

УДК 629.031

В. И. Скалозубов¹, С. В. Васильченко², И. Л. Козлов³, Т. В. Габлая¹¹ Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, г. Киев² Институт поддержки эксплуатации АЭС, г. Киев³ Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

ПЕРЕОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС УКРАИНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СМЕРЧЕЙ

В статье приведены основные положения регламентирования смерчеопасности для ядерных установок, а также анализ известных результатов оценок воздействия смерчей на безопасность АЭС Украины, полученных в “до” и “постфукусимский” периоды. В результате проведенного анализа установлена недостаточная обоснованность расчетных оценок частоты прохождения смерчей и исключения из рассмотрения аварийных событий с затоплением промплощадок под воздействием смерчей не менее 2-го класса интенсивности. Определена необходимость переоценки безопасности АЭС Украины с учетом обоснованно установленных характеристик смерчеопасных зон и уроков Фукусимской аварии.

Ключевые слова: смерчеопасные зоны, безопасность АЭС.

Под смерчем (торнадо, тромб) обычно подразумевается сильный, обладающий большой разрушительной силой маломасштабный атмосферный вихрь диаметром до 1000 м, в котором воздух вращается с большой скоростью (до 100 м/с) [1].

Определяющими газодинамическими характеристиками мощности смерчей являются:

максимальная горизонтальная скорость вращательного движения стенки смерча V ;
 поступательная скорость движения смерча U ;
 длина L_k и ширина W_k пути прохождения смерча;
 перепад давления между периферией и центром вращения воронки Δp .

Диапазоны изменения основных газодинамических характеристик соответствуют определенному классу интенсивности смерчей по F-шкале Фуджиты-Пирсона [2] (см. табл. 1).

Максимальное расчетное значение ветрового давления при воздействии смерчей следует учитывать в виде векторной суммы максимальной горизонтальной скорости вращательного движения стенки смерча V и поступательной скорости движения смерча U .

Перепад атмосферного давления в зависимости от расстояния (радиуса) r от центра вихря смерча определяется соотношением [1]:

$$p_a(r) = \rho \frac{V_m^2}{2} \left(2 - \frac{r^2}{R_m^2} \right); 0 \leq r \leq R_m; \quad (1)$$

$$p_a(r) = \rho \frac{V_m^2}{2} \cdot \frac{R_m^2}{r^2}; r \geq R_m; \quad (2)$$

где V_m — максимальная тангенциальная скорость ветра; R_m — радиус, соответствующий максимальной скорости вращения воздушного потока; ρ —

плотность воздуха.

Для ядерной установки (ЯУ) под смерчеопасным событием подразумевается прохождение через территорию размещения ЯУ смерча, способного вызвать повреждения ЯУ с возможными радиационными последствиями; смерчеопасный район — территория, на которой вероятность прохождения смерчей через фиксированную точку превышает допустимый предел смерчеопасного события; эффективный период наблюдений — интервал времени, в течение которого частота появления смерчей в районе постоянна и совпадает с частотой появления смерчей в течение периода регулярных наблюдений.

Статистические данные о прохождении смерчей через территорию выбранной площадки размещения и сооружения ЯУ определяют решение о принятии допустимого предела вероятности возникновения смерчеопасного события P_0 . С учетом рекомендаций [1] P_0 можно принимать равным 10^{-4} .

Смерчеопасность территории размещения ЯУ оценивается путем установления годовой вероятности P_S возникновения смерчеопасного события в районе размещения и сооружения ЯУ в пределах окружающей площадку объекта территории площадью 1000 км² [1].

Если для района размещения ЯУ в пределах окружающей площадку объекта территории площадью 1000 км², расположенной в зоне с однородными физико-географическими условиями образования смерчей, установлена годовая вероятность прохождения смерчей более P_0 ($P_S > P_0$), то территория является смерчеопасной, что требует определения основных характеристик смерчей.

При анализе параметров смерчеопасности территории сооружения ЯУ следует учитывать,

Таблица 1. Соответствие классов интенсивности смерчей диапазонам определяющих газодинамических характеристик

Класс интенсивности k	Диапазоны характеристик				
	Максимальная горизонтальная скорость вращения стержня V , м/с	Поступательная скорость движения стержня U , м/с	Длина пути прохождения стержня L , км	Ширина пути прохождения стержня W , м	Перепад давления между периферией и центром воронки стержня Δp , Па
0	До 33	До 8	До 1,6	До 16	До 13
1	33 — 49	8 — 12	1,6 — 5,0	16 — 50	14 — 31
2	50 — 69	13 — 17	5,1 — 16,0	51 — 160	32 — 60
3	70 — 92	18 — 23	16,1 — 50,9	161 — 509	61 — 104
4	93 — 116	24 — 29	51 — 160	510 — 1600	105 — 166
5	117 — 140	30 — 35	161 — 507	1601 — 5070	167 — 249

начиная с 3 класса интенсивности смерча, предметы, переносимые смерчем, в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [2]:

автомобиль массой 1800 кг;

200 мм бронебойный артиллерийский снаряд массой 125 кг;

сплошная стальная сфера диаметром 2,5 см.

Площадь действия нагрузки принимается равной площади поперечного сечения предмета. Направление движения предмета при соударении с сооружением принимается наиболее неблагоприятным, т.е. перпендикулярным к наружной поверхности сооружения. Место соударения может быть произвольным, т.е. в любой точке на наружной поверхности сооружения.

Годовая вероятность P_s возникновения смерчопасного события в районе размещения и сооружения ЯУ в пределах окружающей площадку объекта территории площадью 1000 км², расположенной в районе площадью A с однородными физико-географическими условиями образования смерчей, определяется по формуле [1]:

$$P_s = \frac{S \cdot 10^3}{AT}, \quad (3)$$

где S — суммарная площадь зоны разрушений от смерчей в районе площадью A ; T — эффективный период наблюдений.

Для оценки эффективного периода наблюдений T в рассматриваемом районе (зоне) путем анализа хронологического графика зарегистрированных смерчей необходимо выбрать максимальный однородный по частоте прохождения смерчей период T_0 , в течение которого зарегистрировано m_0 смерчей. Величину T следует определять из условия постоянной частоты прохождения смерчей по формуле:

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

где m — полное число смерчей, зарегистрирован-

ных в районе.

Годовая вероятность прохождения смерча с классом интенсивности k через район площадью A , в котором находится площадка ЯУ, должна определяться на основе соотношения:

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

где $F(k)$ — вероятность непревышения класса k среди смерчей, зарегистрированных в данном районе.

Общее число смерчей N , прошедших через рассматриваемый район, и суммарную площадь разрушений S следует определять с помощью выражений:

$$N = \sum_{k=0}^m n_k a(k), \quad S = \sum_{k=0}^m n_k a(k) L_k W_k, \quad (6)$$

где n_k — число зарегистрированных смерчей класса k ; L_k — длина пути смерча; W_k — ширина пути смерча.

Расчетный класс интенсивности вероятного смерча на территории размещения ЯУ следует определять с учетом требования

$$F(k_p) = 1 - \frac{P_0}{P_s} \quad (7)$$

по формуле

$$k_p = -\frac{1}{a} \left[\ln \left(1 - \frac{P_0 AT}{S \cdot 10^3} \right) + b \right] \quad (8)$$

Значение $F(k)$ определяется при выполнении условия:

$$P_s > P_0 \quad (9)$$

При невыполнении условия (9) установление смерчопасности и расчетных характеристик смерчей не проводится и территория размещения ЯУ

принимается безопасной по вероятным воздействиям смерчей [1].

Анализ результатов оценок смерчопасности для объектов атомной энергетики Украины. В соответствии с зарегистрированными статистическими данными в период с 1844 по 2001 г.г. большинство ЯУ Украины находятся в смерчопасных районах: расчетный класс интенсивности смерчей $k_p \geq 2$ с годовой вероятностью P_S возникновения смерчопасного события более 10^{-4} год⁻¹ [1].

В “дофукусимский” период оценки смерчопасности для АЭС Украины были реализованы в рамках отчетов по анализу безопасности при внешних экстремальных воздействиях (ОАБ ВЭВ). Основные результаты этих оценок на примере Запорожской АЭС приведены в табл.2 (см., например, [3]).

Анализ влияния смерчопасности на безопасность АЭС в ОАБ ВЭВ фактически сводился к оценке суммарной вероятности возникновения смерчей (частоты прохождения смерчей) в районе расположения АЭС при консервативном предположении, что возникновение смерчей разного класса интенсивности (в т. ч. и менее 2-го) приводит к тяжелым авариям. В результате для Запорожской АЭС установлено, что смерчи вносят наибольший вклад из всех возможных экстремальных природных явлений в частоту повреждения активной зоны (ЧПАЗ), который составляет 14,3% от базовой ЧПАЗ для внутренних исходных событий, а наиболее критичными для безопасности при воздействии смерчей являются системы нормального электроснабжения и технического водоснабжения ответственных потребителей. Вместе с тем, на основе результатов консервативных оценок относительно малого влияния воздействия смерчей на суммарную ЧПАЗ соответствующим противоаварийным организационно-техническим мероприятиям установлен низкий приоритет.

Аналогичные результаты получены и для других промплощадок АЭС Украины.

Проведенные в “постфукусимский” период стресс-тесты переоценки безопасности атомной энергетики Украины с учетом уроков Фукусимской аварии [4] не выявили дополнительные (новые) дефициты безопасности в отношении экстремальных природных явлений (в том числе и смерчей).

В отношении основных результатов оценок смерчопасности для АЭС Украины в “до” и постфукусимский” периоды необходимо отметить:

1. Оценки ОАБ ВЭВ частоты прохождения смерчей противоречат установленным категориям смерчопасных зон. Так, для района Запорожской АЭС (зона Б повышенной смерчопасности) класс интенсивности смерчей составляет 3,58 с частотой прохождения $87 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ [1]; а в ОАБ ВЭВ $8,19 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹. Именно такие не обоснованно низкие оценки ОАБ ВЭВ частоты прохождения смерчей позволили в конечном итоге сделать выводы об их относительно малом влиянии на базовую ЧПАЗ даже при избыточно консервативных допущениях по условной вероятности повреждения активной зоны при воздействии смерчей (принята равной единице).

2. Один из основных уроков Фукусимской аварии связан с недопустимостью исключения из рассмотрения (моделирование, анализ, противоаварийные мероприятия) относительно маловероятных экстремальных природных явлений (в т. ч. и при их совместном воздействии). Поэтому, принятая в ОАБ ВЭВ низкая приоритетность рассмотрения воздействия смерчей на безопасности АЭС является необоснованной (а тем более в зонах повышенной смерчопасности).

3. Недостаточно обоснованно исключено из рассмотрения аварийное событие с затоплением промплощадки АЭС, вызванным воздействием смерча (в т.ч. и при совместном воздействии с другими экстремальными природными явлениями).

Таблица 2. Данные по количеству и характеристикам смерчей для зоны Б повышенной смерчопасности (район расположения ЗАЭС)

Класс смерча	Количество зарегистрированных смерчей	Коэффициент $a(k)$	Количество смерчей фактических	Длина пути прохождения смерча, км	Ширина пути прохождения смерча, км	Площадь пути прохождения смерча, км ²	Площадь пути прохождения всех смерчей класса k , км ²	Частота прохождения смерча
0	29	1,5	44	0,90	0,01	0,01	0,36	$1,13 \cdot 10^{-8}$
0,5	1	1,5	2	1,61	0,02	0,03	0,04	$1,23 \cdot 10^{-9}$
1	33	1,5	50	2,86	0,03	0,08	4,05	$1,28 \cdot 10^{-7}$
1,5	2	1	2	5,09	0,05	0,26	0,52	$1,64 \cdot 10^{-8}$
2	18	1	18	9,05	0,09	0,82	14,74	$4,66 \cdot 10^{-7}$
2,5	1	1	1	16,09	0,16	2,59	2,59	$8,19 \cdot 10^{-8}$
3	8	1	8	28,61	0,29	8,19	65,49	$2,07 \cdot 10^{-6}$
3,5	1	1	1	50,88	0,51	25,89	25,89	$8,19 \cdot 10^{-7}$
4	1	1	1	90,48	0,90	81,87	81,87	$2,59 \cdot 10^{-6}$
Сумма	94		126			119,73	195,54	$6,18 \cdot 10^{-6}$

Например, при известном событии 24.07.1991 г. в районе долин рек Мацеста и Бзугу (Краснодарский край) “вышедший” с моря смерч (2-й класс интенсивности) поднял уровень воды до 5 м, что привело к большим разрушениям строений и коммуникаций, а также человеческим жертвам. Также на бывшей территории Советского союза зафиксировано десятки событий с выходом смерчей не более 2-го класса интенсивности от водного объекта с катастрофическими последствиями [1]. Так, для района Запорожской АЭС при установленном классе интенсивности смерча более 3-го удельная (на единицу поверхности) подъемная сила почти в 2,5 раза (109 ГПа — [1]) превышает соответствующее значение в приведенных выше

примерах. Поэтому, необходим дополнительный анализ возможного затопления промплощадки АЭС в смерчопасных районах (в том числе при совместном воздействии с другими экстремальными природными явлениями).

Выводы

Необходима переоценка безопасности всех АЭС Украины с учетом обоснованно установленных характеристик смерчопасных зон и уроков Фукусимской аварии в отношении маловероятных экстремальных природных явлений.

Список использованной литературы

1. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии // Руководства по безопасности РБ-022-01. — Госатомнадзор России. — 2002.
2. Учет экстремальных метеорологических явлений при выборе площадок АЭС // Серия изданий по безопасности МАГАТЭ. № 50-SG-S11A. — Вена. — 1983.
3. Научно технические основы мероприятий повышения безопасности АЭС с ВВЭР / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, Ю. А. Комаров, А. В. Шавлаков / Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2010. — 200 с.
4. Комплекс методов переоценки безопасности атомной энергетики Украины с учетом уроков экологических катастроф в Чернобыле и Фукусиме / В. И. Скалозубов, Г. А. Оборский, И. Л. Козлов, и др. Одесса: Астопринт. — 2013. — 244 с.

Получено 22.07.2014