

СИСТЕМА АНТИСЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ

И.И. Галиев, А.Н. Черняев, С.В. Бибик

*АО «Русатом. Автоматизированные системы управления»
109507, Москва, ул. Ферганская, 25*



Для повышения безопасности эксплуатации АЭС, расположенных на территориях с неблагоприятной сейсмической обстановкой, предлагается разработка системы антисейсмической защиты для предупреждения запроектных аварий (САЗ ЗПА). Идея заключается в создании сети сейсмических станций, расположенных на определенном расстоянии от АЭС и снабженных системой передачи данных. В случае выявления сейсмоматчиками движения грунта с величиной колебаний, превышающей определенную уставку, сейсмические станции передают по радиоканалам сигнал о превышении уставки до того, как сейсмическая волна достигнет АЭС. Это позволяет начать перевод реактора в подкритическое состояние до начала разрушения оборудования и зданий. Обеспечение надежной защищенной связи достигается одновременным использованием трех радиоканалов, организованных в соответствии со стандартами и технологиями TETRA, WiMAX и LTE, а также применением необходимых средств криптографии, аутентификации и защиты данных от искажения. Проведен анализ оптимальности удаленности сейсмических станций от АЭС и их количества при двух вариантах размещения СС: радиального вокруг АЭС и по направлению к месту с наиболее высокой вероятностью возникновения землетрясения. Предложена схема многоуровневой мажоритарной обработки сигналов для исключения ложных срабатываний системы. Сделаны выводы о повышении безопасности эксплуатации АЭС и значительном снижении вероятности аварийной ситуации за счет формирования упреждающих сигналов для систем останова реактора при землетрясениях с интенсивностью, большей, чем при максимальном расчетном землетрясении.

Ключевые слова: система антисейсмической защиты, максимальное расчетное землетрясение, останов реактора, сейсмическая станция, безопасность, ВВЭР, передача данных.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

Авария на японской АЭС Фукусима-1 и ее последствия продемонстрировали необходимость пересмотра классических методов обеспечения безопасности атомных электростанций и защиты от разрушительного воздействия сейсмической активности [1, 2]. В связи с тем, что АЭС может располагаться на территории с неблагоприятной сейсмической обстановкой, совершенствование систем антисейсмической защиты (САЗ) является перспективным направлением дальнейшего развития систем контроля и управления АЭС, направленного на повышение безопасности атомных электростанций.

В настоящее время одним из направлений развития САЗ является модернизация и

© *И.И. Галиев, А.Н. Черняев, С.В. Бибик, 2017*

расширение сетей сейсмических станций (СС) для обнаружения и регистрации сейсмических воздействий.

На действующих и строящихся АЭС с реакторными установками типа ВВЭР в состав САЗ 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. Сейсмические воздействия в виде подземных толчков и колебаний почвы могут быть вызваны как естественными причинами, так и искусственными процессами, связанными с деятельностью человека. Естественными причинами могут являться тектонические, вулканические или обвальные землетрясения, а к искусственным относятся взрывы, заполнение водохранилищ и обрушение шахт.

На сегодняшний день оборудование для действующих и строящихся АЭС с РУ типа ВВЭР выбирается таким образом, чтобы обеспечить его работоспособность при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ), которое определяется геологическими условиями площадки. При этом возможность землетрясения с большей интенсивностью не рассматривается. Другими словами, при текущей реализации САЗ рассматривается возможность возникновения проектного землетрясения (ПЗ) и МРЗ, относящихся к событиям уровня Design Basic Conditions (DBC), в то время как вероятность возникновения запроектной аварии при более сильных землетрясениях (т.е. событий уровня Design Extension Conditions, DEC) не учтена.

В соответствии с принятыми нормами вероятность возникновения МРЗ составляет 10^4 1/год [3]. Несмотря на это, вероятность возникновения такого события требует рассмотрения, поскольку оно может иметь катастрофические последствия.

В работе выполнено теоретическое обоснование создания системы антисейсмической защиты для предупреждения запроектных аварий (САЗ ЗПА), представляющей собой сеть СС, расположенных на определенном удалении от АЭС и оборудованных системой передачи по выделенным радиоканалам сигнала на останов энергоблока, который осуществляется путем ввода поглощающих стержней в активную зону реактора. Функционирование системы предусматривается в случаях возникновения землетрясений интенсивностью выше, чем при МРЗ, т.е. в условиях возникновения событий, не предусмотренных проектом (уровень DEC).

Идея создания сети удаленных сейсмических станций изложена в [4]. Предлагаемая модель компьютерной сети оповещения о сейсмических угрозах предназначена для выдачи предупреждающих сигналов на АЭС при возникновении сильных землетрясений.

СОСТАВ СИСТЕМЫ

В состав САЗ ЗПА входят сейсмодатчики, модули приема и обработки сигналов от сейсмодатчиков на СС, кабельные линии для передачи сигнала от сейсмодатчиков на СС, устройства для передачи радиосигналов, модуль приема и обработки сигналов непосредственно на АЭС.

Сейсмодатчики САЗ ЗПА располагаются радиально на расстоянии 5 – 10 м от СС на определенной глубине под землей в защищенных конструкциях. Каждый сейсмодатчик включает в свой состав три акселерометра для регистрации сейсмических воздействий и формирования дискретных аварийных сигналов о превышении установленного уровня сейсмоускорения и дискретного сигнала об исправности датчика. В случае выявления движения грунта с величиной колебаний, превышающей определенную уставку, сейсмические станции передают по радиоканалам сигнал о превышении уставки до того, как сейсмическая волна достигнет АЭС. Это позволяет начать перевод реактора в подкритическое состояние до начала разрушения оборудования и зданий. Останов энергоблока осуществляется с использованием технических средств существующей САЗ.

Электропитание СС обеспечивается от внешних сетей электроснабжения или от солнечных панелей и ветрогенераторов, а также с использованием аккумуляторов, гарантирующих автономную работу системы в течение 24 ч при пропадании электроснабжения.

Для обеспечения защищенности СС при МРЗ предлагается установка здания СС на сейсмопротекторах [5]. Для защиты линий связи могут использоваться кабели защищенного исполнения, а также гибкие защитные кожухи, устойчивые к изгибам и разрывам.

РЕАЛИЗАЦИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ АЭС И СЕЙСМИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ

Связь между АЭС и СС должна быть защищенной, обладать высокой надежностью и исключать возникновение ложных срабатываний. Обеспечение надежности, а также защиты от ложных срабатываний достигается параллельным использованием трех радиоканалов, организованных в соответствии со стандартами и технологиями TETRA [6], WiMax [7] и LTE [8]. Основные технические характеристики этих стандартов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики используемых стандартов связи

Стандарт связи	TETRA	WiMax	LTE
Рабочая частота	150 – 900 МГц	2 – 11 ГГц	1,4 – 20 ГГц
Дальность действия	До 60 км	До 50 км	До 100 км
Скорость передачи данных	До 28 Кбит/с	До 70 Мбит/с	До 100 Мбит/с
Дополнительная информация	Шифрование данных реализуется в виде цифровой обработки низкоскоростного потока данных, что позволяет применять сложные алгоритмы с высокой криптостойкостью, не ухудшающие качество восстановленных данных	Расширенные возможности работы вне прямой видимости	Оптимальная реализация требуемых характеристик

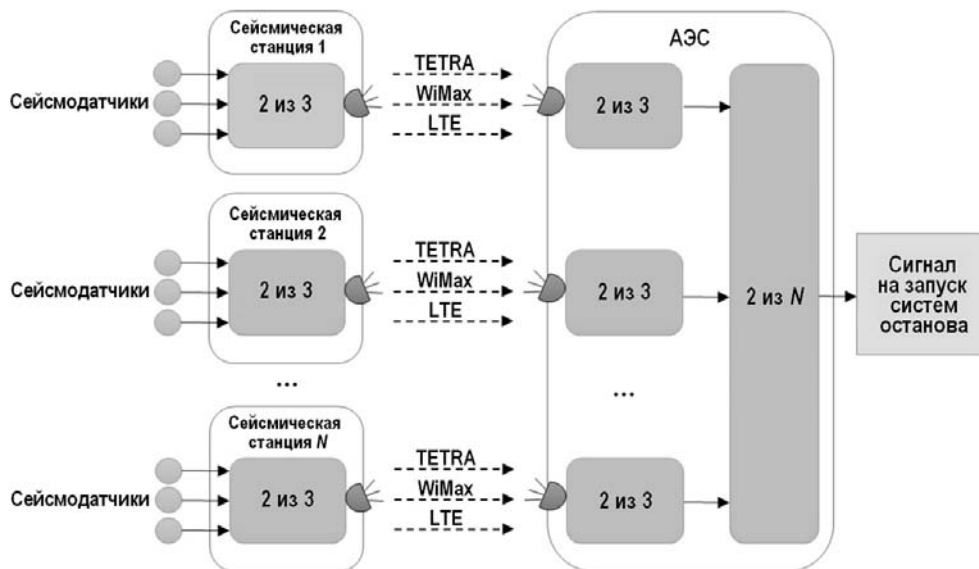


Рис. 1. Организация связи между АЭС и СС

Исключение ложных срабатываний достигается применением многоуровневой мажоритарной выборки (рис. 1). На первом уровне осуществляется мажоритарная выборка входных сигналов от сейсмодатчиков по логике «два из трех». На втором уровне про-

исходит мажоритарная выборка по логике «два из трех» сигналов, получаемых от одной СС по каждому из трех радиоканалов. На третьем уровне мажоритарной выборки по логике «два из N » подвергаются сигналы на срабатывание САЗ, поступающие от различных СС. Для исключения ложных срабатываний из-за локальных внешних воздействий в районе расположения СС вследствие единичных отказов срабатывание САЗ должно происходить только при получении сигналов с двух и более различных СС.

Защита данных, передаваемых по радиоканалу, обеспечивается с помощью технологий VPN [9] с применением средств криптографии, аутентификации и защиты данных от искажения. Одним из способов защиты связи является использование набора протоколов, определяемых стандартом IP Security (IPsec). Протоколы стандарта IPsec используют такие криптоалгоритмы, как DES, TripleDES, AES, SHA, MD5 [10]. Для реализации связи могут использоваться и другие стандарты.

ТОПОЛОГИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Основным фактором, обуславливающим эффективность системы, является более высокая скорость распространения радиоволн по сравнению с сейсмическими волнами. Критерием эффективности при этом является событие перехода реактора в подкритическое состояние до того момента, когда сейсмическая волна достигнет промплощадки АЭС.

Для реакторных установок типа ВВЭР проектное время ввода стержней СУЗ в активную зону составляет, как правило, не более 4 с. Время на регистрацию землетрясения, обработку и передачу данных на АЭС, прием и обработку аварийного сигнала непосредственно на АЭС, а также на формирование управляющего воздействия и срабатывание механизмов, удерживающих регулирующие стержни, должно составлять не более 2 с. Таким образом, запас времени $t_{\text{пред}}$ от момента регистрации землетрясения (получения сигнала о превышении установленного порога движения грунта) до момента достижения сейсмической волной промплощадки АЭС должен быть не менее 6 с. Иными словами, удаление СС и сейсмодатчиков от АЭС должно быть таким, чтобы время преодоления этого расстояния сейсмической волной составляло не менее $t_{\text{пред}} = 6$ с.

Интенсивность землетрясения I – это интенсивность колебания грунта на поверхности земли, являющаяся разрушительной силой землетрясения. Она зависит от магнитуды (M), расстояния от эпицентра (S) и глубины очага землетрясения (H). Интенсивность землетрясения (в баллах) в заданной точке на поверхности земли определяется зависимостью [11]

$$I = 3 + 1,5M - \lg \sqrt{S^2 + H^2},$$

где 3 и 1,5 – региональные константы (расчет проведен для территории РФ). Выразим M :

$$M = (I - 3 + \lg \sqrt{S^2 + H^2}) / 1,5.$$

Учитывая, что среднее значение интенсивности МРЗ равно семи баллам, а минимальная глубина залегания эпицентра $H = 30$ км, построим зависимость $M(S)$ магнитуды землетрясения от расстояния между АЭС и эпицентром, при которых интенсивность землетрясения на АЭС равна семи баллам (рис. 2):

$$M(S) = (4 + \lg \sqrt{S^2 + 30^2}) / 1,5.$$

Анализируя полученный график, можно сделать вывод о том, что при возникновении землетрясения с магнитудой 9,5 (теоретически максимально возможное значение магнитуды) на расстоянии 850 км от АЭС на площадке будут возникать колебания, соответствующие интенсивности в семь баллов (постулируемое МРЗ).

Учитывая проведение процедур анализа сейсмической угрозы при выборе площадки под строительство АЭС, дальнейший анализ будем проводить с учетом возникновения эпицентра землетрясения на минимальном расстоянии в 100 км [12].

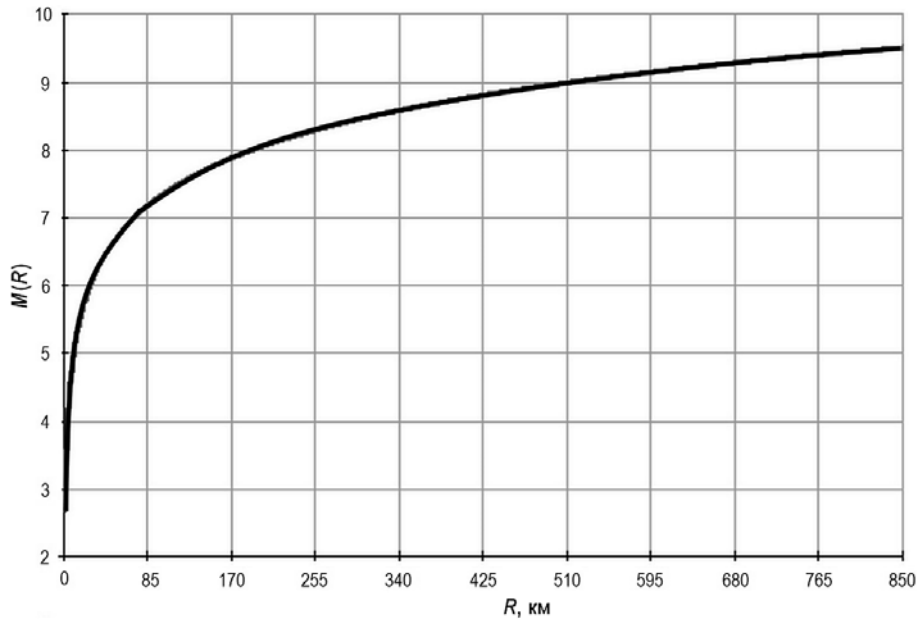


Рис. 2. Зависимость магнитуды землетрясения от расстояния до АЭС, при которых интенсивность землетрясения на АЭС равна семи баллам

При рассмотрении 850-километровой зоны возможного возникновения землетрясения и равномерном распределении эпицентров вероятность возникновения землетрясения внутри 100-километровой зоны составляет

$$p = S_{r=100}/S_{R=850} = (\pi r^2)/(\pi R^2) = 100^2/850^2 = 0,014.$$

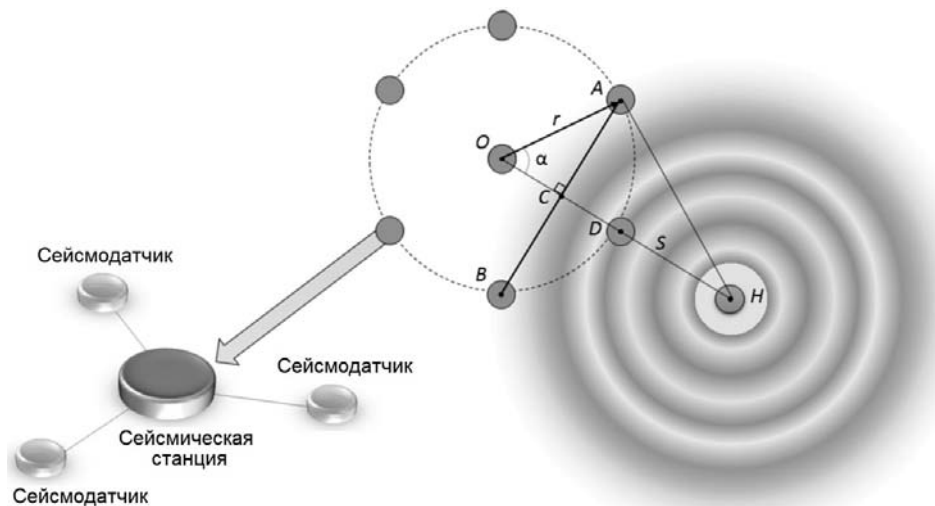


Рис. 3. Упрощенная схема взаиморасположения элементов САЗ и эпицентра землетрясения: O – атомная электростанция; A, B, \dots – сейсмические станции; H – эпицентр землетрясения; $r = OA$ – расстояние от АЭС до СС; $S = OH$ – расстояние от АЭС до эпицентра землетрясения; AH – расстояние от эпицентра до СС

Взаимное расположение элементов системы, а также расстояния между ними схематично показаны на рис. 3. Поскольку расстояние между энергоблоками на площадке АЭС намного меньше расстояния от АЭС до СС, далее будем рассматривать площадку АЭС как точечный объект. Отметим, что для каждого энергоблока на АЭС предусматриваются отдельные модули приема и обработки сигналов. Учитывая необходимость обеспечения

заданного запаса времени, можно сформулировать следующее условие минимальной эффективности системы оповещения:

$$t_{\text{пред}} = t_S - t_{AH} = (S - AH)/V,$$

где t_S – время достижения сейсмической волной промплощадки АЭС; t_{AH} – время на достижение сейсмической волной СС; V – скорость сейсмической волны.

За скорость сейсмической волны V принимается скорость S -волн, несущих наибольшую энергию землетрясения: $V \approx 3,4$ км/с. Учитывая, что $AH = (r^2 + S^2 - 2rS\cos\alpha)^{1/2}$ и $\alpha = 360^\circ/n$, где n – количество сеймостанций (при равномерном размещении), получаем

$$t_{\text{пред}} = [S - (r^2 + S^2 - 2rS\cos(360^\circ/n))^{1/2}]/V.$$

Выразим из формулы $r(n, S)$, решив квадратное уравнение

$$r(n, S) = S\cos(360^\circ/n) + [2(S^2\cos(720^\circ/n) + S^2 - 2V^2t_{\text{пред}}^2 - 4SVt_{\text{пред}})]^{1/2}/2.$$

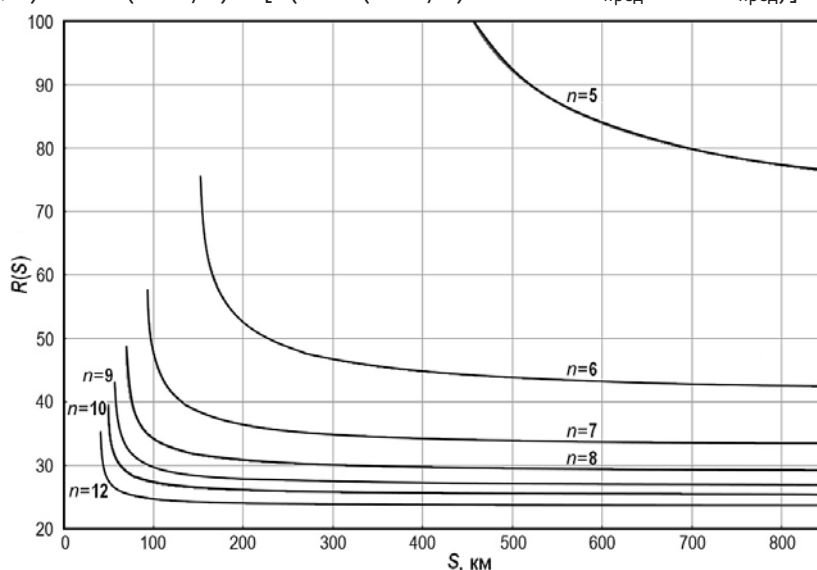


Рис. 4. Зависимость расстояния от АЭС до СС и количества сеймостанций

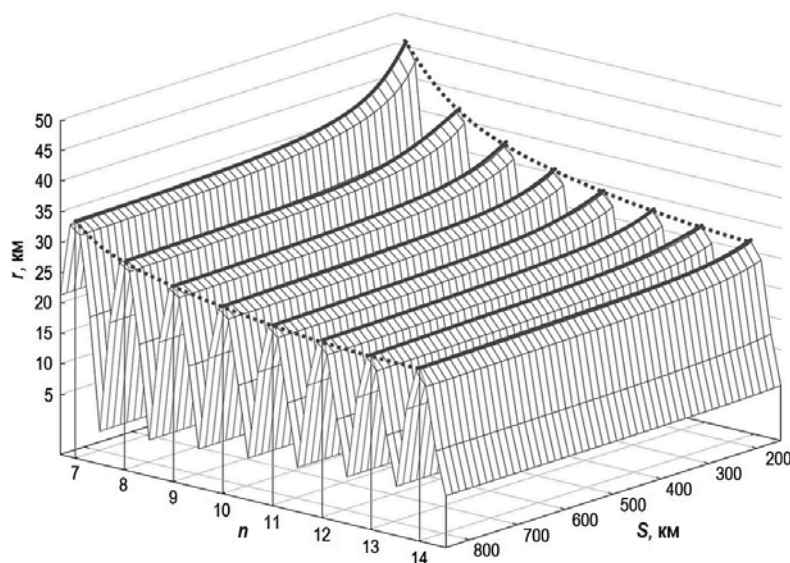


Рис. 5. Трехмерный график зависимости расстояния от АЭС до СС и количества сеймостанций

Таблица 2

Необходимое минимальное расстояние от СС до АЭС для различного количества СС

Количество СС (n)	5	6	7	8	9	10	12
Радиус удаления СС (r , км)	–*	–*	47,3	34,1	29,6	27,2	24,7
* При количестве СС $n = 5$ и $n = 6$ невозможно обеспечить соотношение $t_{\text{пред}} = 6$ с для заданных условий							

Подставляя заданные значения $t_{\text{пред}} = 6$ с и $V \approx 3,4$ км/с, получаем зависимость между расстоянием r от АЭС до СС, расстоянием S от АЭС до эпицентра землетрясения и количеством сейсмостанций n . На рисунке 4 построены графики этой зависимости для различного количества сейсмостанций – от 5 до 12. Добавляя n в качестве третьего измерения, получаем трехмерный график зависимости $r(n, S)$ (рис. 5).

Минимальные расстояния от СС до АЭС для различного количества СС приведены в табл. 2. Из таблицы следует, что система из семи СС обеспечивает необходимое время предварительного оповещения, однако требуемое при этом удаление СС от АЭС $r = 47,3$ км слишком велико. При этом система из восьми СС обеспечивает реализацию заданных требований на удалении 34 км от АЭС. Увеличение числа СС больше восьми не оказывает существенного влияния на время предварительного оповещения, однако при этом значительно увеличивает затраты на строительство дополнительных СС. В таком случае возможен вариант реализации САЗ ЗПА с размещением оборудования СС в помещениях постов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), находящихся на примерно таком же расстоянии от АЭС [13].

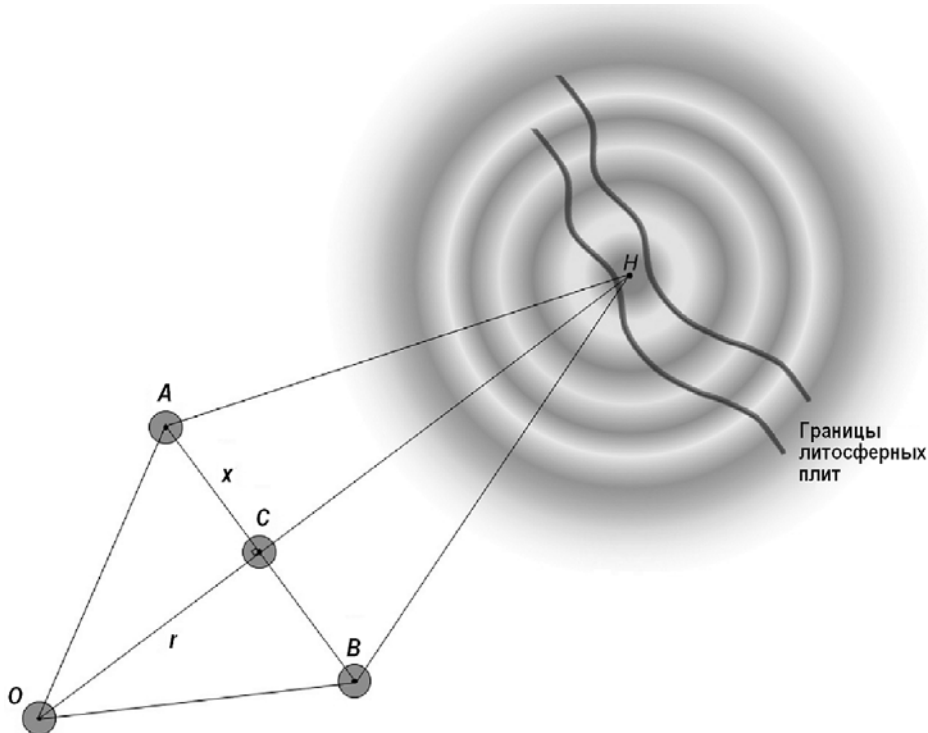


Рис. 6. Расположение сейсмических станций в направлении границ литосферных плит: O – АЭС; $A, B, C \dots$ – сейсмические станции; H – эпицентр землетрясения; $r = OC$ – расстояние от АЭС до линии расположения СС; $S = OH$ – расстояние от АЭС до эпицентра землетрясения; $x = AC$ – расстояние между СС

Предложенное решение может изменяться в зависимости от различных дополнитель-

ных исходных условий проекта, требований заказчика, географических, геологических и прочих условий. Например, альтернативным способом размещения сейсмических станций является их размещение в направлении границ литосферных плит, что обусловлено более высокой вероятностью возникновения землетрясения именно в этой области. Схема такого способа размещения представлена на рис. 6.

Определим необходимое удаление r линии расположения СС от АЭС, а также расстояние x между СС, обеспечивающие выполнение условия $t_{\text{пред}} \geq 6$ с. Учитывая, что срабатывание системы предусматривается только при получении сигналов о превышении уставки с двух сейсмических станций, расчет проведем для расстояния от АЭС до сейсмической станции, равного AN . Аналогично расчету для радиального расположения СС примем минимальное расстояние от эпицентра до АЭС $S = 100$ км. Тогда, учитывая, что $AN = [x^2 + (S - r)^2]^{1/2}$, выразим $x(r)$:

$$x(r) = [(S - t_{\text{пред}} \cdot V)^2 - (S - r)^2]^{1/2}.$$

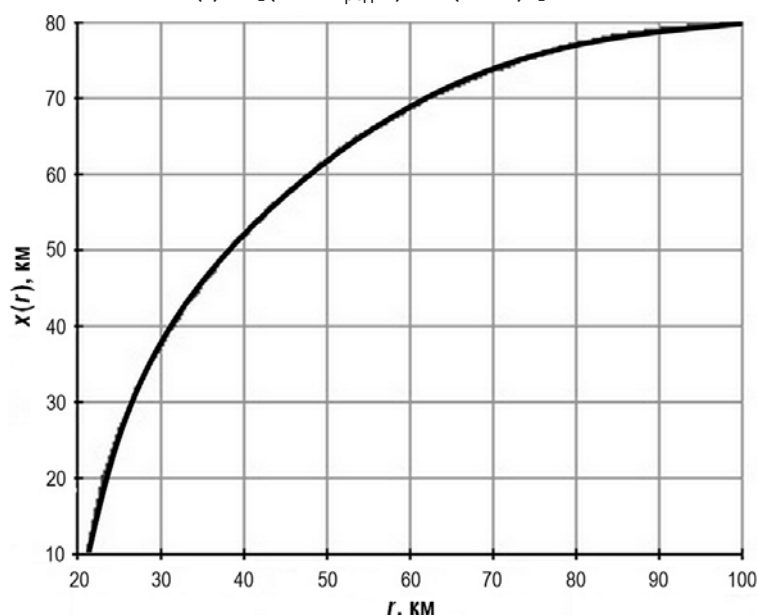


Рис. 7. Зависимость расстояния до линии размещения СС и расстояния между ними, соответствующих заданному $t_{\text{пред}}$

Таблица 3

Сравнительные характеристики рассмотренных вариантов размещения СС

Вид размещения	Радиальное	По направлению к границам литосферных плит
Необходимая удаленность от АЭС, км	34	24
Количество СС	8	3
Эффективный охват поверхности	360°	Только по направлению к вероятному расположению эпицентра

На рисунке 7 представлена зависимость $x(r)$. Анализируя график, можно сделать вывод о том, что при размещении СС на расстоянии $r = 24$ км от АЭС достаточно расположить их на расстоянии 10 км друг от друга или менее для достижения заданного $t_{\text{пред}}$. При нахождении эпицентра на расстоянии, превышающем 100 км, такое размещение также будет удовлетворять условию $t_{\text{пред}} \geq 6$ с. Расстояние между СС, равное 10 км, позволяет исключить ложные срабатывания по причине локальных воздействий вблизи СС. Сравнительные характеристики рассмотренных вариантов размещения СС даны в табл. 3.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Предлагается вариант системы антисейсмической защиты для предупреждения запроектных аварий, которая в случае возникновения землетрясения с интенсивностью, большей, чем при постулируемом МРЗ, т.е. в условиях возможного возникновения запроектной аварии, позволит выполнить заблаговременный запуск систем останова энергоблока АЭС до того, как сейсмическая волна достигнет площадки АЭС, что позволит исключить возможность катастрофических последствий.

Предлагаются два варианта размещения СС: радиальное вокруг АЭС и по направлению к месту с наиболее высокой вероятностью возникновения землетрясения. В первом случае для удовлетворения критерия эффективности ($t_{\text{пред}} = 6$ с) вокруг АЭС необходимо разместить 8 сейсмических станций по периметру радиусом 34 км. При этом оборудование СС можно разместить в помещениях постов АСКРО, находящихся примерно на таком же расстоянии от АЭС.

Во втором случае для обеспечения заданного времени предварительного оповещения достаточно установить три СС, расположив их на линии, параллельной границе литосферных плит. Эта линия должна находиться на удалении 24 км от АЭС, в то время как СС должны располагаться на расстоянии 10 км одна от другой. Данный вариант размещения существенно снижает количество сооружаемых СС, однако в этом случае АЭС становится уязвимой для землетрясений, возникающих в других направлениях.

Очевидно, что наряду с указанными факторами схема размещения СС относительно АЭС должна определяться индивидуально для каждого конкретного случая на основании анализа различных исходных условий проекта, требований заказчика, географических, геологических и прочих условий.

САЗ ЗПА является гибкой системой, позволяющей использовать любое количество СС, различные топологии и разные варианты организации сети передачи данных. Возможно применение ячеистой топологии сети, отличающейся от других архитектур повышенной надежностью связи. Такая надежность достигается тем, что каждый узел сети соединен с несколькими другими узлами, и при этом любой из них может принять на себя выполнение функций коммутатора для других узлов. Предложенная в статье схема передачи данных имеет следующие преимущества.

– Одновременное использование трех защищенных протоколов передачи данных позволяет обеспечить необходимую защиту сети от несанкционированного доступа. Так для формирования злоумышленниками ложного сигнала на срабатывание систем останова необходимо осуществить одновременное внедрение в два защищенных канала передачи данных для каждой сейсмической станции, что физически нереализуемо. Сейсмические станции оборудуются современным оборудованием охранной сигнализации, включая датчики движения.

– Использование мажоритарной логики по схеме «два из N » для формирования сигнала на запуск систем останова обеспечивает защиту от ложных срабатываний вследствие локальных местных воздействий, таких как падение тяжелых предметов возле СС, проезд грузовых автомобилей, железнодорожного транспорта и пр. Использование данных от датчиков движения в составе алгоритма работы системы позволяет также предотвратить ложные срабатывания системы при преднамеренных локальных воздействиях злоумышленниками в зоне расположения сейсмических станций.

– Использование мажоритарной логики по схеме «два из трех» для входных сигналов от сейсмодатчиков и сигналов, полученных по радиоканалам от СС, обеспечивает защиту от ложных срабатываний, вызванных единичными отказами датчиков и каналов передачи данных.

Возможный единичный отказ в модуле обработки и в модуле передачи данных на одной из СС также не нарушит выполнение функции САЗ ЗПА. СС в режиме реального

времени передает на АЭС сигнал о работоспособности собственных технических средств. При пропадании сигнала в центральном пункте управления АЭС срабатывает сигнализация об отказе СС. В этом случае ремонтный персонал оперативно направляется на СС для устранения причины отказа. Если в это время все же возникают исходные события (т.е. землетрясения соответствующей силы), то они регистрируются смежными СС, обеспечивающими выполнение функции САЗ ЗПА с необходимым временем предварительного оповещения.

Установка сейсмических станций на сейсмопротекторах и прокладка кабелей от сейсмодатчиков до СС в гибких защищенных лотках позволяют сохранить работоспособность СС при нагрузках, превышающих нагрузки при МРЗ. При обрыве линий электропитания установленные на СС аккумуляторы гарантируют автономное функционирование САЗ ЗПА в течение заданного времени.

На основании того, что функционирование рассматриваемой системы предполагается только в условиях, не предусмотренных проектом АЭС и чреватых возникновением запроектных аварий, ее можно отнести к третьему классу безопасности в соответствии с НП-001-15 [14] или к категории Safety class 3 в соответствии с IAEA SSG-30 [15]. Использование оборудования более низкого класса безопасности по сравнению с классом безопасности САЗ для проектных аварий позволяет снизить требования к квалификации оборудования, что приводит к значительному снижению расходов на реализацию системы. Необходимо отметить, что отнесение системы к третьему классу безопасности не исключает использования беспроводных технологий передачи данных.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предлагаемая система антисейсмической защиты является целесообразным решением, не требующим высоких затрат на реализацию и позволяющим заметно повысить безопасность атомной станции за счет предупреждения запроектных аварий, вызванных землетрясениями с интенсивностью, превышающей МРЗ.

Литература

1. Новикова А.А. Природная катастрофа в Японии и ее последствия (Фукусима-2011). – М.: ИНИОН РАН, 2013. – 40 с.
2. Ханю Й. Японская катастрофа. Авария на Фукусиме и ее последствия. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 192 с.
3. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. – М.: Госатомнадзор России, 2001. – 33 с.
4. Heaton T.H. A model for a seismic computerized alert network // Science. – 1985. – Vol. 228. – PP. 987-990.
5. Shustov V., Basseri S., Shustov S. SGER: testing of a new line of seismic base isolators. Final Project Report to NSF. Award No 0618183. – La Crescenta, CA, 2007. – 35 p.
6. Чивилев С.В. Стандарт TETRA: его возможности и преимущества // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2009. – Т. 5. – № 2. – С. 50–55.
7. Святкин В.С., Есипенко В.И., Ковалев И.П., Сухоробров В.Г. WiMAX – технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 356 с.
8. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
9. Росляков А.В. Виртуальные частные сети. Основы построения и применения. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 304 с.
10. Лясин Д.Н., Саньков С.Г. Методы и средства защиты компьютерной информации. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. – 127 с.
11. Горишний В.А., Волков В.В., Чернецов В.Б., Борисенко Л.Н. Оценка инженерной обстановки в условиях чрезвычайной ситуации. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. – 83 с.
12. СП 151.13330.2012. Инженерные изыскания для размещения, проектирования и

строительства АЭС. Часть I. Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС). – М.: Госстрой, 2013.

13. Обухов Е. АСКРО – непрерывный контроль // Экология и атомная энергетика. Электронный ресурс: <http://www.ecoatominf.aaanet.ru/notes/control.htm> (дата обращения: 22.04.2017).

14. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – М.: Ростехнадзор, 2015.

15. SSG-30. Safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants. – Vienna: IAEA, 2014.

Поступила в редакцию 02.05.2017 г.

Авторы

Галиев Ильнар Ильдарович, ведущий инженер

E-mail: iigaliev@rasu.ru

Черняев Алексей Николаевич, директор департамента проектирования, к. т. н.

E-mail: AlNChernyaev@rasu.ru

Бибик Станислав Вячеславович, начальник отдела

E-mail: SVBibik@rasu.ru

UDC 621.039.587

DEVELOPMENT OF SEISMIC PROTECTION SYSTEM FOR DESIGN EXTENSION CONDITIONS

Galiev I.I., Chernyaev A.N., Bibik S.V.

JSC «RASU». 25 Ferganskaya st., Moscow, 109507 Russia,

ABSTRACT

Development of SPS DEC is proposed in the article in order to improve operational safety of nuclear power plants located in areas with unfavorable seismic conditions. The idea is to create a network of seismic stations located at a certain distance from the plant and provided with the data transmission system. If seismic sensors detect ground motion with a magnitude greater than a certain set point, seismic stations transmit a signal over the radio channels that the setpoint is exceeded before the seismic wave reaches the nuclear power plant. This allows to transfer the reactor to a subcritical state before the destruction of equipment and buildings begins. Ensuring reliable secure communication is achieved by the simultaneous use of three radio channels organized in accordance with the TETRA, WiMAX and LTE standards and technologies and by use of the necessary cryptography, authentication and data protection against distortion measures. The analysis of the optimality of the seismic stations remoteness from NPPs and their number is carried out in the work with two SS placing options: radial around the NPP and towards the place with the highest probability of occurrence of an earthquake. The scheme of multi-level majority signal processing is proposed, which allows to exclude spurious activations of the system. The proposed system is an expedient solution that does not require high costs for implementation and allows to significantly improving the safety of the nuclear power plant by preventing beyond design basis accidents caused by earthquakes with intensity higher than at maximum estimated earthquake.

Key words: Seismic Protection System, maximum estimated earthquake, shutdown, seismic station, safety, VVER, data transmission.

REFERENCES

1. Novikova A.A. *The natural disaster in Japan and its consequences*. Moscow. INION RAN Publ., 2013, 40 p. (in Russian).
2. Hano J. *Das japanische Desaster: Fukusima und die Folgen*. Freiburg. Herder Verlag, 2011, 160 p.
3. NP-031-01. The design standards of earthquake-resistant nuclear power plants. Moscow. Gosatomnadzor Rossii Publ., 2001, 33 p. (in Russian).
4. Heaton T.H. A model for a seismic computerized alert network. *Science*, 1985, v. 228, pp. 987–990.
5. Shustov V., Basseri S., Shustov S. *Testing of a new line of seismic base isolators*. Final Project Report to NSF, Award no 0618183, La Crescenta, CA, 2007, 35 p.
6. Chivilev S.V. Standard TETRA. Possibilities and Advantages. *Elektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy*. 2009, v. 5, no 2, pp. 50–55. (in Russian).
7. Sjuvatkin V.S., Esipenko V.I., Kovalev I.P., Suhorebrov V.G. *Wireless technology: theoretical foundations, standards, application*. Saint Petersburg. BHV-Peterburg Publ., 2005, 356 p. (in Russian).
8. Tihvinskij V.O., Terent'ev S.V., Yurchuk A.B. *LTE Mobile Networks: Technology and Architecture*. Moscow. Eko-Trendz Publ., 2010, 284 p. (in Russian).
9. Roslyakov A.V. *Virtual private networks. Fundamentals of construction and application*. Moscow. Eko-Trendz Publ., 2006, 304 p. (in Russian).
10. Ljasin D.N., San'kov S.G. *Methods and means of protection of computer information*. Volgograd. VolgGTU Publ., 2005, 127 p. (in Russian).
11. Gorishnij V.A., Volkov V.V., Chernecov V.B., Borisenko L.N. *Assessment of the engineering environment in an emergency situation*. Nizhny Novgorod. NGTU Publ., 2009, 83 p. (in Russian).
12. SP 151.13330.2012. *Inzhenernye izyskaniya dlya razmeshheniya, proektirovaniya i stroitel'stva AES. Chast' I. Inzhenernye izyskaniya dlya razrabotki predproektnoj dokumentacii (vybor punkta i vybor ploschadki razmeshheniya AEES)*. [Engineering surveys for the location, design and construction of nuclear power plants. Part I. engineering surveys for the development of pre-project documentation (choice of point and choice of NPP site)]. Moscow. Gosstroj Publ., 2013 (in Russian).
13. Obukhov E. Ecology and nuclear energy *Ekologiya i atomnaya energetika*. Available at: <http://www.ecoatominf.aaanet.ru/notes/control.htm> (accessed Apr. 22 2017) (in Russian).
14. NP-001-15. *Obschie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stancij*. [General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants.]. Moscow. Rostehnadzor Publ., 2015 (in Russian).
15. SSG-30. *Safety classification of structures, systems and components in nuclear power plants*. Vienna, IAEA, 2014.

Authors

Galiev Ilnar Ildarovich, Lead Engineer

E-mail: iigaliev@rasu.ru

Chernyaev Alexey Nikolaevich, Director of Design Department, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: AlNChernyaev@rasu.ru

Bibik Stanislav Vyacheslavovich, Head of Department

E-mail: SVBibik@rasu.ru