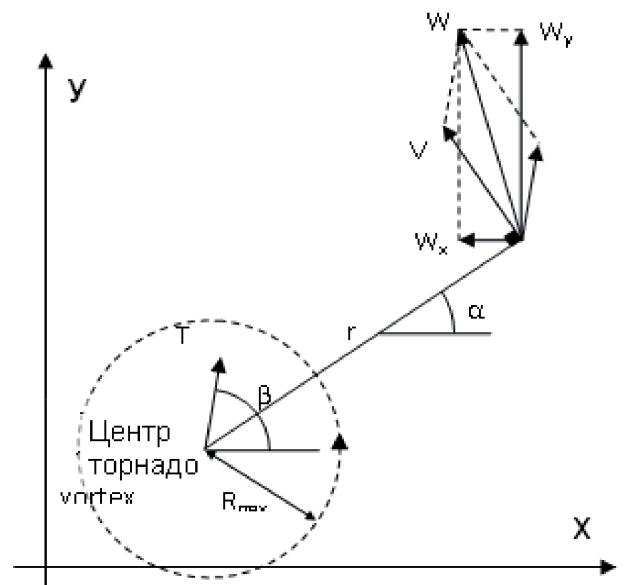


Рис.1. Розподілення швидкостей в смерчі.



ного тиску при дії смерчу слід враховувати у вигляді векторної суми максимальної горизонтальної швидкості обертаючого руху стінки смерчу  $V$  і поступальної швидкості руху смерчу  $U$ .

Вектор швидкості вітру  $\vec{W}$  дорівнює  $\vec{W} = \vec{V} + \vec{U}$ , де напрямок вектору швидкості поступального руху  $\vec{U}$  є постійним для всієї зони дії смерчу, а напрямком вектору обертальної швидкості  $\vec{V}$  перпендикулярно радіусу  $r$  (рис. 1).

Значення обертальної швидкості в точці, віддаленій на відстань  $r$  від осі смерчу, вираховується за формулами

$$V = V_m \frac{r}{R_m}, \text{ якщо } r \leq R_m; \quad V = V_m \frac{R_m}{r}, \text{ якщо } r > R_m. \quad (18)$$

Компоненти, орієнтовані вздовж координатних осей:

$$W_x = U \cos \beta - V \sin \alpha, \quad W_y = U \sin \beta + V \cos \alpha, \quad (19)$$

а модуль вектору швидкості  $W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$ .

Визначення повітряного тиску при дії смерчу здійснюється у відповідності до рекомендацій [3, 4].

Повний тиск в точці, що досліджується, складає:

$$P(t) = P_w(t) + P_a(r, t) \quad (20)$$

Вітровий (зовнішній або внутрішній) тиск, викликаний швидкістю вітру  $W$ , вираховується за формулою:

$$P_w(t) = \frac{1}{2} C \rho W^2(t), \quad (21)$$

де  $\rho = 1,22 \text{ кг/м}^3$  — щільність повітря при нормальному атмосферному тиску;  $C$  - аеродинамічний коефіцієнт.

Пульсаційна складова вітрового навантаження від смерчу приймається рівною нулю.

Перепад атмосферного тиску в залежності від відстані (радіуса)  $r$  від центру вихору смерчу визначається співвідношенням [3]:

$$P_a(r, t) = \rho \frac{V_m^2(t)}{2} \left(2 - \frac{r^2}{R_m^2}\right) \text{ при } 0 \leq r \leq R_m; \quad (22)$$

$$P_a(r, t) = \rho \frac{V_m^2(t)}{2} \times \frac{R_m^2}{r^2} \text{ при } r \geq R_m, \quad (23)$$

де  $V_m(t)$  - максимальна тангенціальна швидкість вітру;  $R_m$  - радіус, що відповідає максимальній швидкості обертання повітряного потоку;  $\rho$  - щільність (густина) повітря.

Для зачинених споруд, де внутрішній тиск залишається рівним атмосферному до приходу смерчу, максимальний тиск на споруду внаслідок перепаду тиску при  $r=0$  стає таким, що дорівнює  $P_a^{\max} = \rho V_m^2(t)$ .

Для повністю відчинених споруд внаслідок перепаду тиску навантаження приймається таким,

що дорівнює нулю. Для споруд з прорізами надмірний тиск, що діє на зовнішні стіни, визначається з урахуванням перепаду тиску у внутрішніх приміщеннях споруд при проходженні смерчу.

При аналізі параметрів смерч небезпечності території будівництва або експлуатації об'єкта атомних станцій слід враховувати, починаючи з 3 класу інтенсивності смерч, предмети, що переносяться смерчем у відповідності до рекомендацій МАГАТЕ [2] незалежно від мапи смерчів і незалежно від каталогу смерчів:

- автомобіль з розмірами  $1,3 \times 2 \times 5 \text{ м}$ , масою  $1800 \text{ кг}$  при швидкості  $V_T(t)$  в  $40 \text{ м/с}$ ;
- $200 \text{ мм}$  бронебійний артилерійський снаряд масою  $125 \text{ кг}$ ;
- суцільна сталевая сфера діаметром  $2,5 \text{ см}$ .

Тривалість прикладення навантаження приймається за розрахунком або  $t=0,1 \text{ с}$ .

Удари тяжких тіл обмежені  $9 \text{ метрами}$  висоти підйому тіла смерчем.

Площа дії навантаження  $A$  приймається такою, що дорівнює площі поперечного перерізу предмета. Напрямок руху предмета при співударі зі спорудою приймається найбільш несприятливим, а саме перпендикулярним до зовнішньої поверхні споруди. Місце співудару може бути довільним (в будь-якій точці на зовнішній поверхні споруди).

В якості ударної швидкості  $V_T(t)$  при переносі смерчем предметів слід брати  $35\%$  максимальної горизонтальної швидкості обертального руху стінки смерчу  $V$  [2].

Значення статичного еквіваленту навантаження  $Q(t)$  від удару летючих предметів для варіанту прямокутного типу імпульсу сили визначається за формулою:

$$Q(t) = \frac{m \times V_T(t)}{t}. \quad (24)$$

Розрахункові характеристики навантаження  $Q(t)$  найбільш імовірних летючих предметів при проходженні смерчу можна приймати за [5].

Інтенсивність навантаження співудару визначається зі співвідношення  $Q(t)$  до площі  $A$  контакту між предметом і спорудою при співударі  $Q(t)/A$ .

Максимальне сумарне навантаження  $F_C(t)$  від смерчу оцінюється для наступних випадків [3]:

$$F_C(t) = P_w(t) \times B; \quad F_C(t) = P_a(r, t) \times B; \quad (25)$$

$$F_C(t) = P_w(t) \times B + 0,5 P_a(r, t) \times B + Q(t), \quad (26)$$

де  $B$  - площа частини поверхні споруди або конструкції, що досліджується.

## ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ

Коефіцієнти, що визначаються в аеродинамічній трубі, відносяться до паралельних в плані потокам повітря і не можуть безпосередньо бути

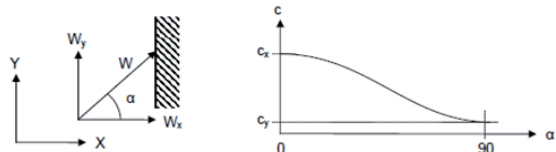


Рис.2. Для визначення аеродинамічного коефіцієнта.

використані для розрахунків впливу стерся, в якому потоки повітря закручені в воронку. Приблизно приймаємо:

$$C = \sqrt{(C_x \cos \alpha)^2 + (C_y \sin \alpha)^2}, \quad (27)$$

де  $C_x$  - аеродинамічний коефіцієнт, що відповідає вітровому потоку в напрямку  $X$ ,  $C_y$  - аеродинамічний коефіцієнт, що відповідає вітровому потоку в напрямку  $Y$ .

Обидва ці коефіцієнти визначаються за даними випробувань в аеродинамічній трубці або за даними [5]. Схематично це показано на рис. 2.

Якщо  $C_x$  або  $C_y$  виявляться від'ємними, тоді розрахунки здійснюються за формулою

$$C = \sqrt{((C_x + k) \cos \alpha)^2 + ((C_y + k) \sin \alpha)^2} - k, \quad (28)$$

де  $k$  - є сума абсолютних значень  $C_x$  і  $C_y$ .

## РОЗРАХУНКОВІ СИТУАЦІЇ В РОЗРАХУНКАХ НА СТІЙКІСТЬ ДО СМЕРЧУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ

Для будівель і споруд АЕС, важливих для безпеки та споруд класів наслідків СС3, що експлуатуються, розрахунок за першою групою критичних станів на дії від смерчу необхідно виконувати для наступних розрахункових ситуацій:

$$ПА + P + ПС; НУЕ + P + МРС; ПНУЕ + P + МРС. \quad (29)$$

Для будівель і споруд класу наслідків СС2, що експлуатуються, розрахунок за першою групою і другою групами критичних станів на дії смерчу необхідно виконувати для наступних розрахункових ситуацій:

$$НУЕ + P + ПС; ПА + P + ПС; ПНУЕ + P + ПС, \quad (30)$$

де  $НУЕ$  - нормальні умови експлуатації;

$ПС$  - такий смерч, який може призвести до часткової або повної втрати експлуатаційних якостей будівлі або споруди;

$ПА$  - проектна аварія - така дія технологічного характеру, яка може призвести до часткової або повної втрати експлуатацій-

них якостей металевих конструкцій внаслідок дії смерчу (наприклад, припинення електро- і водопостачання);

Інтенсивність  $ПС$  - інтенсивність такого смерчу, що може призвести до часткової або повної втрати експлуатаційних якостей металевих конструкцій будівлі, споруди (наприклад виробництво електроенергії), мінімальне значення якої визначається за максимальною інтенсивністю максимального сумарного навантаження  $F_c(t)$  на будівельному майданчику з повторюваністю один раз на 500 років для будівель і споруд будь-якого класу наслідків за відповідальністю СС3, а для АЕС - один раз на 1000 років;

$МРС$  - такий смерч, який може призвести до глобального руйнування будівлі, споруди з металевих конструкцій або її частини, або що створює загрозу безпеці людей;

Інтенсивність  $МРС$  - інтенсивність такого смерчу, який може призвести до часткової або повного руйнування конструкцій, будівлі, споруди; мінімальне значення інтенсивності визначається за інтенсивністю максимального сумарного навантаження  $F_c(t)$  на будівельному майданчику з повторюваністю один раз на 1000 років для будівель і споруд класу наслідків СС1 і СС2, один раз на 5000 років - для класу наслідків СС3, один раз на 10000 років для АЕС; розрахункове значення інтенсивності визначається з умови імовірності не перевищення події протягом ресурсу; максимальне значення інтенсивності може декларуватися власником будівлі або споруди.

Протягом експлуатації може мати місце порушення нормальних умов експлуатації ( $ПНУЕ$ ). До  $ПНУЕ$  можна віднести:

- складування матеріалів в непередбачених проектом місцях;
- роботу кранів під час смерчу;
- накопичення пилу на дахах і будівельних конструкціях та інші.

Може мати місце релаксація зусиль в попередньо напружених елементах конструкцій, наприклад зменшення зусиль в армоканатах, у високоміцних болтах фрикційних з'єднань і т. інше. Позначимо їх символом  $P$ . Навантаження, що є причиною  $ПНУЕ$ , слід враховувати у визначенні розрахункових ситуацій.

Таблиця 2

№ сполучення (комбінації) навантажень	Постійні	Тимчасові	Кранові	Вітер	Сніг	Температура кліматична	Смерч класу 3 і більше
1	0,95	-	-	не врах.	не врах.	не врах.	1,0
2	0,95	0,8	-	не врах.	не врах.	не врах.	1,0
3	0,95	-	0,3	не врах.	не врах.	не врах.	1,0
4	0,95	0,8	0,3	не врах.	не врах.	не врах.	1,0





## СПОЛУЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ

Коефіцієнти, з якими входять до комбінації розрахункові значення навантажень при дії смерчу, наведено в таблиці 2.

## ОЦІНКА ЗАПАСІВ СМЕРЧ НЕБЕЗПЕКИ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Кваліфікації до техногенних впливів (зокрема смерчу) будівельних конструкцій категорії А будівель і споруд АЕС, важливих для безпеки і класу наслідків ССЗ шляхом розрахункового аналізу. Методика заснована на використанні детерміністичних процедур.

В результаті використання описаної методики для кожної металевої конструкції, що розглядається, або вузла з'єднання визначається інтегральний параметр стійкості до смерчу  $MALPFDT$ . Характеристика  $MALPFDT$  (скорочення виразу - високої достовірності малої імовірності відмови протягом смерчу або латинською мовою the accuracy of the low probability of failure during a tornado) - це рівень максимального сумарного навантаження  $F_c(t)$  від смерчу в кН, при якому існує висока достовірність низької імовірності відмови конструкції або вузла з'єднання при дії смерчу. Характеристика  $MALPFDT$  характеризує межу стійкості до смерчу конструкції або вузла з'єднання. При використанні стандартного логарифмічного відхилення результуючої дисперсії  $\beta_c$ , величина  $MALPFDT$  може бути апроксимована рівнем максимального сумарного навантаження  $F_c(t)$ , при якому повна імовірність відмови складає не більше як 0,5% (з високою достовірністю 99,5%) для будівель і споруд атомних електростанцій; не більше як 1% (з високою достовірністю 99%) для будівель і споруд класу наслідків ССЗ; не більше як 5% (з високою достовірністю 95%) для будівель і споруд класу наслідків СС2; не більше як 10% (з високою достовірністю 90%) для будівель і споруд класу наслідків СС1.

Цей параметр ( $MALPFDT$ ) порівнюється з величиною ( $TLTR$ ) максимального сумарного навантаження  $F_c(t)$  (латинською мовою The total load from the tornado for the region, скорочено  $TLTR$ ), для інтенсивності смерчу характерного для району будівельного майданчика з повторюваністю один раз на 1000 років для будівель і споруд класу наслідків СС1 і СС2, один раз на 5000 років – для класу наслідків СС3, один раз на 10000 років для АЕС в відповідності до класу наслідків споруди і місцем її розташування. При виконанні умови

$$MALPFDT > TLTR, \quad (31)$$

кваліфікація металевої конструкції при дії смерчу визнається підтвердженою. В іншому випадку, необхідні заходи для підвищення стійкості до смерчу конструкцій.

Перелік робіт, які необхідно виконати для визначення параметру  $MALPFDT$  та запасів стійкості до смерчу сталевих конструкцій споруди, що експлуатується

Для визначення параметру  $MALPFDT$  та запасів стійкості до смерчу сталевих конструкцій споруди, що експлуатується, необхідно виконати наступну роботу:

- отримати від власника споруди завдання на визначення стійкості до смерчу споруди, що знаходиться в експлуатації;
- скласти перелік несучих сталевих конструкцій (СКК), відповідальних вузлів з'єднання, та інших елементів споруди, що є важливими і для яких визначають безпечність за категоріями стійкості до смерчу, відповідальності, класам наслідків;
- визначити технічний стан конструкцій та їх залишковий ресурс;
- визначити параметри пошкодження: характеристик матеріалів, жорсткості, демпфірування, мас, що впливають на форми і частоти власних коливань споруди, на критерії міцності;
- визначити можливий рівень впливу смерчу тобто параметр  $TLTR$ , критичну інтенсивність смерчу для майданчика з повторюваністю один раз на 1000 років для будівель і споруд класу наслідків СС1 і СС2, один раз на 5000 років – для класу наслідків СС3, один раз на 10000 років для АЕС споруди; розрахункову інтенсивність смерчу для проектного ресурсу (наприклад 40 років для АЕС, 50 років для інших споруд), залишкового ресурсу, планованого перепризначеного ресурсу;
- визначення імовірності неперевіщення для залишкового ресурсу і діапазону впливу смерчу для кожної конструкції із переліку;
- отримання розрахункових характеристик смерчу для інтенсивності (0; 0,5; 1,5; 2; 2,5;3);
- виконання розрахунків металевих конструкцій будівель і споруди для визначених розрахункових ситуацій для інтенсивності смерчу (0; 0,5; 1,5; 2; 2,5;3) з урахуванням пошкоджень, характеристик матеріалів на час експлуатації ( $t$ ) за визначеними критеріями міцності та опору крихкому руйнуванню або за іншим критерієм;
- визначення інтенсивності смерчу, при якому відбувається руйнування або відмова кожної металевої конструкції з переліку (СКК), тобто визначення параметру  $MALPFDT$ ;
- виконання оцінки запасів стійкості до смерчу для кожної конструкції з переліку (СКК), тобто порівняння параметрів  $MALPFDT > TLTR$ .



## РОЗРАХУНОК ВЕЛИЧИНИ ПАРАМЕТРА *MALPFDT*

Параметр *MALPFDT* - це характеристика граничної стійкості до смерчу металевих конструкцій, що віднесена до максимального сумарного навантаження  $F_C(t)$  при смерчі на конструкцію. В практичних розрахунках для визначення *MALPFDT* використовують так званий коефіцієнт запасу міцності при смерчі (латинською – Reserve strength tornado) скорочено *RST*, що вказує, в скільки разів можна збільшити інтенсивність впливу від смерчу на конструкцію за F-шкалою Фуджити, доки не відбудеться відмова (руйнування) конструкції, що розглядається. Коефіцієнт запасу міцності при дії смерчу у відповідності з [7] визначається за формулою:

$$RST = (C - D_{NS}) / (D_S^2 + D_{SAM}^2)^{1/2}, \quad (32)$$

де  $C$  – значення параметру, який дорівнює критичним значенням параметру, що контролюється (наприклад, критично допустимим напруженням  $[\sigma]$  або критичним значенням коефіцієнтів інтенсивності напружень  $[K_C]$ ) для величини максимального сумарного навантаження  $F_C(t)$  на рівні *MALPFDT* для розрахункової ситуації, що розглядається, і відповідного сполучення навантажень;

$D_{NS}$  - вклад в параметр, що оцінюється, (наприклад, напружень  $(\sigma)$  або коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_I, K_{II}, K_{III}$ ) для конструкцій з тріщинами) усіх навантажень, не пов'язаних зі смерчем, що входять в сполучення навантажень;

$D_S$  – значення параметру, що розглядається (наприклад, напружень  $(\sigma)$  або коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_I, K_{II}, K_{III}$ ) для інтенсивності смерчу *TLTR*, в розрахунковій ситуації, що розглядається, і відповідного сполучення навантажень;

$D_{SAM}$  - вклад в параметр, що оцінюється, від інших несилкових впливів, що є наслідком смерчу для рівня інтенсивності впливу величиною *TLTR*.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРУ *TLTR* ДЛЯ ЗАДАНОЇ ІМОВІРНОСТІ НЕПЕРЕВИЩЕННЯ ( $P_H$ ) І ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ( $t$ )

Імовірність неперевикнення ( $P_H$ ) максимального сумарного навантаження  $F_C(t)$  або *TLTR* протягом залишкового або перепризначеного ресурсу у відповідності з [7] вираховується за формулою:

$$P_H = (1 - 1/t_c)^T, \quad (33)$$

де  $t_c$  - період перевищення *TLTR*, рік;

$t$  - залишковий або перепризначений ресурс, рік;

$P_H$  - імовірність неперевикнення, долі від одиниці.

Імовірність перевищення ( $P_H$ ) навантаження від смерчу визначається за формулою:

$$P_H = 1 - P_H. \quad (34)$$

Якщо для заданого класу наслідків (відповідальності) споруди визначена достатня імовірність не перевищення ( $P_H$ ) ефективного пікового значення *TLTR*, тоді це не перевищення повинно зберігатися для проектного і будь-якого залишкового або перепризначеного ресурсу споруди. Інакше кажучи,  $P_H - const$ . Тоді зі зміною залишкового ресурсу ( $t$ ) споруди змінюється необхідний період перевищення пікового значення прискорення коливання ґрунту ( $t_c$ ) за формулою:

$$t_c = 1/[1 - (P_H)^{1/t}]. \quad (35)$$

Для цих періодів визначається ефективне пікове значення прискорення коливання ґрунту.

Таким чином значення параметру (*TLTR*) для залишкового ресурсу ( $t$ ) визначається за формулою:

$$TLTR_t = TLTR_{50} \times K_{pt}, \quad (36)$$

де  $TLTR_{50}$  – значення параметру максимального сумарного навантаження  $F_C(t)$  для ресурсу 50 років;

$TLTR_t$  - значення параметру максимального сумарного навантаження  $F_C(t)$  для залишкового ресурсу  $t$  років;

$K_{pt}$  - коефіцієнт переходу параметру  $TLTR_{50}$  з проектного на залишковий ресурс.

Допустимі напруження і критичні коефіцієнти інтенсивності напружень в розрахунках на міцність та опір крихкому руйнуванню для сталевих конструкцій і вузлів з'єднання, що знаходяться в експлуатації, при діях смерчу приймаються за [8].

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ СПОРУДИ, ЩО ЕКСПЛУАТУЄТЬСЯ, ЗА ЗМІНОЮ В ЧАСІ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ ДО СМЕРЧУ

Залишковий ресурс сталеві конструкції споруди за стійкістю до смерчу за визначеним критерієм міцності або іншим параметром можна визначити за формулою:

$$\Delta T = T_{експ} \times \left| (FS_T - FS_K) / (FS_0 - FS_T) \right|, \quad (37)$$

де  $\Delta T$  – залишковий ресурс споруди, рік;

$T_{експ}$  – час від моменту початку експлуатації споруди (або початку будівництва) до моменту визначення коефіцієнта запасу стійкості до смерчу ( $FS_T$ ) за визначеним параметром (наприклад,



за міцністю), рік;

$FS_T$  – значення коефіцієнта запасу стійкості до смерчу за визначеним параметром на час  $T_{експ}$ , безвимірний;

$FS_K$  – мінімально або максимально допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості до смерчу за визначеним параметром, безвимірний;

$FS_0$  – проектне значення коефіцієнта запасу стійкості до смерчу за визначеним параметром; | | – знак модуля.

Якщо стійкість до смерчу конструкції оцінюється декількома ( $n$ ) критеріями міцності або іншими ( $1 \leq i \leq n$ ) параметрами, що контролюються ( $1 \leq i \leq n$ ), тоді залишковий ресурс приймається той, що найменший з розрахованих  $\Delta T_i$ .

## ВИСНОВКИ

1. Викладені співвідношення для розрахунків запасів стійкості до смерчу металевих конструкцій АЕС, що тривалий час експлуатуються і мають пошкодження.
2. Виправлені помилки в «РБ-022-01. Рекомендації по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии» у визначенні величини перепада тиску між периферією і центром смерчу.
3. Доцільно розробити Український НД «Будівництво металевих та дерев'яних споруд в смерч небезпечних районах України».

## ЛІТЕРАТУРА

1. ПНАЭ Г-05-035-94. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на ядерно- и радиационно опасных объектах // Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1994. - 525 с.
2. 50-SG-S11A. Учет экстремальных метеорологических явлений при выборе площадок АЭС (без учета тропических циклонов). Серия изданий по безопасности МАГАТЭ. N50-SG-S11A, Вена, 1983.
3. Симиу Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. – М.: Стройиздат, 1984. - 360 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006: Навантаження і впливи. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с.
5. Бирбраер А.Н. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях / Бирбраер А.Н., Шульман С.Г. - М., 1989.
6. РБ-022-01. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии.

7. Матченко П.Т. Визначення залишкового ресурсу будівель і споруд, що експлуатуються, за запасами стійкості до техногенних дій / Матченко П.Т. // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2016.
8. Матченко Т.І. Оцінка запасів сейсмостійкості сталевих конструкцій будівель і споруд, та визначення їх залишкового ресурсу / Матченко Т.І., Шаміс Л.Б., Матченко П.Т. // Будівництво України. – 2015. - № 6. - С. 33-41.

## REFERENCES

1. PNAE G-05-035-94. The account of the effects of natural and anthropogenic origin on nuclear and radiation hazardous facilities // Gosatomenerg nadzor USSR. – M.: Energoatomizdat, 1994. - 525 p. (in Russian).
2. IAEA № 50-SG-S11A. Extreme meteorological events in nuclear power plants, excluding tropical cyclones. - Vein, 1983.
3. Emil Simiu, Robert H. Scanlan (1984). Wind Effects on Structures: John Wiley and Sons, New York. Chichester. Brisbane. Toronto. - 360 p.
4. Loads and effects: DBN V.2.6-2:2006. – [Valid from 2007-01-01]. – K.: Minbud of Ukraine, 2006. – 60 p. (in Ukraine).
5. Shulman S.G. (1989) Durability and reliability of nuclear power plant designs in special dynamic effects. –M.: Energoatomizdat. - 304 p. (in Russian).
6. SG-022-01. Guidelines for evaluating the characteristics of a tornado for nuclear facilities. - M., 2001. - 35 p. (in Russian).
7. Matchenko P.T. Determination of residual life of buildings and structures in service, reserves of resistance to anthropogenic influences. Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy (Industrial construction and engineering structures), 2016 (in Ukraine).
8. Matchenko T.I, Shamis L.B., Matchenko P.T. (2015) Stock assessment of seismic resistance of steel structures of buildings and the determination of their remaining life // Budivnytstvo Ukrainy (Construction of Ukraine). – № 6. - P. 33-41 (in Ukraine).