

ТРЕБОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНЕ И НА ПЛОЩАДКАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ (ОИАЭ)

Бугаев Е.Г.¹, Гусельцев А.С.¹, Фихиева Л.М.¹

¹*Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), г. Москва, fihieva@secnrs.ru*

Введение

До 2007 года в мире не было ни одной аварии АЭС вследствие неправильной оценки внешних воздействий в районе и на площадке АЭС. В июле 2007 года была остановлена АЭС Касивадзаки-Карива (Япония) после землетрясения магнитудой 6.8 по шкале Рихтера при проектной магнитуде МРЗ равной 6.5. Затем в марте 2011 г. произошла авария на АЭС Фукусима-Дайичи (Япония). В этом случае неправильно была оценена проектная величина волны цунами: проектная – 6 метров, фактическая – более 10 метров. Летом 2011 года в результате аномальных метеорологических явлений в США были подтоплены две АЭС: «Форт Калхун» и «Купер». Провальные дожди в штатах Монтана и Северная Дакота, а также тающий снег в Скалистых горах привели к сильному паводку в реке Миссури. Таким образом, впервые за весь исторический период эксплуатации всех в мире АЭС в результате аномальных метеорологических явлений (ливни + интенсивное таяние снегов) были затоплены площадки двух АЭС, что свидетельствует о превышении метеорологических и гидрологических параметров проектных основ этих АЭС.

После аварии на АЭС Фукусима-Дайичи, в России для всех АЭС были выполнены стресстесты на устойчивость к внешним воздействиям.

В России безопасность ОИАЭ от внешних природных и техногенных воздействий регулируется федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии (ФНП), которые являются обязательными при проектировании, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации ОИАЭ. Сравнительный анализ показал, что действующие в России ФНП являются наиболее строгими в мире. ФНП поддерживаются системой руководств по безопасности (РБ), которые имеют рекомендательный характер.

ФНП предусматривают контроль стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения ОИАЭ в режиме мониторинга. Мониторинг геолого-геофизических условий размещения ОИАЭ является неотъемлемой частью системы мониторингов "ОИАЭ - окружающая среда". Актуальность мониторинга геолого-геофизических условий (далее мониторинг) определена и обусловлена их изменением под влиянием естественных и техногенных внешних воздействий в период строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации ОИАЭ. Мониторинг носит комплексный характер. В его состав входят геотехнические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения и наблюдения за современными движениями земной коры (СДЗК).

Нормативные требования к проведению мониторинга

В системе ФНП России основными нормативными документами, регламентирующими требования к проведению мониторинга внешних природных и техногенных воздействий в районе и на площадке размещения ОИАЭ, являются НП-064-05 [1] и РБ-036-06 [2].

НП-064-05 содержат требования к учету внешних воздействий природного и техногенного происхождения при размещении, проектировании, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации (в том числе в случае длительной выдержки под наблюдением) ОИАЭ. НП-064-05 устанавливают номенклатуру процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, которые должны выявляться при изысканиях и исследованиях в районе и на площадке размещения ОИАЭ и учитываться при обосновании его устойчивости и безопасности.

Для процессов, явлений и факторов техногенного происхождения, природно-техногенного и техногенно-природного происхождения должны разрабатываться сценарии их реализации для выявления их взаимообусловленности и взаимовлияния. При этом в районе и на площадке размещения ОИАЭ должен обеспечиваться мониторинг параметров процессов и явлений природного происхождения, включенных в проектные основы, а также периодический контроль параметров факторов техногенного происхождения, включенных в проектные основы.

Согласно требованиям НП-064-05 при размещении ОИАЭ проводится классификация площадок по степени опасности процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения.

Установлено три класса площадок:

Класс А – площадка, на которой отсутствуют внешние воздействия I и II степеней опасности;

Класс Б – площадка, на которой отсутствуют внешние воздействия I степени опасности;

Класс В – площадка, на которой имеются внешние воздействия I, II и III степеней опасности.

Согласно требованиям НП-064-05, если на площадке размещения ОИАЭ возможны процессы и явления природного происхождения I и II степеней опасности, то системы мониторинга для оценки их параметров должны быть реализованы и функционировать до ввода в эксплуатацию ОИАЭ.

Требованиями НП-064-05 предусматривается, что технические средства для мониторинга и периодического контроля параметров процессов, явлений и факторов должны проходить проверки. Частота проверок должна устанавливаться в проектной документации систем мониторинга и периодического контроля и быть достаточной для обеспечения гарантий их безотказной работы в период между проверками.

Системы мониторинга параметров процессов и явлений природного происхождения должны быть интегрированы в единые государственные системы мониторинга, которые имеются на территории Российской Федерации в районе размещения площадки ОИАЭ.

Цели и задачи мониторинга в районе и на площадке ОИАЭ, в конечном счете, определяются условием, согласно которому, если в результате наблюдений при эксплуатации ОИАЭ зафиксированы изменения проектных параметров внешних воздействий, принятых в проектных основах, то должны оцениваться последствия влияния этих изменений на устойчивость и безопасность ОИАЭ. В необходимых случаях должны приниматься дополнительные меры по инженерной защите ОИАЭ и/или территории ОИАЭ.

Для выполнения этого условия в соответствии с требованиями пункта 6.22 НП-064-05 на ОИАЭ должны создаваться и актуализироваться базы данных о параметрах процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения на площадке и в районе размещения ОИАЭ.

Руководство по безопасности РБ-036-06 разрабатывалось в развитие требований НП-064-05 и включает рекомендации по методикам практической реализации требований НП-064-05.

Состав и особенности проведения мониторинга в районе и на площадке ОИАЭ

Мониторинг включает в себя геотехнический, гидрогеологический, сейсмологический мониторинг и мониторинг СДЗК. В настоящее время при активном проявлении климатических изменений, носящих региональный и разнознаковый характер (региональное потепление или региональное похолодание), становится очевидным необходимость комплексного подхода к оценке изменений геологической среды по результатам проводимых на площадке ОИАЭ видов мониторинга.

Геотехнический мониторинг. В состав геотехнического мониторинга входят мониторинг осадок и кренов фундаментов зданий и сооружений (далее ЗиС) и мониторинг физико-механических свойств грунтов оснований ЗиС ОИАЭ. При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

- визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в том числе поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.);
- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в том числе оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем;
- тензометрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации;
- виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);
- геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.).

Контролируемыми параметрами мониторинга осадок и кренов фундаментов ЗиС являются нормативные предельно допустимые значения и расчетные проектные значения осадок и кренов фундаментов ЗиС ОИАЭ. На всех без исключения площадках размещения ОИАЭ мониторинг осадок и кренов фундаментов ЗиС проводится для ЗиС первой и второй категорий ответственности за радиационную безопасность. Системы мониторинга осадок и кренов фундаментов ЗиС нормированы и строго регулируются федеральными нормативными документами, а также соответствуют рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).

При анализе результатов геотехнического мониторинга учитываются результаты других видов мониторинга, контролирующих изменения геологической среды.

Мониторинг СДЗК.

Деформации и возможные крены тектонических блоков земной коры должны учитываться при размещении ОИАЭ, т.к. они могут влиять на поведение площадок их размещения. Наблюдения за СДЗК с помощью геодезических методов, как наземных, так и с использованием GPS наблюдений со спутников, являются одним из инструментов для выделения геодинамически активных разломов и разломных зон и оценки текущей (настоящей) геодинамической активности территории в целом.

Необходимо отметить, что методология работ СДЗК основана на использовании сетей опорных реперов (глубинных и грунтовых), всегда испытывающих воздействие множества факторов (климатических, геологических, гидрогеологических и др.), которые в свою очередь влияют на их устойчивость. Поэтому весьма важно при использовании результатов геодезических наблюдений при обосновании безопасности достоверно выделять геодинамическую составляющую движений. В свою очередь эта составляющая может быть вызвана как эндогенными, так и экзогенными и инженерно-геологическими процессами. Соответственно, необходимо стараться однозначно определить причины СДЗК, т.к. в случае с эндогенными источниками мы имеем дело с активными тектоническими структурами, а в остальных случаях нет. Тем не менее, в любом случае должен определяться риск, который может быть нанесен безопасной эксплуатации ОИАЭ современными геодинамическими процессами, протекающими в настоящее время.

Наблюдения за СДЗК осуществляются наземными геодезическими методами (в основном, за вертикальной составляющей) и космическими средствами (как правило, за горизонтальной составляющей) и в зависимости от масштаба подразделяются на глобальные (в масштабе Земли в целом), региональные (в пределах района размещения объекта) и локальные (на площадке размещения объекта). Проблема заключается в том, что такие наблюдения чаще всего выполняются лишь эпизодически – путем повторных наблюдений через определенные интервалы времени, и лишь в редких случаях непрерывно (перманентно) в режиме мониторинга (но и в случае мониторинга непрерывность наблюдений относительна и сводится лишь к повышению частоты опроса).

Детальные исследования СДЗК геодезическими методами в районах и на площадках размещения ОИАЭ проводятся либо в пределах локальных (ведомственных) геодинамических полигонов, либо по отдельным профилям. По результатам наблюдений за СДЗК к опасным разломам относят разломы, в зонах которых установлен градиент скорости движений $3 \cdot 10^{-5}$ в год. При сохранении постоянства такой скорости вертикальной деформации в течение срока эксплуатации объекта предельный крен может достигать величины 10^{-3} , что сопоставимо с предельной величиной допустимого крена реакторного отделения атомной станции. Такие движения могут быть вызваны как опасными активными разломами, расположение которых недопустимо на площадках размещения ОИАЭ, так и другими геодинамическими процессами (экзогенными, инженерно-геологическими и гидрогеологическими).

Дополнительным компонентом к высокоточному геометрическому нивелированию для анализа скоростей вертикальных движений и решения других задач тектоники и геодезии, является выполнение гравиметрических работ. Это связано с тем, что по результатам повторного геометрического нивелирования нельзя судить об относительном вертикальном смещении реперов, так как его причиной может быть изменение гравитационного поля в исследуемом районе Земли. Аналогично, по результатам повторных гравиметрических наблюдений нельзя судить, изменяется ли гравитационное поле, поскольку причиной изменения силы тяжести могут быть смещения измерительных точек по высоте относительно центра масс Земли. Отсюда следует констатировать, что при точных работах по исследованию современных вертикальных движений земной коры нельзя не считаться с возможными изменениями гравитационного поля. Для производства гравиметрических работ должна быть создана сеть гравиметрических пунктов. Гравиметрические пункты совмещаются с геодезической сетью – глубинными реперами и пунктами государственной триангуляции и устанавливаются в непосредственной близости от них: порядка 3 м от глубинных реперов и 1-3 м от центров триангуляции. Такие наблюдения в настоящее время ведутся на геодинамических полигонах Ростовской и Нижегородской АЭС.

В качестве контролируемых величин при мониторинге рекомендуется рассматривать параметры (максимальные вертикальные и горизонтальные смещения, скорости и градиенты скоростей смещений), учитываемые при размещении площадки ОИАЭ, и параметры, учитываемые в проекте при обеспечении безопасности ОИАЭ – крены реакторных отделений и допустимые крены зданий и сооружений, важных для безопасности.

Оценка характеристик вертикальных движений земной коры на геодинамическом полигоне зависит от продолжительности периода мониторинговых наблюдений: если последовательно обработать наблюдения за 15 лет, а затем за три года и, наконец, за один год, то определяемые движения оказываются всё хаотичнее [3]. При анализе больших интервалов измерений получаются устойчивые осредненные величины, а при малых интервалах увеличивается влияние случайных отклонений от общей тенденции.

При проведении мониторинговых наблюдений следует особое внимание обращать на выявление долговременных трендовых составляющих СДЗК и тщательно анализировать и выявлять причины интенсивных локальных изменений параметров.

СДЗК могут приводить к перекосу и крену площадки и вносить дополнительный вклад в крен и перекося ЗИС, возникший вследствие неравномерной осадки и движений грунтов оснований. Перекося и крен площадки за счет СДЗК может усугублять суммарный крен, если направление кренов совпадает, или наоборот компенсировать, если направления составляющих суммарного крена противоположны. При этом необходимо учитывать влияние сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условий территорий размещения ОИАЭ, которые на локальных участках также могут повлиять на увеличение осадки, крена и изгиба фундаментов зданий и сооружений.

Воздействие составляющей крена СДЗК может быть критическим в том случае, если значение составляющей крена осадки фундамента близко к предельно допустимым значениям (эффект последней капли). Например, в случае Калининской АЭС, где крены реакторных отделений, обусловленные неравномерными осадками ($PO-1 = 0.00308$; $PO-2 = 0.00267$), превысили предельно допустимое значение 0.001, «добавка» крена за счет СДЗК может оказаться критической. Такая же ситуация возможна на Балаковской АЭС, на ХОЯТ Курской АЭС. При этом необходимо учитывать техногенную составляющую, влияющую на геодинамическую активность территории размещения ОИАЭ.

При оценке безопасности размещения ОИАЭ важно, чтобы такие оценки выполнялись еще на стадии проектирования. Следовательно, геодезические наблюдения, как и организация геодинамического полигона в целом, должны начинаться на ранних стадиях жизненного цикла объекта, а поскольку верификация площадки размещения ОИАЭ должна продолжаться в течение всей его жизни, то наблюдения на геодинамическом полигоне тоже. Краткосрочность локальных инструментальных наблюдений вообще ставит под сомнение вопрос надежного и достоверного долгосрочного прогноза изменения характера и скорости тектонических движений в пространстве и времени.

Сейсмический мониторинг

ОИАЭ на территории России, как правило, расположены в асейсмичных и слабосейсмичных районах, в пределах которых наблюдаются сотни землетрясений с магнитудой $M \leq 3.0$. Естественно, что в асейсмичных и слабосейсмичных районах отсутствует достаточно плотная и долговременная сеть высокочувствительных станций. Поэтому здесь сейсмический режим на уровне слабых мелкофокусных и «микро» землетрясений практически не изучен. Есть только, да и то в очень небольших объемах, краткосрочные локальные сейсмологические наблюдения. Вследствие этого сегодня нельзя аргументировано ответить на вопросы регионального плана: каково распределение очагов слабых мелкофокусных землетрясений по площади и по глубине в асейсмичных районах; какова их геологическая и тектоническая приуроченность; как и в какой мере, отражаются в асейсмичных районах 20-летние циклы активности и затишья, характерные для сейсмических зон, и т.д. На первый взгляд, с точки зрения теории жестких плит цикличность должна в какой-то степени проявляться и в асейсмичных внутриплитовых областях.

Но не это главное. Главное, что по имеющимся данным ясно, что сейсмичность асейсмичных районов далеко не однородна. Более того, в ряде мест может быть и здесь происходят ощутимые землетрясения, плейстосейсмическая область которых невелика из-за сравнительно небольшой магнитуды и малой глубины очага (до 10 км) [4]. Если эпицентр такого землетрясения окажется в малонаселенном, или вовсе ненаселенном районе (обширные поля и леса), то это событие не будет зафиксировано.

В связи с развитием и применением методов оценки сейсмического риска, использующих полную сейсмическую информацию о частоте и интенсивности сейсмических событий в районах размещения ОИАЭ, встала задача:

- создания баз данных о сейсмических событиях;
- оценки параметров сейсмических колебаний грунта;
- сбора информации о последствиях мелкофокусных землетрясений.

К настоящему времени накоплен материал по макросейсмике и инструментальным наблюдениям. Он еще недостаточен, что и определяет необходимость организации сейсмомониторинговых локальных сетей сейсмических станций (ЛССС) в районах действующих и строящихся ОИАЭ в условиях асейсмичности. Опыт подобных наблюдений в районах Калининской, Нововоронежской АЭС и др., дает возможность определить требования к условиям установки сейсмических станций по уровню микросейсмического шума, оптимальности с точки зрения регистрации мелкофокусных и «микро» землетрясений, требования к параметрам регистрирующей аппаратуры, степени автоматизации регистрирующего комплекса и обработки результатов наблюдений [4, 5].

В последние годы появились публикации, в которых указывается на необходимость анализа мелкофокусных землетрясений, в том числе [4, 5, 6]. «Точечность» или «локальность» воздействий мелкофокусных землетрясений малых магнитуд могут объяснить их тяжелые последствия для окружающей среды. В частности, землетрясение в Ташкенте в 1966 году стало разрушительным по причине расположения очага землетрясения на глубине 5-10 км под центром города.

Гидрогеологический мониторинг

В России ОИАЭ размещены в различных климатических зонах с самыми различными гидрогеологическими условиями. Несущая способность грунтов оснований ЗИС ОИАЭ в большой мере зависит от гидрогеологических условий площадки размещения. Наблюдения за режимом грунтовых вод на площадках размещения ОИАЭ проводятся с целью:

- уточнения гидрогеологических условий;
- контроля гидрохимической устойчивости оснований;
- контроля агрессивного воздействия грунтовых вод на фундаменты;
- контроля за состоянием подземных водонесущих коммуникаций и дренажных систем.

Наблюдения за режимом грунтовых вод осуществляются с помощью контрольных скважин - пьезометров, которые должны быть заложены к началу эксплуатации ОИАЭ. Наблюдения за режимом грунтовых вод включают в себя три вида работ: наблюдения за изменением уровня грунтовых вод; измерения температуры грунтовых вод; определение химического состава. Эти виды работ в режиме мониторинга строго регламентированы, обеспечены нормативными документами и выполняются на площадках размещения ОИАЭ в течение всего жизненного цикла.

Заключение

В районе и на площадке ОИАЭ проводится мониторинг параметров внешних воздействий, включенных в проектные основы.

Задачей мониторинга является контроль непревышения значений параметров внешних воздействий, включенных в проектные основы.

Безопасность ОИАЭ при внешних воздействиях обеспечивается комплексом инженерно-технических и организационных мер, предназначенных для предотвращения превышения допустимых пределов и условий безопасной эксплуатации при внешних воздействиях.

Список литературы

1. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-05. Введены в действие с 1 мая 2006 г.
2. Мониторинг инженерно-геологических условий размещения объектов ядерного топливного цикла. РБ-036-06. Введены в действие с 1 марта 2007 г.
3. Косыгин Ю.А. Тектоника. М.: Недра, 1983. 536 с.
4. Калиберда И.В., Аптикаев Ф.Ф., Лавров И.М., Фихиева Л.М.. Сейсмомониторинг слабосейсмичных районов размещения АЭС в России (состояние вопроса, перспективы). Материалы международного научно-технического семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий», 14-18 сентября 1998 г., г. Севастополь, Киев, 1999, часть II. С. 64-68.
5. Bugaev E.G., Benedik A.L., Fikhieva L.M.. Evaluation of geodynamic conditions and seismic monitoring at low seismic activity areas of nuclear power stations sites in Russia. Third world mining environment congress, 7-11 September 1999, Moscow. Congress Proceedings, Volume 1. P. 259-272.
6. Kaliberda I.V., Fikhieva L.M., Nikolayev A.V., Kapustyan N.K.. Geodynamic monitoring of technogenic effects case study of Leningradskaya nuclear power station site. Third world mining environment congress, 7-11 September 1999, Moscow. Congress Proceedings, Volume 1. P. 230-239.