

## УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ И СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ (ПОВЕРХНОСТИ) НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Лободенко И.Ю., Фихиева Л.М., Бугаев Е.Г., Есенов А.В.

Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), г. Москва, Российская Федерация, [secnrs@secnrs.ru](mailto:secnrs@secnrs.ru), <http://www.secnrs.ru>

**Аннотация:** В России на основе многолетнего опыта размещения, сооружения и эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) разработана нормативная база по учёту и оценке влияния внешних природных воздействий. На площадке ОИАЭ устанавливается степень опасности по последствиям воздействия на здания и сооружения (ЗиС) ОИАЭ природных и техногенных процессов, явлений и факторов, включая современные вертикальные движения земной коры (поверхности) (СВДЗК(П)) и землетрясения. СВДЗК(П) могут приводить к наклону (крену) целикового блока, на котором размещен ОИАЭ и вносить дополнительный вклад в крен ЗиС, возникший вследствие неравномерной осадки и движений грунтов оснований. Превышение суммарного крена предельно допустимых нормативных значений оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние строительных конструкций зданий и сооружений, что может привести к снижению их несущей способности. Учет изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций зданий и сооружений осуществляется посредством динамического мониторинга частот, форм и логарифмических декрементов затуханий собственных колебаний строительных конструкций, важных для безопасности.

## ACCOUNT OF CHANGES IN THE STRESS STATE OF BUILDINGS AND STRUCTURES UNDER SEISMIC IMPACTS AND DUE TO THE MODERN VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST (SURFACE) AT VARIOUS STAGES OF THE NUCLEAR FACILITY LIFECYCLE

Lobodenko I.Yu., Fihieva L.M., Bugaev E.G., Esenov A.V.

SEC NRS, Moscow, Russia, [secnrs@secnrs.ru](mailto:secnrs@secnrs.ru), <http://www.secnrs.ru>

**Annotation:** In Russia, on the basis of many years of experience in the placement, construction and operation of nuclear energy facilities (NF), a regulatory framework has been developed for accounting and assessing the impact of external natural phenomena. At the site of the NF, the degree of danger is determined by the consequences of the impact on buildings and structures of the NF of natural and man-made processes, phenomena and factors, including modern vertical movements of the earth's crust (surface) (MVMEC) and earthquakes. MVMEC can lead to an inclination (roll) of the whole block on which the NF is placed and make an additional contribution to the inclination of the buildings and structures, which arose due to uneven precipitation and movements of the soil bases. Exceeding the total tilt of the maximum permissible regulatory values affects the stress-strain state of building structures, which can lead to a decrease in their bearing capacity. Accounting of changes in the stress-strain state of building structures of buildings is carried out through dynamic monitoring of frequencies, shapes and logarithmic decrements of attenuation of natural vibrations of building structures important for safety.

## АТОМДУК ЭНЕРГИЯНЫ ПАЙДАЛАНУУ ОБЪЕКТИЛЕРИНИН ЖАШОО ЦИКЛИНИН АР КАНДАЙ ЭТАПТАРЫНДА ЖЕР КЫРТЫШЫНЫН (БЕТИНИН) СЕЙСМИКАЛЫК ТААСИРЛЕРИНДЕ ЖАНА ЗАМАНБАП ВЕРТИКАЛДУУ КЫЙМЫЛДАРЫНДА ИМАРАТТАРДЫН ЖАНА КУРУЛМАЛАРДЫН ЧЫҢАЛГАН АБАЛЫНЫН ӨЗГӨРҮШҮН ЭСЕПКЕ АЛУУ

**Лободенко И.Ю., Фихиева Л.М., Бугаев Е.Г., Есенов А.В.**

*Ядролук жана радиациялык коопсуздук боюнча илимий-техникалык борбор" федералдык бюджеттик мекемеси ("НТЦ ЯРБ" ФБУ), Москва шаары, Россия Федерациясы, secnrs@secnrs.ru, <http://www.secnrs.ru>*

**Аннотация:** Кыскача: Атомдук энергияны пайдалануу объектилерин жайгаштыруу, куруу жана эксплуатациялоо боюнча көп жылдык тажрыйбанын негизинде Россияда тышкы табигый таасирлердин таасирин эсепке алуу жана баалоо боюнча ченемдик база иштелип чыккан. Атомдук энергияны пайдалануу объекттеринин аянтчасында Атомдук энергияны пайдалануу объекттеринин имараттарына жана курулмаларына табигый жана техногендик процесстердин, кубулуштардын жана факторлордун, анын ичинде жер кыртышынын (үстүңкү бетинин) жана жер титирөөлөрдүн учурдагы вертикалдуу кыймылдарынын таасири боюнча коркунучтуулук даражасы белгиленет. жер кыртышынын (бетинин) Заманбап вертикалдуу кыймылы атом энергиясын пайдалануу объекттери жайгашкан жана имараттардын жана курулмалардын роллуна бирдей эмес жаан-чачындан жана негиздердин кыртыштарынын кыймылынан келип чыккан кошумча салым кошкон целик блоктун жантайышына (тоголокко) алып келиши мүмкүн.

Жол берилген ченемдик маанилердин суммалык роллунан ашып кетүү имараттардын жана курулмалардын курулуш конструкцияларынын оор-деформацияланган абалына таасир этет, бул алардын көтөрүмдүүлүк жөндөмүнүн төмөндөшүнө алып келиши мүмкүн. Имараттардын жана курулмалардын курулуш конструкцияларынын чыңалган-деформацияланган абалынын өзгөрүшүн эсепке алуу коопсуздук үчүн маанилүү болгон курулуш конструкцияларынын өздүк термелүүсүнүн жыштыктарынын, формаларынын жана логарифмдик декременттеринин динамикалык мониторинги аркылуу ишке ашырылат.

В России действует обширная нормативная база по учёту и оценке влияния внешних природных воздействий, включая геодинамические процессы, на всех этапах жизненного цикла ОИАЭ [1], [2], [3], [4]. Данная нормативная база была сформирована на основе многолетнего опыта размещения, сооружения и эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ).

На этапе инженерных изысканий на площадке ОИАЭ: - устанавливается степень опасности по последствиям воздействия на здания и сооружения (ЗиС) ОИАЭ природных и техногенных процессов, явлений и факторов, включая землетрясения и современные вертикальные движения земной коры (поверхности) СВДЗК(П); - определяются параметры колебаний грунта на поверхности и на уровне подошвы фундаментов сооружений ([3], приложение № 6); - определяются фоновые значения вектора градиента скорости СВДЗК(П) на площадке, его величина и направление.

В проекте ОИАЭ учитываются параметры внешних воздействий землетрясений

(любого генезиса), СВДЗК(П), а также взаимообусловленное влияние последних на безопасность ОИАЭ ([3], требование п. 2.9). В проекте ОИАЭ принимаются и обосновываются технические и организационные меры, обеспечивающие безопасность ОИАЭ с учетом параметров внешних воздействий землетрясений (любого генезиса), СВДЗК(П), а также взаимообусловленного влияния последних на безопасность ОИАЭ.

*При сооружении ОИАЭ* реализуются технические и организационные меры, обеспечивающие безопасность ОИАЭ с учетом принятых в проекте ОИАЭ воздействий землетрясений (любого генезиса), СВДЗК(П), а также взаимообусловленного влияния последних на безопасность ОИАЭ.

*При эксплуатации и выводе ОИАЭ из эксплуатации* обеспечивается контроль принятых в проекте ОИАЭ параметров воздействий землетрясений (любого генезиса), СВДЗК(П), а также взаимообусловленного влияния последних на безопасность ОИАЭ. По результатам контроля обеспечивается реализация технических и организационных мер, обеспечивающих безопасность ОИАЭ.

Градиент скорости СВДЗК(П) приводит к наклону (крену) площадки размещения ОИАЭ и, тем самым вносится дополнительный вклад в крен зданий и сооружений, возникший вследствие неравномерной осадки грунтов оснований [7], [8]. Суммирование этих двух кренов происходит как сложение двух векторов. Максимальный крен здания или сооружения ОИАЭ возникает при одинаковых направлениях наклона (крена) площадки размещения ОИАЭ за счет СВДЗК(П) и крена фундамента здания или сооружения (ЗиС) за счет неравномерной осадки грунтов основания. И наоборот, если направления составляющих суммарного крена противоположны, то наклон (крен) площадки размещения ОИАЭ за счет СВДЗК(П) компенсирует крен ЗиС ОИАЭ, возникший вследствие неравномерной осадки грунтов основания. Воздействие СВДЗК(П) на целиковый блок земной коры, на котором размещается ОИАЭ, носит «накопительный» характер, увеличивая наклон (крен) последнего (см. таблицу 1).

*Таблица 1. Изменение наклона (крена) целикового блока земной коры в зависимости от градиента скорости СВДЗК(П).*

Степень опасности по последствиям воздействия на ОИАЭ	Градиент скорости СВДЗК(П) в пределах целикового блока земной коры, на котором размещена площадка ОИАЭ, 1/год.	Изменение наклона (крена) целикового блока земной коры, на котором размещена площадка ОИАЭ за 60 лет
I	$10^{-5}$ и выше	$6 \cdot 10^{-4}$ и выше
II	от $10^{-8}$ до $10^{-5}$	от $6 \cdot 10^{-7}$ до $6 \cdot 10^{-4}$
III	менее $10^{-8}$	менее $6 \cdot 10^{-7}$

В проекте ОИАЭ учитывается «накопительный» характер наклона (крена) площадки размещения ОИАЭ вследствие градиента скорости СВДЗК(П) и отмечается время, когда значение суммарного крена достигнет предельно допустимых нормативных значений.

На стадии строительства по результатам геодезического мониторинга определяются значения и направления кренов фундаментов ЗиС ОИАЭ. Тем самым для каждого ЗиС ОИАЭ уточняется значение и направление суммарного крена с учетом градиента скорости СВДЗК(П) на площадке и оценивается неперевышение суммарным креном расчетных проектных и предельно допустимых нормативных значений ([3], требование п. 3.7). Следует отметить, что точность определения направления градиента скорости СВДЗК(П) на площадке размещения ОИАЭ (точность определения направления наклона (крена) целикового блока земной коры, на котором размещена площадка ОИАЭ) является определяющим при анализе и учёте воздействия СВДЗК(П) на ЗиС ОИАЭ.

На стадии эксплуатации и вывода из эксплуатации ОИАЭ контроль неперевышения проектных предельно допустимых значений крена ЗиС ОИАЭ осуществляется при совместном рассмотрении результатов мониторинга СВДЗК(П) на площадке и геодезического мониторинга осадки и кренов фундаментов ЗиС ОИАЭ ([3], требование пп 6.2 и 6.3)

Как видно из таблицы 2, наклон (крен) площадки размещения ОИАЭ за счет СВДЗК(П) может увеличить крен ЗиС, образованный из-за деформации грунтов оснований, и, тем самым, крен ЗиС ОИАЭ с учетом СВДЗК(П) может превысить предельно допустимые значения до 40% [6].

Таблица 2. Оценка крена ЗиС ОИАЭ с учетом СВДЗК(П) I и II степени опасности по [3] после 60 лет эксплуатации ОИАЭ, в % относительно предельно допустимого крена 0,001

Грунты оснований ЗиС ОИАЭ	Крен ЗиС ОИАЭ, образованный деформациями грунтов оснований, %	Крен целикового блока земной коры, на котором размещена площадка ОИАЭ, %		Крен ЗиС ОИАЭ с учетом СВДЗК(П) (направления кренов совпадают), %	
		I степени опасности	II степени опасности	I степени опасности	II степени опасности
Скальные	0	60 и более	0,6-59	60 и более	0,6-59
Полускальные	до 60			<b>120 и более</b>	<b>60,6-119</b>
Осадочные	до 80			<b>140 и более</b>	<b>80,6-139</b>

Превышение проектных и нормативных значений осадок и кренов оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние (далее - НДС) строительных конструкций зданий и сооружений, что может привести к снижению их несущей способности ([5], п.3.12 и 3.13) и необходимости разработки и выполнения компенсирующих мероприятий.

При эксплуатации и выводе из эксплуатации ОИАЭ с целью обеспечения безопасности ОИАЭ проводится динамический (вибродинамический) мониторинг частот, форм и логарифмических декрементов затуханий собственных колебаний строительных конструкций ЗиС, важных для безопасности, с целью сравнения с принятыми в проекте динамическими характеристиками. Особенно актуальным является контроль динамических характеристик для строительных конструкций, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии, в соответствии с ([5], п. 6.3.2). Учет изменения НДС строительных конструкций ЗиС, осуществляемый посредством динамического мониторинга основан на взаимосвязи деформационных характеристик с динамическими характеристиками строительных конструкций.

### **Заключение**

1. СВДЗК(П) могут приводить к наклону (крену) целикового блока, на котором размещен ОИАЭ и вносить дополнительный вклад в крен ЗиС, возникший вследствие неравномерной осадки и движений грунтов оснований.

2. Крен целикового блока за счет СВДЗК(П) может усугублять суммарный крен, если направление кренов совпадает, или наоборот компенсировать, если направления составляющих суммарного крена противоположны.

3. При превышении суммарного крена предельно допустимых нормативных значений необходимо учитывать изменение напряженно-деформированного состояния строительных конструкций зданий и сооружений посредством динамического мониторинга частот, форм и логарифмических декрементов затуханий собственных колебаний строительных конструкций, важных для безопасности.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. НП-031-01. *Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 19 октября 2001 г. № 9. Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 8 ноября 2001 г. № 10.*
2. НП-032-19. *Площадка атомной станции. Требования безопасности. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 9 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. *ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2012 № 1984-ст.*
6. **Фихиева Л.М., Малофеев А.А., Меньщикова В.В.** *Требования учета СДЗК в районах и на площадках размещения объектов использования атомной энергии», ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск – 2019, ISBN 978-5-903258-39-0, с.105. Материалы XIV международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» (Республика Молдова, 9-13 сентября 2019 г.).*
7. **Лободенко И.Ю., Фихиева Л.М., Гребенкин Г.С., Малофеев А.А., Меньщикова В.В.** *Оценка степени опасности современных движений земной коры по последствиям воздействия на объекты использования атомной энергии на территории России. Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием – М.: ИФЗ. 2020, с. 446.*
8. **Лободенко И.Ю., Фихиева Л.М., Малофеев А.А., Меньщикова В.В.** *Учет современных движений земной коры при проектировании и строительстве высотных зданий. (Сочи, 2021.г.) Тезисы XIV Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). С. 62-68., УДК 621.039:624.131.1:528.48*