

УТОЧНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПЛОЩАДКИ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

Уточнение расчетной сейсмической опасности площадки Запорожской АЭС выполнено с использованием современной методологии долгосрочного прогноза сейсмической опасности на основе комплексного анализа сейсмологической, геолого-геофизической информации и параметризации сейсмоактивных зон (зон ВОЗ) в радиусе до 800 км, а также детальных исследований и микрорайонирования на промплощадке ЗАЭС.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмическая опасность, зоны ВОЗ, ПЗ-проектное землетрясение; МРЗ-максимально расчетное землетрясение, затухание интенсивности, сейсмическое воздействие.

Введение

Атомные электростанции (АЭС) относятся к объектам повышенного риска. Соответственно, к их проектированию и строительству применяются повышенные требования обеспечения сейсмобезопасности. В период эксплуатации станций могут измениться геотехнические условия и снизиться эксплуатационная надежность безопасности ЗАЭС. В этой связи с учетом требований по ядерной безопасности и рекомендаций МАГАТЭ Коллегия ГИЯР Украины приняла „План мероприятий по оценке сейсмической опасности и проверке сейсмостойкости действующих АЭС”, включая Запорожскую (ЗАЭС).

Ранее при разработке технического проекта сейсмостойкое проектирование ЗАЭС было осуществлено с учетом проектного землетрясения (ПЗ) – 5 баллов, максимального расчетного (МРЗ) – 6 баллов [Определение..., 1982].

Методология расчета

С 2006 г. в Украине действуют новые государственные строительные нормы ДБН В.1.1-12:2006 [Будівництво..., 2006], основу которых составляет комплект карт общего сейсмического районирования Украины (ОСР-2004-А, В, С) для периодов повторяемости $T=500, 1000$ и 5000 лет и вероятностью превышения прогнозной интенсивности (ρ) в течение 50 лет соответственно 10%, 5% и 1% [Пустовитенко и др., 2006]. Территория ЗАЭС по карте ОСР-В (ПЗ) относится к зоне с интенсивностью $I=5$ баллов, а по карте ОСР-С (МРЗ) – к переходной зоне между изолиниями $I=6$ и $I=7$ баллов.

Уточнение сейсмической опасности ЗАЭС в соответствии с рекомендациями [Бугаев, Степанов, 1987; Серия..., 2008] проводилось поэтапно на разных масштабных уровнях: региональном (масштаб 1:2 500 000 - 1:500 000, радиус исследований до $R=750$ км); субрегиональном (масштаб 1:50 000, $R=25$ км); в районе ближней зоны размещения площадки, территории промплощадки ЗАЭС (масштаб 1:25 000 - 1:2 000, $R<5$ км), что обеспечило последовательность детальных исследований.

Расчет уровней ПЗ и МРЗ проводился по современной методологии, положенной в основу оценки сейсмической опасности территорий, в

частности, Северной Евразии, Украины [Сейсмичность..., 1995, Пустовитенко и др., 2006].

Основу методологии составляет модель сейсмической опасности, которая состоит из пяти моделей: вероятных зон генерации очагов сильных землетрясений (зон ВОЗ); сейсмичности; очага и очаговых зон; затухания сейсмической интенсивности; сейсмического эффекта.

В сейсмологическом и сеймотектоническом плане сейсмическую опасность могут представлять ближайшие сейсмоактивные регионы: Северная Турция, Украинские Карпаты, район Вранча, Добруджа, Крымско-Черноморский регион, Северо-Западный Кавказ. Расчетные сейсмические воздействия от землетрясений этих регионов на площадку ЗАЭС по оценочным данным, могут составлять: от зоны Вранча – 5-6 баллов, от других регионов – менее 5 баллов [Пустовитенко и др., 2012].

Наблюдаемая интенсивность в районе ЗАЭС от 13 землетрясений зоны Вранча с 1790 года по настоящее время колеблется от 3-4 до 5-6 баллов. Сведений о макросейсмическом проявлении местных землетрясений в радиусе 150 км на площадке ЗАЭС не имеется. Также неизвестны местные сейсмические события в районе промплощадки ЗАЭС.

При сеймотектоническом районировании территории, для создания *модели* возможных зон генерации очагов сильных землетрясений (*зон ВОЗ*) были использованы формализованные методы оценки сейсмического потенциала и сеймогеологические методы выделения потенциальных сеймогенерирующих зон. Зоны ВОЗ трансформированы в геометризованную линейно-доменно-фокальную схему (ЛДФ-модель), для которой проведена магнитудная параметризация, с использованием сейсмологических и геолого-тектонических методов и аналогий. В ходе комплексного геолого-сеймотектонического анализа вблизи АЭС были выделены: одна зона ВОЗ I порядка и шесть потенциальных зон ВОЗ II порядка, максимальная сейсмическая интенсивность, от которых на площадку ЗАЭС может составлять от 2.6 до 5.7 баллов. Ближайшей к промплощадке ЗАЭС является Конкская зона ВОЗ ($M_{max}=4.0-4.5$; $H_{min}=5.0-7.0$ км), воздействия от которой на площадке могут достигать $I=5.7-6.2$ баллов.

Следуя современной методологии оценки сейсмической опасности территорий, предусматривающей интегральный вклад сейсмических воздействий от всех возможных зон ВОЗ, приоритетными задачами на первом этапе работ по уточнению расчетной сейсмичности площадки ЗАЭС были сейсмологические исследования по систематизации, параметризации и унификации исходных данных как дальней, так и ближней зоны.

Для региона и района работ собраны данные о сейсмичности в широком временном и пространственном интервалах, выполнена унификация параметров землетрясений по энергетическому уровню: все типы магнитуд приведены к единой магнитуде по поверхностным волнам M_{LH} и по сейсмическому моменту M_w . В результате составлены унифицированные каталоги сильных землетрясений с M_w 6.0 дальней зоны ($R=750$ км), промежуточной – с M_w 5.5 ($R=550$ км), платформенной части Украины и ближней зоны ($R=150$ км), для всего диапазона M_w за весь период доинструментальных и инструментальных наблюдений до 2012 г. [Пустовитенко и др., 2012]. Особое внимание было уделено „чистке” каталогов ближней зоны от искусственных источников (промышленных взрывов). Оценены погрешности определения основных параметров землетрясений в разные периоды наблюдений и сделана оценка энергетической представительности исходных данных каталогов для построения моделей сейсмичности.

Для каждой выделенной зоны ВОЗ создана **модель сейсмичности**, характеризующаяся: сейсмической активностью, параметрами закона повторяемости, максимальной прогнозной магнитудой M_{max} , мощностью сейсмогенного слоя ($h_{max}-h_{min}$).

Модель сейсмичности предполагает „наполнение” ее модельными землетрясениями, для создания которых применялся метод статистического моделирования, позволяющий на длительных временных рядах, гораздо больших времени сейсмологических наблюдений, имитировать сейсмический режим каждого элемента ЛДФ-модели со статистически подобными свойствами, присущими реальным сейсмическим событиям.

Модель очагов и очаговых зон разработана на основе проведенных исследований механизмов очагов крупных землетрясений зоны Вранча, Крыма и Северного Кавказа. При этом дополнительно получен вывод, что вклад в сейсмические воздействия от продольных и поперечных волн землетрясений зоны Вранча одинаков, от Крымских – основной вклад вносят поперечные (сдвиговые) колебания, а от очагов Северного Кавказа – продольные.

Для расчетов воздействий использована комбинированная **модель затухания** с учетом анизотропии макросейсмических полей для землетрясений зоны Вранча в направлении „очаг-ЗАЭС” и изотропии – для землетрясений других зон. Параметры закона затухания на трассе „очаг – ЗАЭС” получены по наблюдаемым интенсивностям от сильнейших землетрясений 1977 и 1986 г.

Модель сейсмического эффекта – финальная часть методики расчета, в которой используется вся полученная информация из предыдущих моделей, слагающих модель сейсмической опасности. Таким образом, в заданной точке рассчитывается максимальная интенсивность, которая может создаваться всеми модельными событиями, генерируемыми во всех линейных элементах и доменах в течение заданного времени. При этом, для площадки ЗАЭС вклад удаленных сильных землетрясений достигает насыщения, в то время как влияние слабых, но близко расположенных событий, увеличивается.

Результаты расчетов

В результате расчетов для „средних” условий получены следующие оценки фоновых (нормативных) значений ПЗ ($T=1000$ лет) и МРЗ ($T=10000$ лет) для пункта расположения ЗАЭС: ПЗ – $I_n=5.8$ балла с вероятностью превышения $\rho=5\%$, МРЗ – $I_n=6.2$ балла с $\rho=0.5\%$.

Для оценки влияния локальных грунтовых условий на промплощадке ЗАЭС проводились работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР). По результатам инженерно-геологических изысканий в ближней зоне и на площадке ЗАЭС (радиусом до 5 км масштаба 1:25 000 – 1:2 000) разрез осадочной толщи под промплощадкой ЗАЭС представлен преимущественно грунтами III категории по сейсмическим свойствам. Для подобного типа грунтов приращение сейсмической интенсивности согласно методу инженерно-геологических аналогий составляет $\Delta I = +1$ балл.

Уточнение количественных значений приращения интенсивности выполнено комплексом инструментальных методом СМР (сейсмических жесткостей и V_s^{30}) и расчетным методом [Довбнич, 2012]. В результате непосредственно для площадки ЗАЭС приращение сейсмической интенсивности оценено: методом сейсмических жесткостей $\Delta I = +0,63$ балла; методом V_s^{30} $\Delta I = +0,62$; расчетным методом $\Delta I = +0,55 \div +0,70$ балла.

Таким образом, с учетом СМР промплощадки ЗАЭС получена окончательная расчетная сейсмическая опасность I_p в баллах шкалы MSK-64 (или близкой к ней новой шкалы ДСТУ Б В.1.1.-28) [Шкала..., 2011]), представляющая сумму

$$I_p = I_n + \Delta I: \text{ПЗ} - I_p = 6.40 \div 6.45 \text{ балла, МРЗ}$$

$$I_p = 6.80 \div 6.85 \text{ балла.}$$

В инженерных терминах (относительных пиковых ускорениях a_g) эти значения I_p соответствуют: ПЗ – $a_g = 0.080 \div 0.085 g$, МРЗ – $a_g = 0.110 \div 0.115 g$.

Пересчет сейсмических баллов в пиковые ускорения проводился по формуле:

$$\lg A = 0.333 I_p - 0.222, a_g = A/g,$$

где $g = 980.7 \text{ см/с}^2$ [Уломов, 2009].

Выводы

Полученные уточненные оценки уровня сейсмической опасности ЗАЭС послужат основой моделирования прогнозных сейсмических воздействий (акселерограмм) для расчета особого сочетания нагрузок прямым динамическим методом с целью проверки современной сейсмоустойчивости конструкций ЗАЭС и установления предельного срока ее эксплуатации.

Литература

Бугаев Е.Г., Степанов В.В. О порядке выполнения работ по оценке сейсмической опасности участков строительства атомных станций // Оценка сейсмических условий площадки строительства атомных энергетических установок. – М.: „Энергоатомиздат”, 1987. – С.3-10.
 Довбнич М.М. Дополнительные исследования сейсмических и сейсмотектонических условий площадки Запорожской АЭС. Сейсмическое микрорайонирование методом сейсмических жесткостей и расчетными методами (Отчет)– Днепропетровск, 2012.
 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво у сейсмічних районах України. ДБН В. 1.1-12:2006. – Київ, 2006. – 84 с.

Определение сейсмологических параметров площадки строительства Запорожской АЭС”. Отчет ВНИИ АЭС. НПО “Энергия”.– Ереван, 1982.
 Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности // Геофиз. журн., – 2006. – Т. 28. – № 3. – С. 54-77.
 Пустовитенко Б.Г., Сафронов О.Н., Кульчицкий В.Е., Довбнич М.М., Бушмакина Г.Н. Дополнительные исследования сейсмических и сейсмотектонических условий площадки Запорожской АЭС. Сейсмотектонические и сейсмологические исследования (I-II этап) / Отчет. – Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Днепропетровск-Симферополь, 2012, 2013.
 Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. –М.: ИФЗ РАН. – 1992. – Вып. 1. – 303 с.
 Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Оценка сейсмического риска для атомных станций. Руководство № NS-G-3.3. – Вена, 2008.
 Шкала сейсмической интенсивности ДСТУ Б.В.1.1-28:2010 – Минрегионбуд Украины, 2011. – 46 с.
 Уломов В.И. Макросейсмический режим и дифференцированная оценка сейсмических воздействий // ГеоРиск, 2009. № 3.– С. 16-19.

УТОЧНЕННЯ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПЛОЩАДКИ ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС

Б.Г. Пустовітенко, М.М. Довбніч, В.Е. Кульчицкий, О.М. Сафронов, А.А. Пустовітенко, Г.Н. Бушмакіна

Уточнення розрахункової сейсмічної небезпеки площадки Запорізької АЕС виконано з використанням сучасної методології довгострокового прогнозу сейсмічної небезпеки на основі комплексного аналізу сейсмологічної, геолого-геофізичної інформації та параметризації сейсмоактивних зон (зон ВОЗ) в радіусі до 800 км, а також детальних досліджень і микрорайонування на проммайданчику ЗАЕС.

Ключові слова: сейсмічність, сейсмічна небезпека, зони ВОЗ, ПЗ - проектний землетрус; МРЗ-максимально розрахунковий землетрус, загасання інтенсивності, сейсмічна дія.

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT AT THE SITE OF ZAPORIZHZHYA NPP

B.G. Pustovitenko, M.M. Dovbnich, V.E. Kulchitskiy, O.N. Safronov, A.A. Pustovitenko, G.N. Busmakina

Estimation of seismic hazard of the Zaporozhye Nuclear Power Plant (NPP) platform using modern methodology of long-term seismic hazard prediction on the basis of a comprehensive analysis of seismological, geological and geophysical data and parameterization of seismically active zones (source zones) within a radius of 800 km, and also detailed studies and microzoning of the district of Zaporozhye NPP has been carried out.

Key words: seismicity, seismic hazard, source zones, DE-design earthquake; MDE-maximum design earthquake, attenuation of intensity, seismic effect.

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ, Надійшла 30.07.2013
²Национальный горный университет, г.Днепропетровск,
³Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений, г.Симферополь