ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
NUCLEAR, RADIATION AND ENVIRONMENTAL SAFETY

https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-01
EDN CPQCRW
Оригинальная статья / Original paper

Организация действий персонала АЭС при сейсмических воздействиях: опыт площадки АЭС «Аккую» после землетрясений 6 февраля 2023 года

И.И. Зайкин[1] ✉, **С.И. Рясный**[2]
[1]*АО «Аккую Нуклеар», Турецкая Республика*
[2]*Национальный исследовательский университет «МЭИ»*
✉ *zaykin@hotmail.com.*

Аннотация. Представлены данные по опыту функционирования площадки АЭС «Аккую» в условиях разрушительных землетрясений в Турции 6 февраля 2023 года. В соответствии с реакцией персонала площадки АЭС «Аккую» на землетрясения рассмотрены подходы к организации действий персонала при сейсмических воздействиях в соответствии с действовавшими на тот момент локальными нормативными документами. Приведен обзор международного опыта по нормативному регулированию в части реагирования персонала АЭС на землетрясения и сравнение с российскими подходами. Выявлены нормативные и организационные пробелы в части реагирования персонала как в локальных нормативных документах АО «Аккую Нуклеар», так и в действующих на АЭС российских нормативных документах. При анализе практики стран с развитой ядерной отраслью подтверждена необходимость наличия четких и гибких процедур реагирования даже при сейсмических воздействиях, не достигших проектного уровня. В целях устранения выявленных организационных проблем разработаны и внедрены мероприятия по доработке локального регламента «Действия по выполнению предупредительных мер при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций на площадке АЭС «Аккую» путем включения в него мер по реагированию и действиям персонала. Предложены меры по совершенствованию сейсмического мониторинга на площадке, впервые закрепившие механизм срочного оповещения о зарегистрированных сейсмических колебаниях при ускорении грунта ≥0,01g на площадке АЭС «Аккую» или в городе массового проживания персонала в течение одного часа после события. Предложены инженерно-организационные меры по повышению уровня защищенности персонала и оборудования. Отмечено, что российские федеральные нормы НП-064-17, ориентированные на учет параметров воздействия при проектировании и эксплуатации, не охватывают аспекты реагирования на сейсмические события малой и средней интенсивности. Обоснована необходимость доработки нормативной базы путем дополнения норм НП-064-17 в части формализации уровней реагирования и оповещения персонала при таких сейсмических событиях, что позволит стандартизировать действия персонала и предотвратить неоправданные риски.

Ключевые слова: АЭС, землетрясение, сейсмостойкость, сейсмическое воздействие, максимальное горизонтальное ускорение грунта, максимальное расчетное землетрясение, проектное землетрясение, персонал, безопасность.

Для цитирования: Зайкин И.И., Рясный С.И. Организация действий персонала АЭС при сейсмических воздействиях: опыт площадки АЭС «Аккую» после землетрясений 6 февраля 2023 года. *Глобальная ядерная безопасность.* 2025;15(2):5–11. https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-01

For citation: Zaykin I.I., Ryasny S.I. Arranging activities of NPP personnel in case of seismic impacts: Akkuyu NPP experience after earthquakes on February 6, 2023. *Nuclear Safety.* 2025;15(2):5–11. (In Russ.). https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-01

Arranging activities of NPP personnel in case of seismic impacts: Akkuyu NPP experience after earthquakes on February 6, 2023

Ivan I. Zaykin[1] ✉, **Sergey I. Ryasny**[2]
[1]*JSC «Akkuyu Nuclear», Republic of Turkey*
[2]*National Research University «Moscow Power Engineering Institute»*
✉ *zaykin@hotmail.com*

© Зайкин И.И., Рясный С.И., 2025

Abstract. Data on the Akkuyu NPP operating experience in the conditions of devastating earthquakes in Turkey on February 6, 2023 are presented. In accordance with the response of the Akkuyu NPP personnel to earthquakes, approaches to organizing personnel actions during seismic impacts in accordance with local regulatory documents in force at that time are considered. An overview of international experience in regulatory regulation regarding the response of NPP personnel to earthquakes and a comparison with Russian approaches is given. Regulatory and organizational gaps have been identified in terms of staff response both in the local regulatory documents of Akkuyu Nuclear JSC and in the Russian regulatory documents in force at the NPP. The analysis of countries with a developed nuclear industry confirms the need for clear and flexible response procedures, even in case of seismic impacts that have not reached the design level. In order to eliminate the identified organizational problems, activities are developed and implemented to finalize the local regulations «Actions for the implementation of preventive measures in case of a threat of emergency situations at the Akkuyu NPP site» by including activities for the response and actions of personnel. Activities are proposed to improve seismic monitoring at the site which for the first time established an urgent notification mechanism for recorded seismic fluctuations with ground acceleration ≥0.01g at the Akkuyu NPP or in a city of mass residence of personnel within one hour after the event. Engineering and organizational activities are proposed to increase the level of safety of personnel and equipment. It is noted that the Russian federal standards NP-064-17, which focus on consideration of impact parameters during design and operation, do not cover aspects of responding to low- and medium-intensity seismic events. The need to refine the regulatory framework by supplementing the norms of NP-064-17 in terms of formalizing the levels of response and notification of personnel in such seismic events is justified, which will standardize the actions of personnel and prevent unjustified risks.

Keywords: nuclear power plant, earthquake, seismic resistance, seismic impact, peak ground acceleration, safe shutdown earthquake, operating basis earthquake, personnel, safety.

Атомная электростанция «Аккую» строится на побережье Средиземного моря в провинции Мерсин Турецкой Республики. Площадка расположена на удалении от активных сейсмотектонических разломов, в том числе Восточно- и Северо-Анатолийского. Согласно картам сейсмической опасности управления по чрезвычайным ситуациям Турции (AFAD) [1] и международной модели землетрясений (GEM) [2] уровень опасности в точке размещения станции не превышает 0,18g при вероятности превышения 10% за 50 лет (рис. 1).

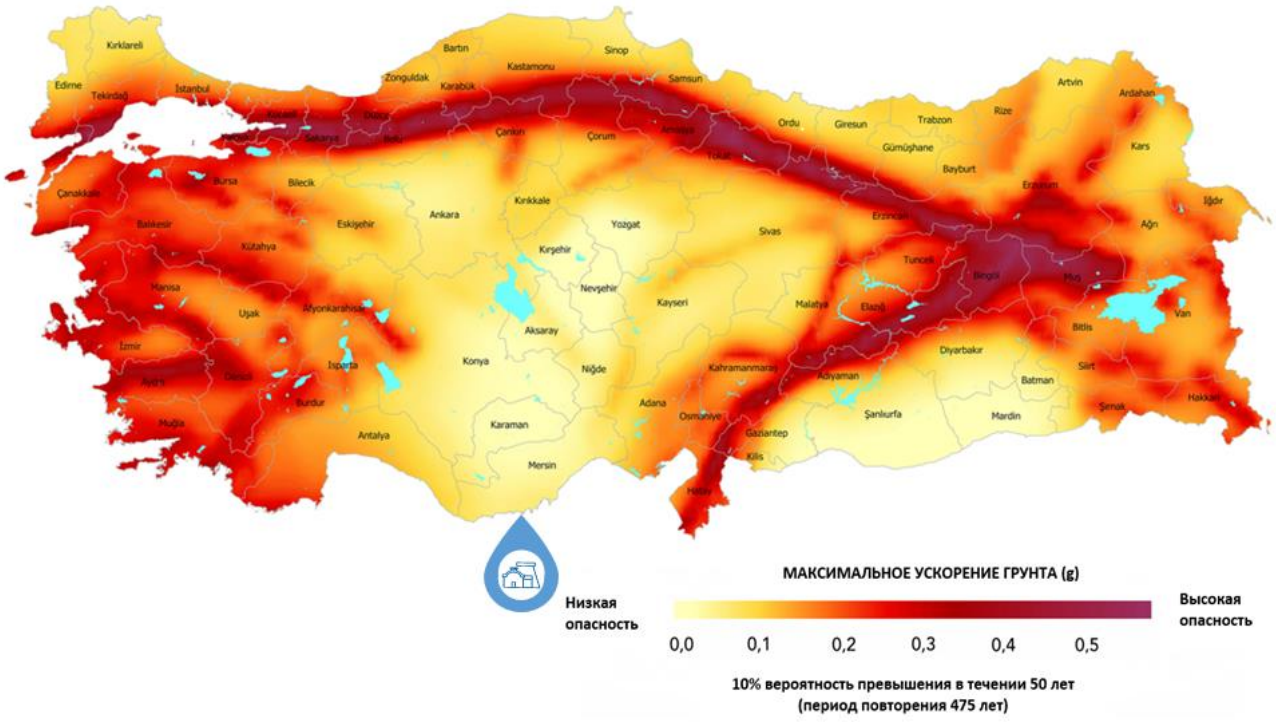

Рисунок 1. *Карта сейсмической опасности Турции*
Figure 1. *Seismic Hazard Map of Turkey*

Для целей проектирования АЭС предусмотрены 3 категории сейсмостойкости и соответствующие максимальные горизонтальные ускорения грунта (PGA):

I категория сейсмостойкости соответствует PGA=0,388g (максимальное расчетное землетрясение – МРЗ);

II категория сейсмостойкости соответствует PGA=0,194g (проектное землетрясение – ПЗ);

III категория сейсмостойкости соответствует PGA=0,1g.

Сооружения АЭС «Аккую» I и II категории сейсмостойкости размещаются на скальных основаниях. Для мониторинга используется локальная сеть сейсмического мониторинга, интегрированная в национальную сейсмическую сеть Турецкой Республики сейсмостанциям Обсерватории Кандилли и Института исследований землетрясений университета Богазичи (KOERI) [3].

В соответствии с российскими федеральными нормами НП-064-17 [1] на всех этапах жизненного цикла АЭС должно осуществляться наблюдение за сейсмической обстановкой, а также обеспечиваться устойчивость систем и элементов, важных для безопасности. В то же время в этом документе отсутствуют четкие указания о действиях персонала при сейсмических событиях с интенсивностью, не превышающей проектную, механизмы оповещения персонала о прохождении событий такой интенсивности, процедуры оперативного информирования работников и оценки уровня воздействия.

В странах с развитой ядерной энергетикой и высоким уровнем сейсмической активности разработаны комплексные подходы к реагированию персонала АЭС на землетрясения. Ниже представлены систематизированные примеры таких решений.

Япония. После аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. японский регулятор (NRA) и Японское агентство атомной энергии (JAEA) внедрили многоуровневую систему реагирования. В нормативных документах (JAEA Guidelines, NRA Requirements) установлены уровни реагирования по национальной японской шкале сейсмической интенсивности (JMA):

– при интенсивности по нормам MSK-64 ≥5 баллов – временный выход из зданий;

– ≥6 баллов – сбор в безопасных зонах;

– ≥7 баллов – эвакуация.

Оперативный персонал укрывается в сейсмостойких помещениях с автономным питанием. Лифты блокируются автоматически. Обязательны ежегодные тренировки и стресс-тесты по стандартам МАГАТЭ.

США. Нормативные документы Комиссии по ядерному регулированию (U.S. NRC), устанавливают строгие требования к планам аварийного реагирования, включая регламентацию действий персонала по оповещению, эвакуации и переходу между уровнями аварийной готовности на основе определенных пороговых значений [4]. Дополнительно, методология оценки запаса сейсмостойкости (SMA), позволяет количественно определять устойчивость критически важного оборудования при сейсмических воздействиях, превышающих проектные параметры, и, соответственно, формализовать действия при подобных сценариях [5].

Франция. Система обеспечения аварийной готовности ядерных объектов интегрирована в процессы периодических переоценок безопасности, проводимых каждые десять лет. Эти комплексные оценки включают детальный анализ сейсмической устойчивости станций и адаптацию эксплуатационных процедур к актуальным данным. Управление реагированием осуществляется в соответствии с национальными регуляторными руководствами [6].

Китай. Согласно отчету китайского регулятора, NNSA [7] реализована поэтапная эвакуация персонала с визуальным и аудиосопровождением. При этом присутствуют наблюдатели на выходах, используются временные укрытия. Документы основаны

[1] НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. – Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – Москва: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2017. – 70 с. – Режим доступа: https://docs.secnrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-064-17/%D0%9D%D0%9F-064-17_conv.pdf (дата обращения: 15.01.2025).

на национальных нормах и стандартах МАГАТЭ (IAEA) [8,9,10].

Таким образом, общий элемент для всех рассмотренных стран заключается в наличии четко регламентированных действий по эвакуации и оповещению персонала, а также систематизации реагирования при достижении пороговых значений сейсмических воздействий. Эти подходы подчеркивают важность формализации процедур даже при событиях, не превышающих проектные пределы.

В действующих российских нормативных документах[2] отсутствуют формализованные уровни реагирования персонала:

– не введены пороги интенсивности землетрясения или ускорений (PGA) для активации оповещения;

– эвакуация персонала при слабых и умеренных землетрясениях не регламентирована;

– полномасштабные визуальные обходы после сейсмических событий не обязательны;

– отсутствует централизованная система оперативного информирования;

– тренировки действий персонала при землетрясениях не входят в стандартную программу гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ГО и ЧС).

Таким образом, российская система ориентирована на конструкционную устойчивость, но не регламентирует действия персонала при землетрясениях. Это требует нормативного уточнения и внедрения лучших международных практик.

6 февраля 2023 г. в Турции произошло два мощных землетрясения магнитудой 7,7 и 7,6. Расстояние от эпицентра до площадки строительства АЭС «Аккую» составило около 336 км. Согласно данным сети сейсмологических станций, на площадке строительства АЭС «Аккую» были зарегистрированы максимальные горизонтальные ускорения в пределах 0,005g (рис. 2). Хотя параметры воздействий оказались значительно ниже проектных, события были физически ощутимыми и вызвали обеспокоенность персонала. Отсутствие регламентированных действий и автоматического информирования выявило существенные пробелы в готовности АЭС к сейсмическим событиям.

На основе анализа нормативной базы, международного опыта и конкретной практики разработаны следующие предложения:

Нормативные предложения:

– Установить в НП-064-17 минимальный порог оперативного информирования (магнитуда ≥4 или ≥5 баллов по шкале MSK-64);

– Закрепить требование по организации процедуры оценки параметров сейсмического события при превышении данного порога;

– Ввести уровни информирования, эвакуации и возвращения персонала в здания по шкале MSK-64.

Инженерно-организационные меры:

– визуальная маркировка зданий и сооружений по категории сейсмостойкости (I, II, III);

– резервное использование данных KOERI и AFAD для быстрой оценки событий;

– включение механизма реагирования в планы ГО и ЧС и обеспечение персонала противоаварийными комплектами;

– регулярные обучения и тренировки персонала действиям при землетрясениях;

– уточнение и актуализация Программы квалификации оборудования по данным реальных сейсмических событий.

Пример алгоритма действий персонала:

1. Получено сообщение о сейсмическом событии ≥5 баллов:

– персонал (кроме оперативного) покидает здания;

[2] Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – Москва: Ростехнадзор, 2015. – 55 с. – Режим доступа: https://docs.secnrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-001-15/%D0%9D%D0%9F-001-15_conv.pdf (дата обращения: 15.01.2025).

Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – Москва: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2017. 70 с. – Режим доступа: https://docs.secnrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-064-17/%D0%9D%D0%9F-064-17_conv.pdf (дата обращения: 15.01.2025).

Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. СП 151.13330.2012. Федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйств. – Москва: Госстрой России, 2013. – Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293777/4293777249.pdf (дата обращения: 15.01.2025).

– проводится оценка параметров события (PGA, MSK-64).

2. Установлено, что ускорения < проектных значений:

– технический директор или главный инженер принимает решение о возвращении персонала в здания, проектные значения сейсмических нагрузок которых не были превышены.

3. При превышении проектных параметров:

– проводится обследование конструкций и оборудования.

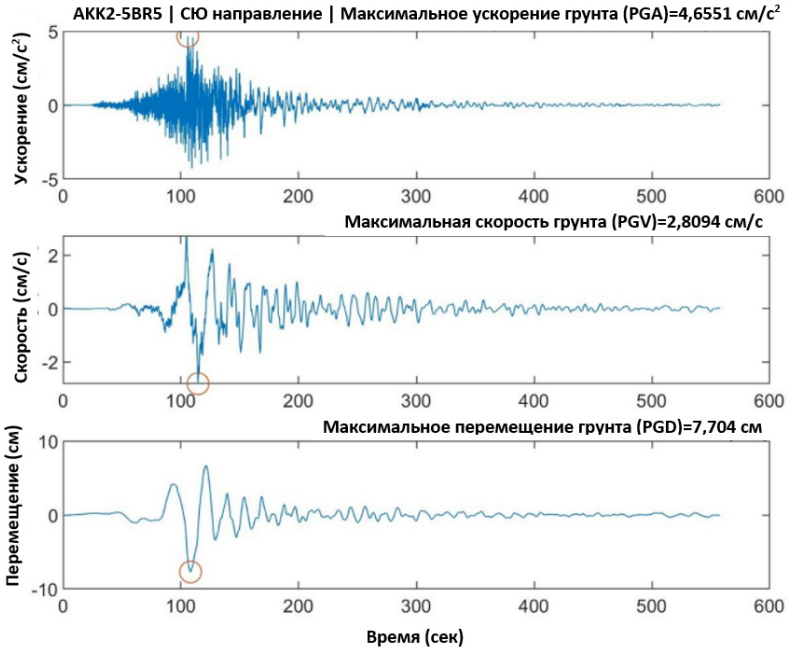

Рисунок 2. *Сейсмограммы зарегистрированные на площадке строительства АЭС «Аккую» от землетрясения, произошедшего 06.02.2023 в 4:17 по местному времени*

Figure 2. *Seismograms recorded at the Akkuyu NPP construction site from the earthquake that occurred on February 6, 2023*

Полученный опыт стал основанием для пересмотра и доработки локальных нормативных документов АО «Аккую Нуклеар». В частности, в 2023 г. был актуализирован регламент «Действия по выполнению предупредительных мер при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций на площадке АЭС «Аккую», вызванных неблагоприятными природными явлениями», в который включены предложения, разработанные по результатам анализа землетрясений 6 и 20 февраля. В регламенте закреплены уровни реагирования персонала при сейсмических воздействиях, алгоритмы эвакуации и возвращения, требования к оценке параметров событий, а также взаимодействие с системами KOERI и AFAD. Были также обновлены памятки для персонала, внесены изменения в планы мобилизационной готовности и действия при природных угрозах.

Также по итогам предложений, разработанных после анализа событий 6 февраля 2023 г., в новый договор на оказание услуг по сейсмическому мониторингу было включено требование об оперативном информировании АЭС. Согласно условиям договора, исполнитель обязан направлять сведения о зарегистрированных сейсмических колебаниях (при ускорении грунта ≥10 см/с² (≈0,01g) на площадке АЭС «Аккую» или в городе массового проживания персонала г. Силифке) в течение одного часа после события. Это требование впервые закрепило механизм срочного оповещения в рамках договорных обязательств.

Обращено внимание на необходимость изменения нормативного документа НП-064-17, который сегодня ориентирован на учет параметров воздействия при проектировании и эксплуатации, однако не охватывает аспекты реагирования на сейсмиче-

ские события малой и средней интенсивности. Включение в нормативную базу РФ механизмов информирования и первичных реакций позволит стандартизировать действия персонала и предотвратить неоправданные риски. Предлагаемые изменения повысят уровень защищенности персонала и оборудования, а также обеспечат соответствие международной практике.

Заключение

1. Реакция персонала площадки АЭС «Аккую» на землетрясения 2023 г. позволила выявить нормативные и организационные пробелы как в локальных нормативных документах АО «Аккую Нуклеар», так и в действующих на АЭС нормативных документах РФ. Практика стран с развитой ядерной отраслью подтверждает необходимость наличия четких и гибких процедур реагирования даже при сейсмических воздействиях, не достигших проектного уровня.

2. По результатам анализа опыта площадки АЭС «Аккую» после землетрясений доработан локальный регламент «Действия по выполнению предупредительных мер при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций на площадке АЭС «Аккую» с включением в него мер по реагированию и действиям персонала. Даны предложения по совершенствованию сейсмического мониторинга на площадке.

3. Даны предложения по дополнению норм НП-064-17 в части оперативного реагирования и информирования персонала при сейсмических событиях малой и средней интенсивности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. AFAD (Disaster and Emergency Management Authority). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Ankara: AFAD, 2018. Available at: https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi?ysclid=mb6j3q1dtc717024335 (accessed: 15.01.2025).

2. GEM (Global Earthquake Model) Foundation. Global Seismic Hazard Map. Pavia: GEM, 2018. Available at: https://www.globalquakemodel.org/product/global-seismic-hazard-map (accessed: 15.01.2025).

3. Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI). Seismic Hazard Map of Turkey. Istanbul: KOERI, 2018. Available at: http://www.koeri.boun.edu.tr/new/en (accessed: 15.01.2025).

4. U.S. Nuclear Regulatory Commission. NUREG-0654/FEMA-REP-1, Rev. 1. Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants. Washington, D.C.: NRC, 1980. Available at: NUREG-0654, Rev. 1, Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans (1980-11).pdf (accessed: 15.01.2025).

5. U.S. Nuclear Regulatory Commission. NUREG/CR-1407. Procedures for Conducting Seismic Margin Assessments. Washington, D.C.: NRC, 1991. Available at: https://www.nrc.gov/docs/ML0635/ML063550238.pdf (accessed: 15.01.2025).

6. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN). Réexamens de sûreté des centrales nucléaires: Des évaluations approfondies pour garantir la sûreté à long terme. Available at: https://www.asn.fr/l-asn-en-bref/nos-actions/surete-nucleaire/les-reexamens-de-surete-des-centrales-nucleaires (accessed: 15.01.2025).

7. China. National Nuclear Safety Administration (NNSA). 9th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety – National Report of China. Vienna: IAEA, 2024. Available at: https://www.iaea.org/sites/default/files/24/01/9th_rm_national_report_cns_china.pdf (accessed: 15.01.2025).

8. IAEA Safety Reports Series No. 28. Seismic Evaluation of Existing Nuclear Power Plants. Vienna: IAEA, 2003. Available at: https://www.iaea.org/publications/6683/seismic-evaluation-of-existing-nuclear-power-plants (accessed: 15.01.2025).

9. IAEA TECDOC-1333. Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants. – Vienna: IAEA, 2003. Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1333_web.pdf (accessed: 15.01.2025).

10. IAEA Safety Reports Series No. 66. Earthquake Preparedness and Response for Nuclear Power Plants. Vienna: IAEA, 2011. Available at: https://archive.org/details/earthquakeprepar0000unse (accessed: 15.01.2025).

ВКЛАД АВТОРОВ:

Зайкин И.И. – анализ событий на АЭС «Аккую», формулирование предложений по корректировке нормативных требований, разработка инженерно-организационных мероприятий, подготовка текста

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Zaykin I.I. – analysis of the seismic events at Akkuyu NPP, development of proposals for regulatory improvement, elaboration of engineering and organizational measures, preparation of the manuscript;

статьи;
Рясный С.И. – анализ международной и национальной нормативной документации, подготовка заключений и текста статьи.

БЛАГОДАРНОСТИ:
Авторы выражают признательность специалистам АО «Аккую Нуклеар» за предоставленную информацию о ходе реагирования на сейсмические события.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:
Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Иван Игоревич Зайкин, кандидат технических наук, АО «Аккую Нуклеар», https://akkuyu.com/ru, Турецкая Республика.
e-mail: zaykin@hotmail.com
Сергей Иванович Рясный, доктор технических наук, профессор, НИУ «МЭИ», г. Москва, Российская Федерация.
e-mail: esp.izmailovo@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 28.02.2025
После доработки / Revision 30.05.2025
Принята к публикации / Accepted 03.06.2025

Ryasny S.I. – review of international and national regulatory documentation, contribution to the formulation of conclusions and preparation of the manuscript.

ACKNOWLEDGEMENTS:
The authors thank the specialists of Akkuyu Nuclear JSC for providing data on the response to seismic events.

FUNDING:
The authors declare no external funding.

CONFLICT OF INTEREST:
The authors declare no conflict of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Ivan I. Zaykin, Cand. Sci. (Engin), Akkuyu Nuclear JSC, https://akkuyu.com/en, Republic of Türkiye.
e-mail: zaykin@hotmail.com

Sergey I. Ryasny, Dr. Sci. (Engin), Professor, National Research University «MPEI», Moscow, Russian Federation.
e-mail: esp.izmailovo@mail.ru