УДК 621.039:624.131.1:528.48

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-74-78

Секция 4

Проектирование и строительство сейсмостойких высотных зданий

**УЧЕТ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

Лободенко И.Ю., к.г.-м.н., начальник отдела ОУВВ,
Фихиева Л.М., к.г.-м.н., с.н.с., в.н.с. ОУВВ,
Малофеев А.А., н.с.,
Меньщикова В.В., м.н.с.
(ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва, Россия).

**THE ACCOUNT OF MODERN MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST IN THE
DESIGN AND CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS**

Lobodenko I., candidate of geological and mineralogical sciences, head of division,
Fihieva L., candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher,
Malofeev A., researcher,
Menshchikova V., junior researcher
(SEC NRS, Moscow, Russia).

Аннотация: Учет современных движений земной коры (СДЗК) на всех этапах жизненного цикла объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) применяется только в России. На основе многолетнего опыта разработана нормативная база, включающая учет воздействия СДЗК на площадке размещения ОИАЭ. СДЗК могут приводить к крену площадки размещения здания и вносить дополнительный вклад в крен здания, возникший вследствие неравномерной осадки и движений грунтов основания. Крен площадки за счет СДЗК может усугубить суммарный крен, если направление кренов совпадает, или наоборот – компенсировать, если направления составляющих суммарного крена противоположны. При размещении здания на скальных грунтах крен здания зависит только от накопительного наклона целикового блока, на котором размещено здание. Например, при установленной на площадке СДЗК I степени опасности по НП-064-17 после менее чем 100 лет эксплуатации крен здания достигнет предельно допустимого значения 0,001. С учетом значительного срока эксплуатации высотных зданий в России (70 и более лет) рекомендуется в районах высоких значений градиентов скорости СДЗК проводить мониторинг осадки и кренов высотных зданий с учетом СДЗК.

Ключевые слова: современные движения земной коры, объекты использования атомной энергии, градиент скорости, грунты основания, крен здания, высотные здания

Abstract: The impact of modern movements of the Earth's crust (MMEC) on nuclear energy facilities within its life cycle is being assessed only in Russia. An experience based regulatory framework has been developed that includes the assessment of MMEC impact on the site of nuclear facility. MMEC can lead to a tilting of the building placement site and make an additional contribution to the tilt of the building that has arisen due to uneven yield of the

building foundation and movements of the foundation soils. The tilt of the site due to the MMEC can amplify the total tilt, if the direction of the tilts coincides, or vice versa, compensate if the directions of the components of the total tilt are opposite. While siting a building on rocky soils, the tilt of the building depends only on the cumulative slope of the whole block on which the building is placed. For example, if we have hazard degree I for the site due to MMEC (in accordance with NP-064-17), after 100 years or less of operation, the tilt of the building could reach the threshold criteria of 0.001. Taking into account the long service lifetime of high-rise buildings in Russia (70 years or more), it is recommended to monitor the yield of the building foundation and tilt of high-rise buildings in areas of high values of MMEC's velocity gradients.

Keywords: modern movements of the Earth's crust, objects of atomic energy use, velocity gradient, foundation soils, building tilt, high-rise buildings

В России на основе многолетнего опыта размещения, сооружения и эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) разработана нормативная база, включающая учет воздействия современных движений земной коры (СДЗК) на площадке размещения ОИАЭ [1], [2], [3], [4].

Необходимость анализа и учета воздействия СДЗК на здания и сооружения ОИАЭ отражены в требованиях п. 3.7 НП-064-17 следующим образом: «Результаты анализа стойкости зданий, систем и элементов ОИАЭ должны содержать обоснования непревышения проектных пределов осадки и крена зданий и сооружений с учетом современных движений земной коры (поверхности) на площадке размещения». Указанное выше требование содержится только в Федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии РФ (ФНП).

Согласно требованиям ФНП значение предельно допустимого крена зданий и сооружений I категории ответственности по ядерной и радиационной безопасности составляет 0,001. Кроме того, считается, что если величина крена не превышает 0,001, то прочность и устойчивость несущих конструкций абсолютно жестких и относительно жестких типов сооружений, включая высотные здания, не нарушается и они эксплуатируются нормально [5].

Воздействие СДЗК на площадке размещения здания оценивается степенью опасности по последствиям воздействия на здания [3]. Согласно [3] определены три степени опасности воздействия на здания в зависимости от уровня значений градиента скорости СДЗК на площадке размещения здания (см. таблицу 1).

Таблица 1

Степень опасности СДЗК по последствиям воздействия на здания

Степень опасности по последствиям воздействия на здания	Градиент скорости СДЗК на площадке здания, 1/год	Изменение за 100 лет наклона (крена) целикового блока земной коры, на котором размещена площадка здания
I	10^{-5} и выше	1×10^{-3} и выше
II	от 10^{-8} до 10^{-5}	от 1×10^{-6} до 1×10^{-3}
III	менее 10^{-8}	менее 6×10^{-6}

Как видно из таблицы 1, воздействие СДЗК на целиковый блок земной коры, на котором размещено здание, носит «накопительный» характер, увеличивая наклон (крен)

последнего. В период строительства и в начале эксплуатации здания воздействие СДЗК I и II степени опасности незначительно и не влияет на крен здания, сформированный деформациями грунтов основания. Однако по прошествии 100 лет с момента строительства здания изменение наклона (крена) целикового блока земной коры, на котором размещена площадка здания, становится соизмеримым с предельно допустимыми значениями крена здания, образованного деформациями грунтов оснований. Например, нормативное предельно допустимое значение крена фундаментной плиты высотного здания составляет 0,001 [5]. Как видно из таблицы 2 и таблицы 3, наклон (крен) площадки размещения высотного здания за счет СДЗК может увеличить крен здания, образованный из-за деформации грунтов оснований, и превысить предельно допустимые значения последнего на 80% и более [6], [7].

Таблица 2

Оценка крена высотного здания за 100 лет эксплуатации с учетом СДЗК I степени опасности по НП-064-17

Грунты оснований здания	Крен здания, образованный деформациями грунтов основания, в % относительно предельно допустимого крена 0,001	Наклон (крен) целикового блока земной коры, на котором размещена площадка здания, образованный за 100 лет эксплуатации, в % относительно предельно допустимого крена 0,001	Суммарный крен здания относительно предельно допустимого значения 0,001 за 100 лет эксплуатации, %
Скальные	0	100 и более	100 и более
Полускальные	до 60	100 и более	160 и более
Осадочные	до 80	100 и более	180 и более

Таблица 3

Оценка крена высотного здания за 100 лет эксплуатации с учетом СДЗК II степени опасности по НП-064-17

Грунты основания высотного здания	Крен здания, образованный деформациями грунтов основания, в % относительно предельно допустимого крена 0,001	Наклон (крен) целикового блока земной коры, на котором размещена площадка здания, образованный за 100 лет эксплуатации, в % относительно предельно допустимого крена 0,001	Суммарный крен здания относительно предельно допустимого значения 0,001 за 100 лет эксплуатации, %
Скальные	0	от 1 до 100	от 1 до 100
Полускальные	до 60	от 1 до 100	от 61 до 160
Осадочные	до 80	от 1 до 100	от 81 до 180

Значения крена высотного здания с учетом СДЗК за 100 лет эксплуатации представлены в таблицах 2 и 3 в случае, если направление крена здания, образованного

4. В настоящее время специалистами ФБУ «НТЦ ЯРБ» прорабатывается вопрос включения в рекомендации МАГАТЭ требования по учету и мониторингу СДЗК на всех этапах жизненного цикла ОИАЭ, согласно НП-064-17.

1. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.

Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 19 октября 2001 г. № 9.

2. НП-032-19. Площадка атомной станции. Требования безопасности. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 июля 2019 г. № 287.

3. НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 ноября 2017 г. № 514.

4. НП-050-03. Размещение ядерных установок ядерного топливного цикла. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 31 декабря 2003 г. № 11.

5. Шеховцов Г.А. Геодезические работы при экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений: монография. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова. – Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2014. – 177 с.

6. Фихиева Л.М. Требования учета СДЗК в районах и на площадках размещения объектов использования атомной энергии / Л.М. Фихиева, А.А. Малофеев, В.В. Меньщикова // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы XIV международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2019. – 105 с.

7. Оценка степени опасности современных движений земной коры по последствиям воздействия на объекты использования атомной энергии на территории России / И.Ю. Лободенко, Л.М. Фихиева, Г.С. Гребенкин и др. // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: материалы докл. V Всеросс. конф. с междунар. участием. – М., 2020. – С. 446–449.