

В. И. Скалозубов, С. В. Васильченко¹, И. Л. Козлов², Т. В. Габляя

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, корп. 106, Киев, 03028, Украина

¹*Институт поддержки эксплуатации АЭС, ул. Н. Василенко, 7, Киев, 03124, Украина*

²*Одесский национальный политехнический университет, просп. Шевченко 1, Одесса, 65044, Украина*

О НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ В СМЕРЧЕОПАСНЫХ ЗОНАХ

Приведены основные положения регламентирования смерчеопасности объектов использования атомной энергии, а также анализ известных результатов оценок воздействия смерчей на безопасность АЭС Украины, полученных в периоды до и после Фукусимской аварии. 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.

Общие положения

Под смерчем (торнадо, тромб) обычно подразумевается обладающий разрушительной силой атмосферный вихрь, в котором смешивающиеся разнотемпературные потоки воздуха образуют мощную вращающуюся воронку [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] (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 .

Таблица 1/ Соответствие классов интенсивности смерчей диапазонам определяющих газодинамических характеристик

Класс интенсивности k	Диапазоны характеристик				
	Максимальная горизонтальная скорость вращательного движения стенки смерча V , м/с	Поступательная скорость движения смерча U , м/с	Длина пути прохождения смерча L , км	Ширина пути прохождения смерча W , м	Перепад давления между периферией и центром воронки смерча Δp , ГПа
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

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.

© В. И. Скалозубов, С. В. Васильченко, И. Л. Козлов, Т. В. Габляя, 2015

Под смерчопасным событием подразумевается прохождение через территорию размещения объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) смерча, способного вызвать повреждения ОИАЭ с возможными радиационными последствиями; смерчопасный район - территория, на которой вероятность прохождения смерчей через фиксированную точку превышает допустимый предел смерчопасного 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 над территорией выбранной площадки размещения и сооружения ОИАЭ определяют решение о принятии допустимого предела вероятности возникновения смерчопасного события P_0 . С учетом рекомендаций [1] P_0 можно принимать равным 10^{-4} .

Смерчопасность территории размещения ОИАЭ оценивается путем установления годовой вероятности P_S возникновения смерчопасного события в районе размещения и сооружения ОИАЭ в пределах окружающей площадку объекта территории площадью 1000 км^2 [1]. Если для района размещения ОИАЭ в пределах окружающей площадку объекта территории площадью 1000 км^2 , 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 смерчопасной, что требует определения основных характеристик смерчей.

При анализе параметров смерчопасности территории сооружения ОИАЭ следует учитывать, начиная с 3-го 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, перпендикулярным к наружной поверхности сооружения. Место соударения может быть произвольным - в любой точке на наружной поверхности сооружения.

Годовая вероятность P_S возникновения смерчопасного события в районе размещения и сооружения ОИАЭ в пределах окружающей площадку объекта территории площадью 1000 км^2 , 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, зарегистрированных в районе.

Годовая вероятность прохождения смерча с классом интенсивности k через район площадью A , в котором находится площадка ОИАЭ, 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 ОИАЭ 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 смерчеопасности и расчетных характеристик смерчей не проводится и территория размещения ОИАЭ принимается безопасной по вероятным воздействиям смерчей [1].

Анализ результатов оценок смерчеопасности для атомной энергетики Украины

В соответствии с зарегистрированными статистическими данными в период с 1844 по 2001 г. большинство ОИАЭ Украины находятся в смерчеопасных районах: расчетный класс интенсивности смерчей $k_p \geq 2$ с годовой вероятностью P_S возникновения смерчеопасного события более 10^{-4} 1/год [1].

В период до Фукусимской аварии оценки смерчеопасности 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 (ЗАЭС) приведены в табл. 2 (см., например, [3]).

Таблица 3. Данные по количеству и характеристикам смерчей для смерчеопасной зоны Б (район расположения ЗАЭС)

Класс смерча	Количество зарегистрированных смерчей	Коэффициент $a(k)$	Количество смерчей фактических	Длина зоны прохождение смерча, км	Ширина зоны прохождение смерча, км	Площадь прохождение смерча, км ²	Площадь прохождение всех смерчей класса k , км ²	Частота прохождение смерча, 1/год
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	$6,18 \cdot 10^{-6}$

Анализ влияния смерчеопасности на безопасность АЭС в ОАБ ВЭВ фактически сводился к оценке суммарной вероятности возникновения смерчей (частоты прохождение смерчей) в районе расположения АЭС при консервативном положении, что возникновение смерчей разного класса интенсивности (в том числе и менее 2-го) приводит к тяжелым авариями. В результате для ЗАЭС 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 технической воды 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 период после Фукусимской аварии стресс-тесты переоценки безопасности атомной энергетики Украины с учетом уроков данной 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 периоды до и после Фукусимской аварии необходимо отметить следующее:

1. Оценки ОАБ ВЭВ частоты прохождения смерчей противоречат установленным категориям смерчопасных зон. Так, для района ЗАЭС (зона Б повышенной смерчопасности) класс интенсивности смерчей составляет 3,58 с частотой прохождения $87 \cdot 10^{-4}$ 1/год [1]; а в ОАБ ВЭВ $8,19 \cdot 10^{-7}$ 1/год. Именно такие необоснованно 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 том числе 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 том числе и при совместном воздействии с другими экстремальными природными явлениями). Например, при известном событии 24 июля 1991 г. в районе долин рек Мацеста и Бзугу (Краснодарский край) "вышедший" из моря смерч (2-й класс интенсивности) поднял уровень воды до 5 м, что привело к большим разрушениям строений и коммуникаций, а также человеческим жертвам; а также на бывшей территории СССР зафиксировано десятки событий с выходом смерчей не более 2-го класса интенсивности от водного объема с катастрофическими последствиями [1]. Так, для района ЗАЭС при установленном классе интенсивности смерча более 3-го удельная (на единицу поверхности) подъемная сила почти в 2,5 раза ($109 \text{ ГПа} - [1]$) 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).

Основные 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 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: Астон-принт, 2013. – 244 с.*

В. И. Скалозубов, С. В. Васильченко¹, И. Л. Козлов², Т. В. Габля

Институт проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, корп. 106, Київ, 03028, Україна

¹ Інститут підтримки експлуатації АЕС, вул. Н. Василенка, 7, Київ, 03124, Україна

² Одеський національний політехнічний університет, просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕОЦІНКИ БЕЗПЕКИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ У СМЕРЧОНЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОНАХ

Наведено основні положення регламентації смерчонебезпеки об'єктів використання атомної енергії, а також аналіз відомих результатів оцінок дії смерчів на безпеку АЕС України, отриманих в періоди до і після Фукусимської аварії. У результаті проведеного аналізу встановлена недостатня обґрунтованість розрахункових

оцінок частоти проходження смерчів і виключення з розгляду аварійних подій із затопленням проммайданчиків під впливом смерчів не менше 2-го класу інтенсивності, визначена необхідність переоцінки безпеки АЕС України з урахуванням обґрунтовано встановлених характеристик смерчонебезпечних зон і уроків Фукусимської аварії.

Ключові слова: смерчонебезпечні зони, безпека АЕС.

V. I. Skalozubov, S. V. Vasilchenko¹, I. L. Kozlov², T. V. Gablaya

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Lysogirska str., 12, building 106,
Kyiv, 03028, Ukraine*

¹*NPP Operation support Institute, Vasilenko str., 7, Kyiv, 03124, Ukraine*

²*Odessa national polytechnic university, Shevchenko Blvd., 1, Odessa, 65044, Ukraine*

ON NECESSITY OF REVALUATION OF NUCLEAR POWER SAFETY OF UKRAINE IN THE TORNADO HAZARDOUS AREAS

The article contains the main provisions regulating the tornado danger of objects of atomic energy, as well as analysis of the known results of evaluations of the impact of hurricanes on the safety of nuclear power plants of Ukraine, received in the "before" and "post Fukushima" periods. As a result of analysis is insufficient justification to the estimated frequency of passing tornadoes and exclusion from consideration emergency events with flooding of industrial sites under the influence of tornadoes not less than 2-th class intensity, defined a reassessment of NPP safety of Ukraine taking into account reasonably established performance tornado dangerous areas and lessons Fukushima accident.

Keywords: tornado danger zone, NPP safety.

REFERENCES

1. *Guidelines for the assessment of the characteristics of a tornado for facilities using nuclear energy safety Guide PB-022-01.* – Gosatomnadzor, 2002. (Rus)
2. *Accounting extreme weather events in siting nuclear power plant // Series IAEA safety. No 50-SG-S11A.* – Vienna, 1983. (Rus)
3. *Scientific technical basis for activities of safety enhancement of NPPs with VVER / V. I. Skalozubov, A. A. Kliuchnykov, Yu. A. Komarov, A. V. Shavlakov.* - Chernobyl: Institut problem bezpeky AES NAN Ukraine (Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants), 2010. – 200 p. (Rus)
4. *The complex of methods of revaluation of nuclear power safety of Ukraine taking into account the lessons of ecological disaster in Chernobyl and Fukushima / V. I. Skalozubov, G. A. Oborsky, I. L. Kozlov et al.* - Odessa: Astroprint, 2013. – 244 p. (Rus)

Надійшла 21.07.2014

Received 21.07.2014