

К ВОПРОСУ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС В БАНГЛАДЕШ

И. Хоссейн *, М.Ш. Акбар**, В.И. Велькин*, С.Е. Щеклеин*

** Уральский федеральный университет имени первого Президента России*

Б. Н. Ельцина

620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

*** Комиссия по атомной энергии Бангладеш*

Республика Бангладеш, 4 Казу Назрул Ислам Авеню, Дакка-1000



Республика Бангладеш расположена в активной тектонической зоне. По данным геологических исследований, Бангладеш и прилегающие территории находятся под угрозой существенных землетрясений. Для густонаселенной страны последствия землетрясения могут быть катастрофическими. Это является основанием для тщательного анализа ситуации перед началом строительства атомных энергетических станций в соответствии с требованиями норм безопасности МАГАТЭ. Исследование раскрывает соотношение между сейсмическим ускорением и потенциальным ущербом. Представлена методика исследования сейсмической опасности региона будущего строительства АЭС. Показано, что полученные значения пикового ускорения грунта землетрясения соответствуют уровню ниже проектного землетрясения (ПЗ) и не приведут к нарушению работы АЭС. Для наиболее сильного из зафиксированных и близко расположенных очагов землетрясений (Madhupur) интенсивность сейсмического воздействия на площадке АЭС не превышает восьми баллов по шкале MSK-64. Имеющиеся прогнозы о возможности возникновения на территории страны суперземлетрясения с магнитудой выше девяти баллов (по шкале Рихтера) указывают на необходимость создания дополнительной эффективной системы сейсмодиагностики и своевременный перевод АЭС в режим пассивного теплоотвода, что предусмотрено проектом ВВЭР 3+. Делается вывод о том, что учет прогнозных сейсмических воздействий выше исторически зафиксированных уровней должен быть обеспечен созданием дополнительной эффективной системы сейсмодиагностики и своевременным переводом АЭС в режим пассивного теплоотвода с надежной изоляцией активной зоны и бассейнов выдержки отработанного ядерного топлива.

Ключевые слова: параметры сейсмической опасности, МАГАТЭ, сейсмические ускорения и повреждения, максимальное ускорение грунта.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Бангладеш находится в зоне повышенной геотектонической активности – за длительный период наблюдений в Бангладеш и на территории соседних государств (Индия, Мьянма, Непал) имели место несколько тысяч сейсмических явлений.

© *И. Хоссейн, М.Ш. Акбар, В.И. Велькин, С.Е. Щеклеин, 2018*

ний [1]. В публикациях последних лет приведены данные о катастрофическом нарастании в этом регионе сейсмической активности вследствие движения трех крупных тектонических плит – Зондской, Евразийской и Индо-Австралийской [2].

Население республики Бангладеш достигает 160 млн. человек, при этом уровень энергопотребления на душу населения чрезвычайно низок, общая установленная мощность электростанций составляет 8,2 ГВт, годовое потребление энергии менее 300 кВт·ч. Развитие страны зависит от устойчивости поставок электроэнергии. В последние десятилетия этой проблеме уделяется повышенное внимание властей. Так с 2010 г. установленная мощность всех энергоисточников увеличилась практически вдвое; в 2016 – 2017 гг. планировался пуск новых ТЭС на 2 – 3 ГВт; развивается солнечная энергетика; заключаются контракты на импорт электроэнергии и сжиженного газа из соседних стран. Целевой показатель – увеличение мощности к 2021 г. до 20 ГВт.

Атомная энергетика стала наиболее перспективным вариантом для Бангладеш вследствие возможности быстрого ввода значительных мощностей, преимуществ в решении задач охраны окружающей среды, экономической конкурентоспособности и стабильности производства энергии [3, 4]. Однако сооружение крупного ядерного объекта на территории страны требует особого внимания к изучению геотектонической обстановки и использованию современных инженерных решений по обеспечению его безопасности.

АЭС «РУППУР»

АЭС «Руппур» будет расположена на восточном берегу р. Ганг в округе Пабна на расстоянии около 160 км на северо-западе от столицы Бангладеш – города Дакка. Предлагаемая площадь участка АЭС составляет 260 акров и общая площадь застройки – около 1060 акров.

Атомная станция будет состоять из двух энергоблоков с реакторами типа ВВЭР мощностью 1200 МВт каждый, построенных по российскому проекту АЭС-2006, относящихся к атомным блокам поколения «3+» с улучшенными технико-экономическими показателями, соответствующих самым современным требованиям надежности и безопасности. Блоки обеспечены дополнительными системами пассивной безопасности, не требующими вмешательства персонала станции в случае возникновения аварийной ситуации и не допускающими ее развития. Первый блок АЭС «Руппур» планируется запустить в 2023 г., второй – в 2024 г. Срок эксплуатации каждого энергоблока – 60 лет. Выбор российского проекта с реактором типа ВВЭР обусловлен наличием положительного опыта эксплуатации подобных энергоблоков на АЭС Армении и Ирана, где была продемонстрирована их надежность при высоких уровнях сейсмического воздействия [5].

При реализации проекта ядерной энергетики вопросы сейсмической и ядерной безопасности для Бангладеш являются крайне важными, поскольку движение грунта и вибрации, вызванные землетрясением, могут привести к повреждению оборудования и объектов инфраструктуры АЭС. Землетрясение и вызванное им цунами в Японии на АЭС Фукусима-1 стимулировало исследования параметров землетрясений и анализ результатов предыдущих землетрясений в республике [6, 7].

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛОЩАДКИ АЭС «РУППУР»

Геологическое обследование Бангладеш и историческая информация о землетрясениях позволили разработать карту макросейсмического районирования страны. По данным макросейсмического районирования (рис. 1) площадка строительства АЭС «Руппур» находится в зоне II с вероятным пиковым ускорением грунта (PGA) 0,05 g [8].

Несмотря на достаточно благоприятную сейсмическую обстановку непосредственно на выбранной площадке размещения АЭС на объект могут оказывать значительное воз-

действие землетрясения, происходящие на значительном расстоянии от него.

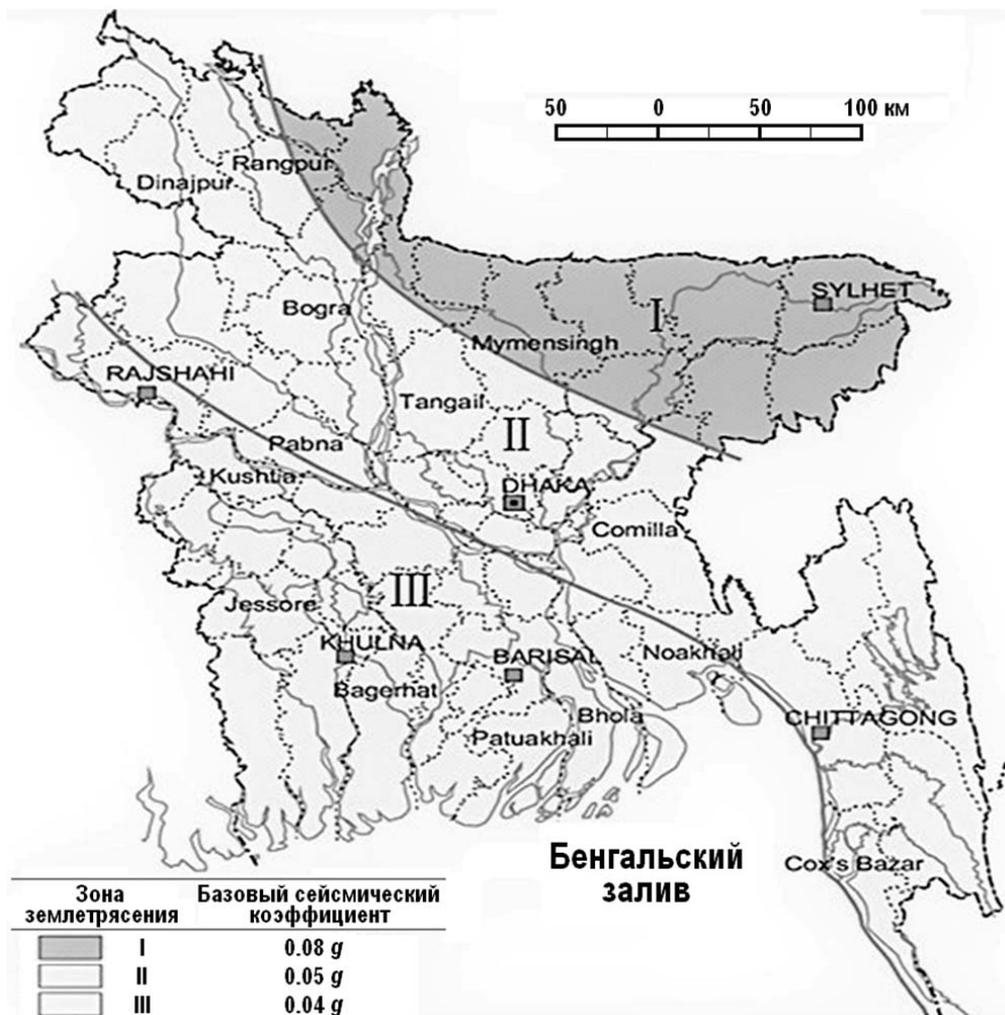


Рис.1. Карта макросейсмического районирования Бангладеш

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАЛЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Интенсивность воздействия удаленных землетрясений принято оценивать по бальности землетрясения на выбранной для строительства площадке с последующим определением количественных характеристик воздействия.

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [9 – 11] и Российскими национальными правилами [12 – 16] выбор площадки и проектирование АС следует выполнять с учетом двух уровней сейсмичности: проектного землетрясения (ПЗ) и максимального расчетного землетрясения (МРЗ). Сейсмостойкой является АС, на которой обеспечивается безопасность при сейсмических воздействиях до МРЗ включительно и выдача электроэнергии и тепла вплоть до ПЗ. МРЗ и ПЗ характеризуются бальностью, набором реальных аналоговых или синтезированных акселерограмм и спектров реакций, моделирующих основные характерные типы сейсмических воздействий на площадке АС, а также основными параметрами сейсмических колебаний – максимальными ускорениями, пе-

риодом и длительностью фазы интенсивных колебаний.

В мире используется несколько шкал интенсивности: в США – модифицированная шкала Меркалли (ММ), в Европе – европейская макросейсмическая шкала (EMS), в Японии – шкала Японского метеорологического агентства (Shindo). В России применяется 12-балльная шкала MSK-64 (Медведева-Шпонхойера-Карника). Оценка интенсивности в сейсмических шкалах разных стран несколько различается [17].

Известно, что землетрясения интенсивностью до четырех баллов не оказывают существенного воздействия на человека и инженерные сооружения, землетрясениям силой более 10-ти баллов человек практически не может противостоять. Считается практически возможным обеспечение целостности объектов при интенсивности от пяти до 10-ти баллов путем использования доступных инженерных решений.

При выборе площадки размещения АЭС определяются параметры МРЗ и ПЗ от ближайших сейсмогенных зон – магнитуда, глубина очага, расстояние до сейсмогенной зоны и сейсмичность по шкале MSK-64 на эталонном грунте площадки; сейсмичность в баллах участка реакторного отделения при МРЗ и ПЗ, максимальные амплитуды горизонтальных колебаний на свободной поверхности планировки участка реакторного отделения при МРЗ и ПЗ – ускорения ($\text{см}/\text{с}^2$) и скорости ($\text{см}/\text{с}$), максимальные амплитуды горизонтальных колебаний кровли скальных пород; период максимальной амплитуды ускорения (акселераграммы) и скорости (велоситограммы) на уровне планировки при МРЗ, отношение вертикального ускорения к горизонтальному и др.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В зависимости от силы землетрясения, характеризуемой магнитудой, глубиной гипоцентра (очага), свойств грунта и расстояния до АЭС определялись интенсивность сейсмического воздействия в баллах шкалы MSK-64 и динамические характеристики на площадке АЭС в форме акселераграмм отклика, рассчитанных по полученным экспериментально сейсмограммам самого мощного из зафиксированных землетрясения (табл. 1). Типичная схема глубинного землетрясения, характерного для условий Бангладеш, приведена на рис. 2.

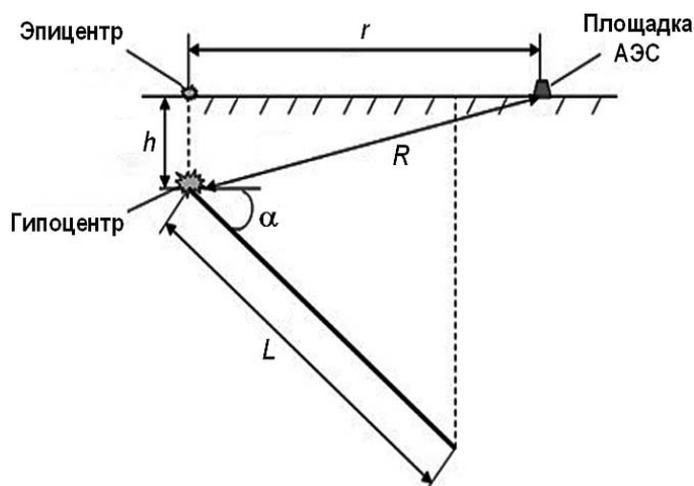


Рис. 2. Расчетная схема глубинного землетрясения: h – глубина гипоцентра, км; L – длина линии разлома, км; α – угол наклона, градусы; r – эпицентральное расстояние до АЭС, км; R – гипоцентральное расстояние до АЭС, км

В результате расчета определялись

- PGA – горизонтальная составляющая пикового ускорения грунта в $\text{см}/\text{с}^2$ или в долях g , имеющая наибольшее значение для прогноза возможных разрушений объектов;

- интенсивность землетрясения, которая определяется в баллах макросейсмической шкалы MSK-64;
- динамические характеристики воздействия в виде акселерограмм, велоситограмм и диаграмма перемещений отклика на площадке АЭС при минимальном коэффициенте демпфирования 5%.

Горизонтальная составляющая пикового ускорения грунта

По данным [18, 19] для условий Бангладеш наиболее точные результаты для определения PGA дает эмпирическое уравнение Дугалла

$$PGA = 227.3 \cdot 10^{0.308M} (r + 30)^{-1.201}, \text{ см/с}^2, \quad (1)$$

где M – магнитуда землетрясения по шкале Рихтера; r – эпицентрально расстояние, км.

Интенсивность землетрясения

При оценке интенсивности используются эмпирические соотношения между I , магнитудой M и расстоянием до очага для базового (эталонного) грунта [12]:

$$I = a \cdot M - \gamma \cdot \lg R + c, \quad (2)$$

где M – магнитуда землетрясения по шкале Рихтера; $R = (r^2 + h^2)^{1/2}$ – гипоцентрально расстояние, км; $a = 1.5$, $\gamma = 3.5$, $c = 3$ – коэффициенты для базового (эталонного) грунта.

Характеристики землетрясений

Характеристики наиболее крупных землетрясений, по которым есть данные инструментальных измерений [1, 6] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики наиболее крупных землетрясений в Бангладеш

Очаг	PGA (g)	h – глубина гипоцентра, км	L – длина линии разлома, км	α – угол наклона, градусы	r – расстояние до АЭС, км
Мадупур	0,210646	10	60	45	42
Разлом Дауки	0,083747	3	233	60	43
Граница плиты – 1	0,030249	3	795	20	377
Граница плиты – 2	0,071503	3	270	30	137

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассчитанные по данным табл. 1 значения макросейсмических характеристик в зоне размещения АЭС «Руппур» приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения макросейсмических характеристик в зоне размещения АЭС «Руппур»

Очаг	M – магнитуда по шкале Рихтера	I – баллы, расчет по (2)
Мадупур	7.5	8
Разлом Дауки	8.0	6,7
Граница плиты – 1	8.5	5,6
Граница плиты – 2	8.0	6,5

На рисунке 3 приведены данные интенсивности сейсмического воздействия на площадке размещения АЭС «Руппур» в зависимости от исходного события.

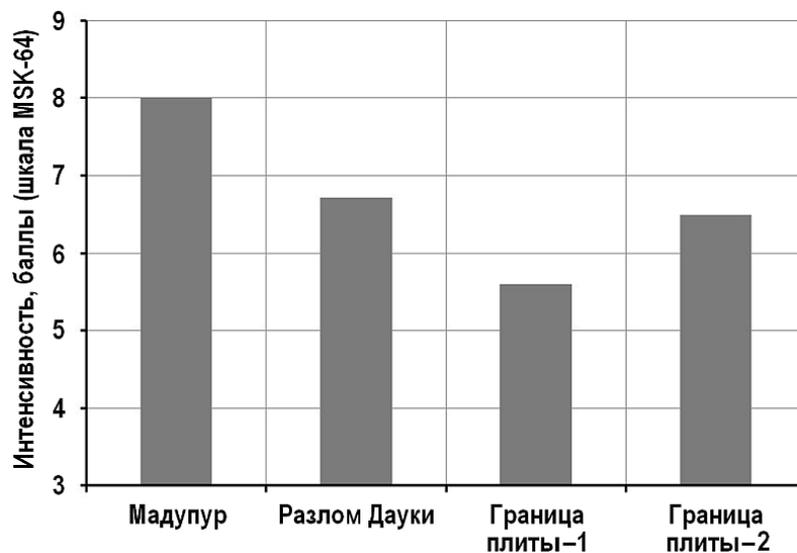


Рис. 3. Интенсивности сейсмического воздействия на площадке размещения АЭС «Руппур» в зависимости от исходного события

Из рисунка видно, что даже для наиболее сильного из зафиксированных и близко расположенных очагов землетрясений (Madhupur) интенсивность сейсмического воздействия на площадке АЭС не превышает восьми баллов по шкале MSK-64.

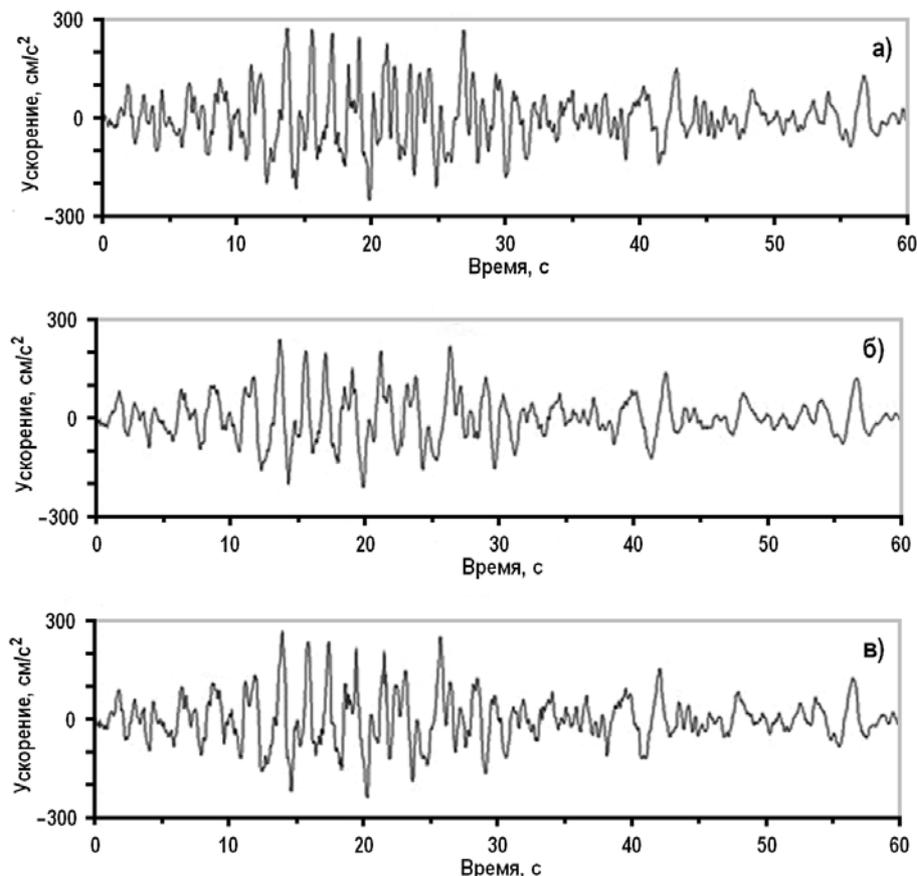


Рис. 4. Сейсмограммы землетрясения в Мадупуре: а) – поверхность; б) – основание; в) – скальное обнажение

Экспериментальные сейсмограммы землетрясения [20] приведены на рис. 4.

Очевидно, что амплитуда сейсмического воздействия для уровней поверхности, основания и скального обнажения достаточно консервативна. Однако имеет место некоторая трансформация частотной структуры процесса с затуханием короткопериодных колебаний с глубиной.

Данные по расчету отклика на сейсмическое воздействие в виде акселерограммы, велоситограммы и диаграммы перемещений на площадке АЭС при коэффициенте демпфирования 5%, соответствующем отсутствию специальных требований к сейсмозащите, приведены на рис. 5.

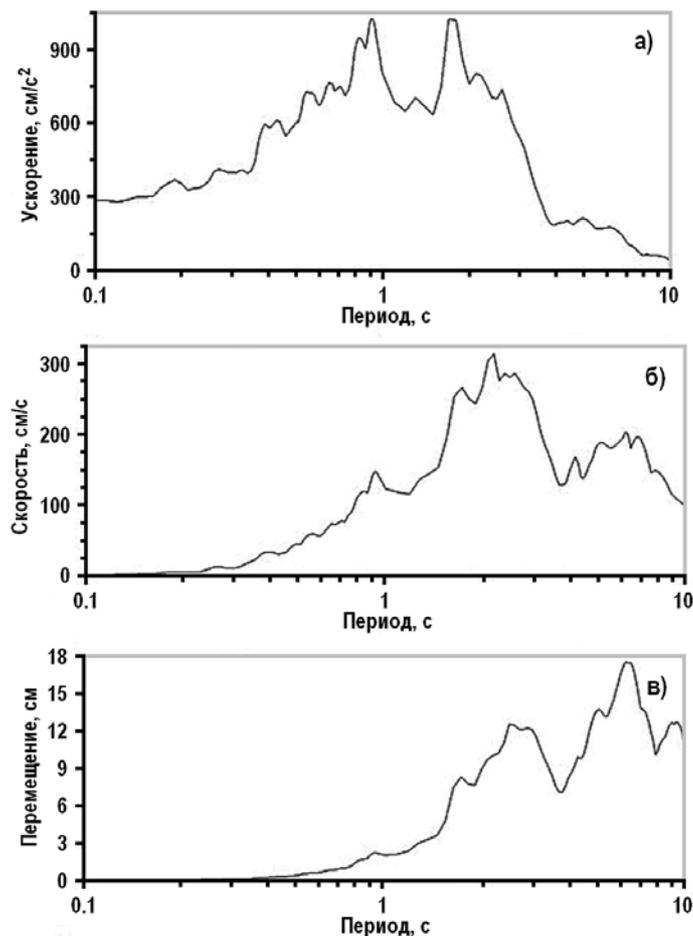


Рис. 5. Акселерограмма (а), велоситограмма (б) и диаграмма перемещений (в) отклика на площадке АЭС (коэффициент демпфирования 5%)

Видно, что наибольшие воздействия на площадку размещения АЭС находятся в диапазоне периодов колебаний грунта 0,1 – 10 секунд с пиками ускорений в диапазоне 0,8 – 2 с, скоростей от 2 до 3 с, перемещений от 2 до 8 с, что свидетельствует о низкочастотном характере воздействия на расположенные на площадке объекты и определяет выбор адекватных проектно-конструкторских компенсирующих мероприятий (обеспечение прочности элементов ТВС, ОР СУЗ и привода СУЗ в соответствии с нормами; возможность беспрепятственного падения поглощающих стержней СУЗ в направляющих каналах ТВС для останова реактора при срабатывании аварийной защиты; введение ОР СУЗ в активную зону реактора за регламентированное в проекте РУ время; обеспечение возможности выгрузки активной зоны реактора; монолитная фундаментная плита РУ;

запасы прочности трубопроводов и оборудовании, сейсмо- амортизационная защита оборудования и пр.) [21].

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты сейсмического районирования территории Бангладеш (см. рис.1) и данные по расчету сейсмических воздействий от отдаленных землетрясений на территории Бангладеш и соседних стран (см. табл. 2, рис. 3 – 5) показывают, что максимальное сейсмическое воздействие на АЭС и ее оборудование не превысит восьми баллов по шкале MSK-64. Достижение требуемого уровня безопасности АЭС для ПЗ, равного семи баллам, и МРЗ, равного восьми баллам, может быть достигнуто при помощи имеющихся и реализуемых в российских проектах АЭС 2006 (и последующих модификациях) инженерных решений по повышению сейсмической устойчивости – системы индустриальной антисейсмической защиты (СИАЗ), в состав которой входят сейсмодатчики, расположенные на фундаментной плите реакторной установки (РУ), предназначенные для непрерывного контроля сейсмического воздействия на РУ АЭС и формирующие дискретный сигнал о превышении установленного порога колебаний грунта.

Имеющиеся прогнозы о возможности возникновения на территории страны суперземлетрясения с магнитудой выше девяти баллов (по шкале Рихтера) указывают на необходимость создания дополнительной эффективной системы сейсмодиагностики и своевременный перевод АЭС в режим пассивного теплоотвода, что предусмотрено проектом ВВЭР 3+ и развито в работе [22].

Тридцатилетний опыт эксплуатации на территории страны исследовательского реактора «Трига» (3 МВт) показал практическую возможность безопасной эксплуатации ядерно опасных объектов в условиях Бангладеш.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сооружение АЭС «Руппур» – единственный способ радикального улучшения энергообеспечения Бангладеш в наиболее короткие сроки.

2. Российский проект ВВЭР 3+ имеет все необходимые компоненты для эффективной сейсмической защиты оборудования АЭС и позволяет обеспечить безопасные условия эксплуатации при реальной сейсмической обстановке.

3. Учет прогнозных сейсмических воздействий выше исторически зафиксированных уровней должен быть обеспечен созданием дополнительной эффективной системы сейсмодиагностики и своевременным переводом АЭС в режим пассивного теплоотвода с надежной изоляцией активной зоны и бассейнов выдержки отработанного ядерного топлива.

Работа выполнена в рамках постановления Правительства РФ № 211, контракт № 02.А03.21.0006.

Литература

1. IRIS, Incorporated Research Institutions for Seismology. Электронный ресурс: <http://www.iris.edu> (дата доступа 05.05.2018).

2. Michael S.S., Mondal D. R., Akhter S. H., Seeber L., Feng L., Gale J., Emma M.H., Michael H. Locked and loading megathrust linked to active subduction beneath the Indo-Burman Ranges. // *Nature Geoscience*. – 2006. – No. 9. – PP. 615-618.

3. Alam M.T., Islam M.R. A Paradigm Shift in Bangladesh Energy Sector towards SDG-7: A Few Insights of Energy Statistics in Bangladesh. – Incheon, South Korea, 2015.

4. Islam A., Chan E.S., Taufiq-Yap Y. H., Mondal M.A.H., Moniruzzaman M., Mridha M.. Energy security in Bangladesh perspective – An assessment and implication. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – No. 32. – PP. 154-171.

5. Сааков Э.С., Рясный С.И., Казновский П.С., Касьянов К.Г., Емельянова А.Д. Сравнитель-

ный анализ зарубежных и российских методологий оценки сейсмостойкости оборудования АЭС // Атомная энергия. – 2013. – Т. 115. – Вып. 6. – С. 309-317.

6. *Michio M., Maksud Kamal A.S.M., Dicky M., Reshad M.E.A., Mohammad A.K., Rahman M.Z., Fumio K.* Seismic event of the Dauki Fault in XVI century confirmed by trench investigation at Gabrakhari Village, Haluaghat, Mymensingh, Bangladesh. // Journal of Asian Earth Sciences. – 2011. – No. 42. – PP. 492-498.

7. *Michael S.S., Akhter S. H., Seeber L.* Collision of the Ganges-Brahmaputra Delta with the Burma Arc: Implications for earthquake hazard. // Earth and Planetary Science Letters. – 2008. – Vol. 273. – Iss. 3-4. – No. 15. – PP. 367-378.

8. *Anbazhagan P, Smith C.V., Abishek K., Deepu C.* Estimation of design basis earthquake using region specific Mmax for the NPP site at Kalpakkam, Tamil nadu, India. // Nuclear Engineering and Design. – 2013. – No. 259. – PP. 41-64.

9. Оценка сейсмической безопасности существующих ядерных установок. Руководство № NS-G-2.13 / Серия норм МАГАТЭ по безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 2014 г.

10. Геотехнические аспекты оценок площадок и оснований АЭС. Руководство № NS-G-3.6 / Серия норм МАГАТЭ по безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 2005 г.

11. Оценка площадок для ядерных установок. Руководство № NS-R-3 / Серия норм МАГАТЭ по безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 2010 г.

12. *Бирбраер А.Н.* Расчет конструкций на сейсмостойкость. – СПб.: Наука, 1998. – 255 с.

13. *Ананьев А.Н., Казновский П.С., Казновский С.П., Лебедев В.И., Чеченов Х.Д.* Сейсмическая безопасность атомных станций. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2011, – 234 с.

14. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. – М.: Госатомнадзор России. 2001. – 27 с.

15. РБ-06-98. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. – М.: Госатомнадзор России. 2000. 76 с.

16. МР 1.5.2.05.999.0025-2011. Расчет и проектирование сейсмостойких атомных станций. – СПб: ОАО «Концерн Росэнергоатом». 2011. – 140 с.

17. *Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М.* Основные характеристики землетрясений // БелНАН. Инф.бюлл. «ОИАЭ и ЯФ-Сосны». Серия: Атомная энергетика. – 2011. – № 1-2. – С. 1-10.

18. *Bari M.S., Das T.* A comparative study on seismic analysis of Bangladesh National Building Code (BNBC) with other Building codes 15 march, 2014.

19. *Duggal S.K.* Earthquake resistant design of structure. – Oxford University Press. 2007. – 448 p.

20. *Hossain I., Akbar M.S., Rahman A.* Thesis-Nuclear power plant pre design documentation: seismic and flooding hazard evaluation. – Dhaka: Univerity Library, 2014. – PP. 53-77.

21. *Макаров В.В., Афанасьев А.И., Матвиенко И.В., Долгов А.В.* Испытания макетов ТВС-квадрат ТВС АЭС-2006 с приводом СУЗ ШЭМ-3 на сейсмические воздействия. МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с реакторами ВВЭР». ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск, Россия, 17-20 мая, 2011.

22. *Галиев И.И., Черняев А.Н., Бибик С.К.* Система антисейсмической защиты для предупреждения запроектных аварий. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2017. – № 4, – С. 94-112.

Поступила в редакцию 21.03.2017 г.

Авторы

Хоссейн Исмаил, аспирант
E-mail: hossain.ismail44@yahoo.com

Акбар Мохаммад Шавкат, директор NPED, доцент
E-mail: shawkat_npед@yahoo.com

Велькин Владимир Иванович, доцент
E-mail: v.i.velkin@urfu.ru

Щеклеин Сергей Евгеньевич, заведующий кафедрой
E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

UDC 621.1

SEISMIC SAFETY EVALUATION DURING SITE SELECTION FOR THE NUCLEAR POWER PLANTS IN BANGLADESH

Hossain I. *, Akbar M.Sh. **, Velkin V.I. *, Shcheklein S.Ye. *

* Ural Federal University named after the 1st President of Russia B.N. Yeltsin
19 Mira St., Yekaterinburg, 620002 Russia

** Bangladesh Atomic Energy Commission

4 Kazi Nazrul Islam Avenue, Dhaka-1000, Republic of Bangladesh

ABSTRACT

Bangladesh lies in a tectonically active zone. Earlier geological studies show that Bangladesh and its adjoining areas are exposed to a threat of severe earthquakes. Earthquakes may have disastrous consequences for a densely populated country. This dictates the need for a detailed analysis of the situation prior to the construction of nuclear power plants as required by the IAEA safety standards. This study reveals the correlation between seismic acceleration and potential damage. Procedures are presented to study the seismic hazard in the future NPP construction area. It has been shown that the obtained values of the earthquake's peak ground acceleration are at a level below the design basis earthquake (DBE) level and will not lead to the nuclear power plant malfunctions. For the strongest of the recorded and closely located earthquake centers (Madhupur), the intensity of seismic impacts on the nuclear power plant site does not exceed eight points on the MSK-64 scale. The existing predictions as to the possibility of a super earthquake with a magnitude of above nine on the Richter scale to take place in the territory of the country indicate the need to build an additional effective seismic diagnostics system and to transfer nuclear power plants in good time to passive heat removal as stipulated by the WWER 3+ design. A conclusion is made that the account of the predicted seismic impacts in excess of the historically recorded levels should be provided by the establishment of an additional effective seismic diagnostics system and by the timely transfer of nuclear power plants to passive heat removal with reliable isolation of the reactor core and the spent nuclear fuel pools.

Key words: seismic hazard parameters, IAEA, seismic acceleration and damage, peak ground acceleration.

REFERENCES

1. IRIS, Incorporated Research Institutions for Seismology. Available at: <http://www.iris.edu> (accessed May 05, 2018).
2. Michael S.S., Mondal D.R., Akhter S.H., Seeber L., Feng L., Gale J., Emma M.H., Michael H. Locked and loading megathrust linked to active subduction beneath the Indo-Burman Ranges. *Nature Geoscience*, 2006, no. 9, pp. 615-618.
3. Alam M.T., Islam M.R. *A Paradigm Shift in Bangladesh Energy Sector towards SDG-7: A Few Insights of Energy Statistics in Bangladesh*. Incheon, South Korea, 2015, pp. 1-50.
4. Islam A., Chan E.S., Taufiq-Yap Y.H., Mondal M.A.H., Moniruzzaman M., Mridha M. Energy security in Bangladesh perspective – An assessment and implication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, no. 32, pp. 154-171.
5. Saakov A.C., Ryasni C.I., Kaznovski P.S., Kasyanov K.G., Emelyanova A.D. Comparative analysis of foreign and Russian methodologies for assessing seismic resistance of nuclear power plant equipment. *Atomnaya energiya*. 2013, v. 115, iss. 6, pp. 309-317 (in Russian).
6. Michio M., Maksud Kamal A.S.M., Dicky M., Reshad M.E.A., Mohammad A.K., Rahman M.Z., Fumio K. Seismic event of the Dauki Fault in XVI century confirmed by trench investigation at

Gabrakhari Village, Haluaghat, Mymensingh, Bangladesh. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, no. 42, pp. 492-498.

7. Michael S.S., Akhter S.H., Seeber L. Collision of the Ganges-Brahmaputra Delta with the Burma Arc: Implications for earthquake hazard. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, v. 273, iss. 3-4, no. 15, pp. 367-378.

8. Anbazhagan P, Smith C.V., Abishek K., Deepu C. Estimation of design basis earthquake using region specific M_{max} for the NPP site at Kalpakkam, Tamil nadu, India. *Nuclear Engineering and Design*. 2013, no. 259, pp. 41-64.

9. Estimation of seismic safety of existing nuclear installations. Manual No. NS-G-2.13. IAEA Safety Standards Series. IAEA, Vienna, 2014, pp.1-76 (in Russian).

10. Geotechnical aspects of assessments for NPP sites and foundations. Manual No. NS-G-3.6. IAEA Safety Standards Series. IAEA, Vienna, 2005, pp. 1-58 (in Russian).

11. Assessment of sites for nuclear installations. Manual No. NS-R-3(Rev.1). IAEA Safety Standards Series. IAEA, Vienna, 2016, pp. 1-31 (in Russian).

12. Birbraer A.N. *Calculation of structures for seismic resistance*. SPb. Nauka Publ., 1998. 255 p. (in Russian).

13. Anan'ev A.N., Kazanovski P.S., Kazanovski S.P., Levedeb V.I., Chechenov K.D. *Seismic safety of nuclear power plants*. Moscow. MGТУ n.a. Bauman Publ., 2011, 234 p. (in Russian).

14. NP-031-01. *Norms of designing seismic resistant nuclear power plants*. Moscow. Gosatomnadzor Rossii Publ., 2001, 27 p. (in Russian)

15. RB-06-98. *Determination of initial seismic vibrations of soil for project bases*. Moscow. Gosatomnadzor Rossii Publ., 2000, 76 p. (in Russian).

16. MP 1.5.2.05.999.0025. Calculation and design of earthquake resistant nuclear power. Saint Petersburg. OAO «Kontsern Rosenergoatom» Publ., 2011, 140 p. (in Russian).

17. Brylyova V.A., Voiteskaya E.F., Nareyko L.M. The main characteristics of earthquakes. *Belorussian Academy of Sciences. Inf. Bull. «OIAE i YaF-Sosny», Ser.: Atomnaya energetika*, 2011, no. 1-2, pp. 1-10 (in Russian).

18. Bari Md.S., Das T. A comparative study on seismic analysis of Bangladesh National Building Code (BNBC) with other Building codes. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 2014, v. 94, iss. 3, pp. 131-137.

19. Duggal S.K. *Earthquake resistant design of structure*. Oxford University Press. 2007, 448 p.

20. Hossain I., Akbar M.S., Rahman A. Thesis-Nuclear power plant pre design documentation: seismic and flooding hazard evaluation. *Dhaka Univerity Library*, 2014, pp.53-77.

21. Makarov V.V., Afanacev A.V., Matvienko I.V., Dolgov A.B. Tests of mock-ups TVS-square and TVS of NPP-2006 with drive of CPS ShEM-3 for seismic actions. 7th MNTK «Safety of NPP with WWER» Podolsk. Russia. 17-20 May 2011. OKB «GIDROPRESS» Publ., 2011, pp. 1-12 (in Russian).

22. Galiev I.I., Chernyaev A.N., Bibik S.V. Development of seismic protection system for design extension conditions. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2017, no. 4, pp. 94-112 (in Russian).

Authors

Hossain Ismail, PhD Student

E-mail: hossain.ismail44@yahoo.com

Akbar Mohammad Shawkat, Director NPED, Ph.D.

E-mail: shawkat_nped@yahoo.com

Velkin Vladimir Ivanovich, Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: v.i.velkin@urfu.ru

Shcheklein Sergey Evgenivich, Head of Department, Professor, Dr. Sci. (Engineering)

E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru