ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА

в области использования атомной энергии

# НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

## НП – 031 – 01

НТЦ ЯРБ

gost.e-ecolog.ru

Федеральный надзор России
по ядерной и радиационной безопасности
(Госатомнадзор России)

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА
В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

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

# НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

## НП-031-01

Введены в действие
с 1 января 2002 г.

Москва 2001

УДК 621.039

# НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ. НП-031-01

**Госатомнадзор России**
**Москва, 2001**

Настоящие федеральные нормы и правила устанавливают требования к обеспечению безопасности наземных атомных станций с реакторами всех типов при сейсмических воздействиях, определению категории сейсмостойкости элементов атомных станций, назначению параметров сейсмических воздействий, обеспечению сейсмостойкости строительных конструкций и оснований сооружений атомных станций, технологического, электротехнического оборудования, средств автоматизации и связи.

Настоящие правила выпускаются взамен федеральных норм и правил в области использования атомной энергии "Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций". ПН АЭ Г-5-006-87.

При пересмотре правил учтены положения федеральных законов "Об использовании атомной энергии", "О радиационной безопасности населения", требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, а также комплект карт "Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации" (ОСР-97) и рекомендации руководств МАГАТЭ (№ 50-SG-D15, Вена, 1992 г. и № 50-SG-S1 (rev. 1), Вена, 1994 г.).

Правила пересмотрены авторским коллективом в составе: Е.Г. Бугаев, В.Г. Бедняков, А.М Букринский, И.В. Калиберда, В.Н. Коробкин, И.М. Лавров, С.С. Нефедов, П.В. Туляков, Л.М. Фихиева (НТЦ ЯРБ), А.Н. Бирбраер (СПб АЭП), М.Л. Клоницкий (АЭП).

С введением в действие настоящих правил утрачивают силу Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. ПН АЭ Г-5-006-87.

## СОДЕРЖАНИЕ


Перечень сокращений ..... 3
Перечень условных обозначений ..... 4
Основные термины и определения ..... 5
1. Назначение и область применения ..... 7
2. Основные положения ..... 8
3. Определение сейсмичности района размещения и площадки АС ..... 12
4. Строительные конструкции и основания ..... 14
5. Технологическое оборудование и трубопроводы ..... 18
6. Электротехническое и контрольно-измерительное оборудование, средства автоматизации и связи ..... 23
7. Антисейсмические предупредительные и защитные мероприятия ..... 25
**Приложение 1.** Учет грунтовых условий при определении сейсмичности площадки АС ..... 25
**Приложение 2.** Типовая программа работ по уточнению геодинамических и сейсмических условий площадки АС ..... 28
**Приложение 3.** Стандартные сейсмические воздействия..... 37
**Приложение 4.** Определение усилий в элементах строительных конструкций при расчете линейно-спектральным методом ..... 40
**Приложение 5.** Основные положения расчета сейсмостойкости резервуаров с жидкостью ..... 43
**Приложение 6.** Основные положения расчета линейно-протяженных конструкций ..... 46


## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АС – атомная станция
ВОЗ – возможный очаг землетрясений
МРЗ – максимальное расчетное землетрясение
MSK-64 – шкала сейсмической интенсивности Медведева-Шпонхойера-Карника
ННЭ – нарушение нормальной эксплуатации
НЭ – нормальная эксплуатация
ОСР – общее сейсмическое районирование
ОСР-97 – комплект карт "Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации", утвержденных Российской академией наук
ПА – проектная авария
ПЗ – проектное землетрясение
СМР – сейсмическое микрорайонирование

ТЭО – технико-экономическое обоснование
УОСР – уточнение общего сейсмического районирования

## Перечень условных обозначений

$A$ – площадь поперечного сечения элемента конструкции

$E$ – модуль упругости материала

$I$ – момент инерции поперечного сечения элемента конструкции

$J$ – интенсивность сейсмическая

$N_i$ – усилие в элементе от сейсмического воздействия по *i*-й координате

$R$ – расчетное сопротивление

$T_i$ – период *i*-й формы собственных колебаний сооружения

$a_i$ – сейсмическое ускорение по *i*-й координате

$g$ – ускорение свободного падения

$p$ – вероятность случайной величины

$\delta$ – логарифмический декремент колебаний

$\sigma$ – расчетные напряжения

$(\sigma_S)1$ – группа приведенных общих мембранных напряжений с учетом сейсмических воздействий

$(\sigma_S)2$ – группа приведенных мембранных и общих изгибных напряжений с учетом сейсмических воздействий

$(\sigma_S)3w$ – группа приведенных напряжений растяжения в болтах или шпильках с учетом сейсмических воздействий

$(\sigma)4w$ – группа приведенных напряжений в болтах или шпильках с учетом сейсмических воздействий

$(\sigma_S)_S$ – напряжения смятия с учетом сейсмических воздействий

$(\tau_S)_S$ – касательные напряжения среза с учетом сейсмических воздействий

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Акселерограмма** – зависимость ускорения колебаний от времени.

**Акселерограмма аналоговая (подобранная)** – акселерограмма, зарегистрированная при реальном землетрясения и принятая для расчета на сейсмостойкость с учетом ее соответствия сейсмотектоническим и грунтовым условиям площадки АС.

**Акселерограмма землетрясения** – акселерограмма на свободной поверхности грунта при землетрясении.

**Акселерограмма ответная** – акселерограмма конструкции, определяемая из расчета вынужденных колебаний при сейсмическом воздействии.

**Акселерограмма поэтажная** – ответная акселерограмма для отдельных высотных отметок сооружения, на которых установлено оборудование.

**Акселерограмма синтезированная** – акселерограмма, полученная аналитическим путем на основе статистической обработки и анализа ряда акселерограмм и (или) спектров реальных землетрясений с учетом местных сейсмических условий.

**Вибропрочность элемента** – способность элемента АС сохранять прочность во время и после воздействия вибрации.

**Виброустойчивость элемента** – способность элемента АС выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах значений, указанных в стандартах и технических условиях на изделия, в условиях воздействия вибрации в заданных режимах.

**Геодинамическая зона** – область сочленения двух тектонических блоков земной коры, в пределах которой установлены относительные перемещения на неотектоническом и четвертичном этапах развития.

**Геодинамические условия** – положение АС относительно геодинамических зон.

**Динамический метод анализа** – метод расчета на воздействие в форме акселерограмм колебаний грунта в основании сооружения путем численного интегрирования уравнений движения.

**Линейно-спектральный метод анализа** – метод расчета на сейсмостойкость, в котором значения сейсмических нагрузок

определяются по спектрам ответа в зависимости от частот и форм собственных колебаний конструкции.

**Максимальное расчетное землетрясение** – землетрясение максимальной интенсивности на площадке АС с повторяемостью один раз в 10 000 лет.

**Нарушение нормальной эксплуатации АС** – нарушение в работе АС, при котором произошло отклонение от установленных эксплуатационных пределов и условий.

**Нормальная эксплуатация АС** – эксплуатация АС в определенных проектом эксплуатационных пределах и условиях.

**Осциллятор линейный** – линейная колебательная система с одной степенью свободы, характеризуемая определенным периодом собственных колебаний и затуханием.

**Площадка АС** – территория в пределах охраняемого периметра, на которой размещаются основные и вспомогательные здания и сооружения АС.

**Проектная авария** – авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие с учетом принципа единичного отказа системы безопасности или одной независимой от исходного события ошибки работников (персонала) ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.

**Проектное землетрясение** – землетрясение максимальной интенсивности на площадке АС с повторяемостью один раз в 1000 лет.

**Район размещения АС** – территория, включающая площадку АС, на которой возможны сейсмические явления, способные оказать влияние на безопасность АС.

**Сейсмичность площадки АС** – интенсивность возможных сейсмических воздействий ПЗ и МРЗ на площадке АС, измеряемая в баллах по шкале MSK-64.

**Сейсмологические исследования для АС** – комплекс работ по УОСР района и СМР конкурентных площадок для уточнения сейсмичности района, устанавливаемой по картам ОСР, и определения параметров ПЗ и МРЗ.

**Сейсмическое микрорайонирование** – комплекс специальных работ по прогнозированию влияния особенностей приповерхностного строения, свойств и состояния пород, характера их обводненности, рельефа на параметры колебаний грунта площадки.

Примечание. Под приповерхностной частью разреза понимается верхняя толща пород, существенно влияющая на приращение интенсивности землетрясения.

**Сейсмостойкость элементов АС** – свойство элементов АС сохранять при землетрясении способность выполнять заданные функции в соответствии с проектом.

**Спектр коэффициентов динамичности** – безразмерный спектр, полученный делением значений спектра ответа на максимальное ускорение грунта.

**Спектр ответа (реакции)** – совокупность абсолютных значений максимальных ответных ускорений линейного осциллятора при заданном акселерограммой воздействии с учетом собственной частоты и параметра демпфирования осциллятора.

**Спектр ответа поэтажный** – совокупность абсолютных значений максимальных ответных ускорений линейного осциллятора при заданном поэтажной акселерограммой воздействии.

**Спектр ответа (реакции) обобщенный** – спектр, полученный по результатам обработки спектров ответа для набора реальных (аналоговых) акселерограмм, соответствующий заданной вероятности превышения

**Уточнение ОСР** – комплекс геолого-геофизических, геодинамических и сейсмологических работ по выявлению геодинамических зон, активных разломов, зон ВОЗ и определению их параметров; обоснованию размещения площадки АС в пределах однородного блока земной коры, не нарушенного активными разломами, уточнению сейсмичности района и определению параметров ПЗ и МРЗ на площадке АС для средних грунтов.

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

**1.1.** Настоящий документ разработан с учетом Федерального закона "Об использовании атомной энергии", Общих положений обеспечения безопасности атомных станций, других федеральных норм и правил в области использования атомной энергии.

**1.2.** Настоящий документ предназначен для АС, проекты которых на момент его введения не утверждены. Сроки и объемы приведения в соответствие с настоящим документом строящихся и действующих АС определяются в каждом конкретном случае в порядке, установленном органами государственного регулирования безопасности.

**1.3.** Настоящий документ устанавливает требования к обеспечению безопасности при сейсмических воздействиях наземных АС с реакторами всех типов.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**2.1.** Проект АС должен включать:

- данные о сейсмичности площадки АС для проектных основ;
- расчеты сейсмостойкости строительных конструкций и оснований зданий и сооружений АС, поэтажные акселерограммы и спектры ответа на отметках опирания технологического оборудования I и II категории сейсмостойкости;
- расчеты и (или) экспериментальное обоснование сейсмостойкости технологического и электротехнического оборудования, средств автоматизации и связи с учетом поэтажных акселерограмм и спектров ответа;
- разработку и обоснование антисейсмических предупредительных и защитных мероприятий.

**2.2.** Для АС устанавливается сейсмичность площадки, соответствующая ПЗ и МРЗ, в отношении которых должны выполняться требования сейсмостойкости систем и элементов АС.

**2.3.** МРЗ и ПЗ должны характеризоваться средним значением и стандартным отклонением балльности и параметров сейсмического воздействия: максимальных ускорений, периода и длительности фазы интенсивных колебаний, а также набором аналоговых или синтезированных акселерограмм и спектров ответа, моделирующих характерные типы сейсмических воздействий на площадке АС.

**2.4.** В соответствии с требованиями Общих положений обеспечения безопасности атомных станций сейсмостойкая АС должна обеспечивать безопасность при сейсмических воздействиях до МРЗ включительно и выработку (выдачу) электрической и тепловой энергии вплоть до уровня ПЗ включительно.

Примечание. Требование сейсмостойкости АС в части выдачи энергии и тепла может уточняться заказчиком АС.

**2.5.** Сейсмичность площадки АС и параметры сейсмических воздействий должны определяться на основе сейсмологических исследований с учетом конкретных геодинамических, сейсмотектонических, сейсмологических, грунтовых и гидрогеологических условий в соответствии с приложениями 1 и 2.

**2.5.1.** На стадии обоснования инвестиций и при разработке проектов унифицированных блоков АС допускается использовать значения стандартных сейсмических воздействий в соответствии с приложением 3.

**2.5.2.** На стадии ТЭО (проекта) расчеты сейсмостойкости АС следует выполнять с учетом параметров ПЗ и МРЗ, установленных для конкретных геодинамических, сейсмотектонических, сейсмологических, грунтовых и гидрогеологических условий размещения АС.

**2.5.3.** При реконструкции (или продлении срока эксплуатации) АС поверочные расчеты сейсмостойкости следует выполнять с учетом возможных изменений природных и грунтовых условий в процессе строительства и эксплуатации АС.

**2.6.** Здания, сооружения, строительные конструкции и основания, технологическое и электротехническое оборудование, трубопроводы, приборы, другие системы и элементы АС в зависимости от степени их ответственности для обеспечения безопасности при сейсмических воздействиях и работоспособности после прохождения землетрясения должны быть классифицированы на три категории сейсмостойкости с учетом их класса безопасности согласно требованиям Общих положений обеспечения безопасности атомных станций:

**2.6.1.** К I категории сейсмостойкости относятся:

- элементы АС классов безопасности 1 и 2 согласно Общим положениям обеспечения безопасности атомных станций;
- системы безопасности;
- системы нормальной эксплуатации и их элементы, отказ которых при сейсмических воздействиях до МРЗ включительно может привести к выходу радиоактивных веществ в производственные помещения АС и окружающую среду в количествах, превышающих значения, установленные действующими Нормами радиационной безопасности для проектной аварии;
- здания, сооружения и их основания, оборудование и их элементы, механическое повреждение которых при сейсмических воздействиях до МРЗ включительно путем силового или температурного воздействия на вышеупомянутые элементы и системы может привести к их отказу в работе;

- прочие системы и элементы, отнесение которых к I категории сейсмостойкости обосновано в проекте и одобрено в установленном порядке.

**2.6.2.** Ко II категории сейсмостойкости должны быть отнесены системы АС и их элементы (не вошедшие в I категорию), нарушение работы которых в отдельности или в совокупности с другими системами и элементами может повлечь перерыв в выработке электроэнергии и тепла, а также системы и элементы класса безопасности 3, которые не отнесены к I категории сейсмостойкости.

**2.6.3.** К III категории сейсмостойкости должны быть отнесены все остальные здания, сооружения и их основания, конструкции, оборудование и их элементы, не отнесенные к категориям сейсмостойкости I и II.

**2.7.** Элементы одной системы могут быть отнесены к разным категориям сейсмостойкости с проведением специальных мероприятий по их разделению (отсечная, регулирующая арматура и т.п.). Применяемые для разделения элементы и узлы относятся к более высокой категории сейсмостойкости.

**2.8.** Элементы АС должны проектироваться таким образом, чтобы отказ элементов низшей категории сейсмостойкости не приводил к отказу в работе или разрушению элементов более высокои категории сейсмостойкости.

**2.9.** Элементы АС I категории сейсмостойкости должны:

- сохранять способность выполнять функции, связанные с обеспечением безопасности АС, во время и после прохождения землетрясения интенсивностью до МРЗ включительно;
- сохранять работоспособность при землетрясении интенсивностью до ПЗ включительно и после его прохождения.

**2.10.** Элементы АС II категории сейсмостойкости должны сохранять работоспособность после прохождения землетрясения интенсивностью до ПЗ включительно.

**2.11.** В проекте АС должна быть предусмотрена проверка работоспособности элементов АС I и II категорий сейсмостойкости и технические меры по восстановлению их сейсмостойкости после прохождения землетрясений интенсивностью ПЗ.

**2.12.** Проектирование элементов АС III категории сейсмостойкости следует выполнять в соответствии с действующими

нормативными документами, требования которых распространяются на гражданские и промышленные объекты.

**2.13.** Расчеты систем и элементов АС I категории сейсмостойкости на сейсмические воздействия должны быть выполнены при одновременном учете сейсмической нагрузки по трем пространственным компонентам. Для зданий и сооружений II категории сейсмостойкости допускается учет сейсмического воздействия по компонентам раздельно.

**2.14.** Расчет систем и элементов АС I и II категорий сейсмостойкости на сейсмические воздействия следует выполнять в соответствии с настоящим документом, а также другими нормативными документами, устанавливающими требования к расчету сейсмостойкости и распространяющимися на системы и элементы АС.

**2.15.** При расчете систем и элементов АС I и II категорий сейсмостойкости на сейсмические воздействия параметры затухания колебаний (логарифмические декременты колебаний) должны приниматься на основе специальных обоснований. В случае отсутствия данных значения логарифмических декрементов колебаний допускается принимать по табл. 2.1.

**Таблица 2.1**

**Логарифмические декременты колебаний строительных конструкций и трубопроводов**

| Вид конструкции | Логарифмический декремент колебаний $\delta$ при значениях расчетных напряжений $\sigma$ в зависимости от расчетных сопротивлений материала конструкции $R$ | |
|---|---|---|
| | $\sigma = 0{,}67R$ | $\sigma \geq 0{,}9R$ |
| Железобетонные конструкции обычные | 0,25 (4) | 0,44 (7) |
| Железобетонные конструкции преднапряженные | 0,12 (2) | 0,31 (5) |
| Стальные конструкции сварные | 0,12 (2) | 0,25 (4) |
| Стальные конструкции на болтах | 0,25 (4) | 0,44 (7) |

| Вид конструкции | Логарифмический декремент колебаний $\delta$ при значениях расчетных напряжений $\sigma$ в зависимости от расчетных сопротивлений материала конструкции $R$ | |
|---|---|---|
| Оборудование и трубопроводные системы большого диаметра (> 300 мм) | 0,12 (2) | 0,19 (3) |
| Оборудование и трубопроводные системы малого диаметра (≤ 300 мм) | 0,06 (1) | 0,12 (2) |

Примечания.

1. В скобках приведены рекомендуемые значения затухания колебаний в процентах от критического.

2. В интервале значений расчетных напряжений $\sigma$ от $0,67R$ до $0,9R$ значения логарифмического декремента колебаний $\delta$ допускается принимать по интерполяции.

**2.16.** При расчете систем и элементов АС допускается не учитывать нагрузки НЭ и ННЭ в сочетании с сейсмическими нагрузками МРЗ, если вероятность их реализации не превышает $10^{-3}$.

**2.17.** Для вновь проектируемых АС независимо от сейсмичности площадки сейсмические ускорения, соответствующие МРЗ, должны приниматься не менее $0,1g$. Сейсмические ускорения, соответствующие ПЗ, должны приниматься не менее $0,05g$.

## 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ И ПЛОЩАДКИ АС

**3.1.** На первой стадии разработки ТЭО (обоснование инвестиций) сейсмичность района размещения АС допускается устанавливать по ОСР-97 для грунтов II категории по сейсмическим свойствам (средних грунтов). Сейсмичность площадки следует определять по сейсмичности района с учетом конкретных грунтов площадки с использованием приложения 1.

Примечание. Сейсмичность района для средних грунтов допускается принимать на основе комплекта карт ОСР-97, утвержденных Российской академией наук:

для ПЗ – по карте ОСР-97-B;

для МРЗ – по карте ОСР-97-D.

**3.2.** На стадии разработки ТЭО (проекта) сейсмичность площадки АС и параметры ПЗ и МРЗ должны определяться на основе сейсмологических исследований для АС в соответствии с требованиями пп. 3.3-3.7 настоящего документа и рекомендациями приложений 1 и 2 .

**3.3.** УОСР района размещения АС с учетом конкретных геодинамических, сейсмотектонических и сейсмологических условий:

**3.3.1.** Для АС, расположенных в пределах зон интенсивности землетрясений более 6 баллов по карте ОСР-97-В, должно выполняться с учетом рекомендаций приложения 2.

**3.3.2.** Для АС, расположенных в пределах зон интенсивности землетрясений 6 баллов и менее по карте ОСР-97-В, допускается выполнять на основе анализа фондовых сейсмологических, геолого-геофизических и геодинамических материалов с применением полевых исследований в сокращенном объеме.

Примечание. В случае если интенсивность МРЗ, установленная по результатам анализа фондовых материалов, превысит 7 баллов для средних грунтов, УОСР района должно выполняться на основе сейсмологических исследований для АС с учетом рекомендаций приложения 2.

**3.4.** Сейсмичность площадки для отдельных зданий и сооружений АС должна определяться по данным СМР с учетом УОСР района размещения АС.

Примечание. В зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий сейсмичность площадки для разных зданий и сооружений одной категории сейсмостойкости может быть различной.

**3.5.** Для зон интенсивности землетрясений 6 баллов и менее по карте ОСР-97-В из комплекса исследований по СМР допускается исключать инструментальную регистрацию колебаний грунтов при землетрясениях.

**3.6.** Сейсмичность площадки АС и параметры ПЗ и МРЗ должны определяться с учетом совместного анализа результатов работ по УОСР района размещения АС и СМР площадки АС с учетом данных об исходных сейсмических воздействиях на площадке АС.

**3.7.** Результаты работ по УОСР района размещения АС и СМР площадки АС для разработки ТЭО (проекта) должны включать:

- карты-схемы геодинамических зон и активных разломов района размещения АС и площадки АС;
- карты-схемы зон ВОЗ района размещения АС;

- карты-схемы СМР площадки АС для естественных и техногенно измененных условий;
- пояснительные записки к картам-схемам геодинамических зон и активных разломов, зон ВОЗ, СМР;
- параметры ПЗ и МРЗ, включая интенсивность, максимальные ускорение (скорость, перемещение), период и длительность сейсмических колебаний, спектры реакции (ответа) и акселлерограммы землетрясений при характерных типах сейсмических воздействий для естественных грунтовых условий и с учетом их возможных техногенных изменений.

**3.8.** В период строительства и эксплуатации АС должен осуществляться сейсмический, геотехнический и геодинамический контроль стабильности природной среды на основе мониторинговых (режимных) наблюдений в районе размещения АС и на площадке АС.

## 4. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ОСНОВАНИЯ

**4.1.** Строительные конструкции, здания, сооружения АС и их основания I и II категорий сейсмостойкости должны соответствовать положениям настоящего документа, требованиям строительных норм и правил, иных нормативных документов, регламентирующих проектирование зданий и сооружений АС.

**4.2.** В проекте АС должны предусматриваться компоновочные и конструктивные решения, обеспечивающие повышение сейсмостойкости важных для безопасности строительных конструкций, зданий и сооружений АС, в том числе:

- зданиям и сооружениям следует придавать простую симметричную форму в плане с расположением центра жесткости здания (сооружения) вблизи его центра масс;
- протяженные строительные конструкции, здания и сооружения, а также части зданий с перепадом высот более 5 м следует, как правило, разделять антисейсмическими швами;
- в пределах участка между антисейсмическими швами основные несущие конструкции зданий и сооружений следует, как правило, выполнять непрерывными по высоте и в плане.

**4.3.** При проведении расчетов строительных конструкций, зданий и сооружений АС на сейсмические воздействия следует выполнять:

- определение параметров колебаний и напряженно-деформированного состояния здания, сооружения, их внутренних конструкций и фундаментов с учетом демпфирования и взаимодействия с основанием;
- расчеты поэтажных акселерограмм и поэтажных спектров ответа с учетом взаимодействия здания, сооружения с основанием;
- определение прочности элементов конструкций, опорных узлов и закладных деталей с учетом характеристик прочности конструкционных материалов при динамических нагрузках.

**4.4.** Сейсмические нагрузки при расчете строительных конструкций, зданий и сооружений АС должны учитываться в составе сочетаний нагрузок, регламентированных строительными нормами и правилами.

Технологические нагрузки должны учитываться в сочетаниях с сейсмическими нагрузками в соответствии с табл. 4.1.

**Таблица 4.1**

**Сочетания нагрузок при расчете строительных конструкций на сейсмические воздействия**

| Категория сейсмостойкости | Номер сочетания нагрузок | Нагрузки и воздействия | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Технологические, соответствующие | | | Сейсмические | |
| | | НЭ | ННЭ | ПА | ПЗ | МРЗ |
| I | 1 | + | - | + | - | + |
| I | 2 | - | + | - | - | + |
| I | 3 | + | - | + | + | - |
| II | 4 | + | - | + | + | - |
| II | 5 | + | - | - | + | - |
| II | 6 | - | + | - | + | - |

Примечания.

1. Сочетание нагрузок № 1 применяется для конструкций, которые в соответствии с Правилами устройства и эксплуатации локализующих систем безопасности АС входят в состав герметичного ограждения.

2. Знак "+" означает необходимость включения данных нагрузок в соответствующее сочетание.

Знак "-" означает, что данные нагрузки не включаются в соответствующее сочетание.

**4.5.** Расчетная схема (модель) зданий и сооружений должна отражать существенные для оценки сейсмостойкости особенности геометрии конструкций, а также распределения масс и жесткостей.

**4.5.1.** При определении параметров колебаний и напряженно-деформированного состояния конструкций расчетную схему допускается принимать в виде системы с сосредоточенными массами. Сосредоточенные массы следует располагать в уровнях перекрытий, в местах опирания основного оборудования и в других характерных точках.

**4.5.2.** Для расчета поэтажных акселерограмм и спектров ответа зданий и сооружений допускается применять упрощенные динамически подобные стержневые модели. Жесткости стержней упрощенной модели для обеспечения динамического подобия должны приниматься эквивалентными жесткостям вертикальных строительных конструкций (колонн и стен) между отметками концентрации масс. Условием эквивалентности является равенство единичных перемещений узлов концентрации масс упрощенной модели и подробной пространственной модели сооружения.

Стены и колонны многоэтажных зданий в случае, если высота этажа не превышает его размера в плане, допускается моделировать с помощью сдвиговых стержней.

**4.5.3.** Расчетные модели зданий и сооружений должны отражать характер их взаимодействия с грунтом основания. При моделировании взаимодействия грунтового основания, фундамента и сооружения следует уделять внимание особенностям связей между ними и граничным условиям.

**4.5.4.** Модели оснований зданий и сооружений необходимо разрабатывать с учетом особенностей массива грунта (его слоистости, толщины и протяженности слоев, физических, упругопластических, вязких и инерционных свойств грунтов каждого слоя).

**4.6.** При оценке сейсмостойкости элементов строительных конструкций ориентацию горизонтальной составляющей сейсмического воздействия необходимо принимать по наиболее неблагоприятному для данного элемента направлению.

**4.7.** Вертикальная составляющая сейсмической нагрузки должна учитываться:

- для зданий (сооружений) I категории сейсмостойкости – как действующая одновременно с горизонтальными;
- для большепролетных конструкций II категории сейсмостойкости (мостов, эстакад, ферм покрытий, дисков междуэтажных перекрытий защитных оболочек) – как действующая раздельно с горизонтальными.

**4.8.** Расчет несущей способности оснований зданий и сооружений необходимо производить с учетом трех пространственных компонентов для наиболее неблагоприятной ориентации вектора сейсмического воздействия.

**4.9.** Напряженно-деформированное состояние строительных конструкций допускается определять линейно-спектральным методом с учетом рекомендаций приложений 4,5 и 6. Для зданий и сооружений I категории сейсмостойкости рекомендуется выполнять расчет динамическим методом с заданием воздействия в форме акселерограмм.

**4.9.1.** На стадии обоснования инвестиций при разработке унифицированных проектов АС для проведения предварительных расчетов, обосновывающих сейсмостойкость, рекомендуется использовать стандартные сейсмические воздействия, определяемые по приложению 3.

**4.9.2.** При привязке унифицированного проекта к площадке конкретной АС необходимо выполнять поверочные расчеты сейсмостойкости с учетом исходных сейсмических колебаний грунта этой площадки.

**4.10.** Для отметок опирания технологического оборудования I и II категорий сейсмостойкости необходимо выполнять расчет поэтажных акселерограмм и спектров ответа.

**4.11.** При определении параметров колебаний зданий и сооружений следует учитывать потери энергии в строительных конструкциях и основаниях.

Параметры затухания колебаний строительных конструкций (логарифмические декременты колебаний и др.) должны приниматься на основе специальных обоснований (натурных, модельных, экспериментальных и расчетных). В случае отсутствия данных значения логарифмических декрементов колебаний строительных конструкций допускается принимать по табл. 2.1.

Потери энергии в основании следует определять с учетом взаимодействия сооружения с основанием.

**4.12.** Оценку сейсмостойкости оснований зданий и сооружений следует выполнять с учетом зависимости физико-механических свойств грунта от его напряженного состояния.

**4.12.1.** *При оценке сейсмостойкости оснований зданий и* сооружений следует проверять устойчивость грунтов основания при амплитудных значениях опрокидывающего момента, а также динамическую устойчивость грунтов основания. Динамическая устойчивость несвязных водонасыщенных грунтов должна оцениваться на основе экспериментальных исследований.

**4.12.2.** *Для основания здания* реакторного отделения АС результатами расчетов должно быть показано непревышение критериев по кренам и осадкам при сейсмическом воздействии, установленных нормами проектирования оснований реакторных отделений АС.

**4.13.** Для АС, размещаемых в зонах сейсмичности с интенсивностью МРЗ более 7 баллов, обоснование сейсмостойкости зданий и сооружений должно подтверждаться прежним опытом эксплуатации, или испытаниями, натурными исследованиями, или исследованиями на моделях.

## 5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТРУБОПРОВОДЫ

**5.1.** Обоснование сейсмостойкости должно выполняться для *оборудования, трубопроводов и их опорных конструкций* I и II категорий сейсмостойкости.

**5.2.** Обоснование сейсмостойкости оборудования и трубопроводов при сейсмических воздействиях, заданных поэтажными акселерограммами и (или) поэтажными спектрами ответа, должно выполняться расчетными и (или) экспериментальными методами.

**5.3.** Обоснование сейсмостойкости оборудования и трубопроводов должно выполняться в соответствии с действующими нормативными документами и положениями настоящего документа.

Примечание. При различии категории сейсмостойкости для оборудования и трубопроводов, установленной по Нормам расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, и категории сейсмостойкости, определенной с учетом настоящего документа, необходимо принимать наивысшую категорию.

**5.4.** Сочетание нагрузок при обосновании сейсмостойкости оборудования, трубопроводов, их опорных конструкций, болтов и шпилек I и II категорий сейсмостойкости должно приниматься в соответствии с табл. 5.1 - 5.4.

**Таблица 5.1**

**Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для оборудования и трубопроводов**

| Категория сейсмостойкости | Сочетание нагрузок | Расчетная группа категорий напряжений | Допускаемое напряжение |
|---|---|---|---|
| I | НЭ+МРЗ | $(\sigma_s)$ 1<br>$(\sigma_s)$ 2 | 1,4 [σ]<br>1,8 [σ] |
| | ННЭ+МРЗ | $(\sigma_s)$ 1<br>$(\sigma_s)$ 2 | 1,4 [σ]<br>1,8 [σ] |
| | НЭ+ПА+ПЗ (МРЗ)* | $(\sigma_s)$ 1<br>$(\sigma_s)$ 2 | 1,4 [σ]<br>1,8 [σ] |
| | НЭ+ПЗ | $(\sigma_s)$ 1<br>$(\sigma_s)$ 2 | 1,2 [σ]<br>1,6 [σ] |
| | ННЭ+ПЗ | $(\sigma_s)$ 1<br>$(\sigma_s)$ 2 | 1,2 [σ]<br>1,6 [σ] |
| II | НЭ+ПЗ | $(\sigma_s)$ 1<br>$(\sigma_s)$ 2 | 1,5 [σ]<br>1,9 [σ] |
| | ННЭ+ПЗ | $(\sigma_s)$ 1<br>$(\sigma_s)$ 2 | 1,5 [σ]<br>1,9 [σ] |

* Для оборудования и трубопроводов, обеспечивающих функционирование герметичного ограждения.

Таблица 5.2

**Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для болтов и шпилек**

| Категория сейсмостойкости | Сочетание нагрузок | Расчетная группа категорий напряжений | Допускаемое напряжение |
|---|---|---|---|
| I | НЭ+МРЗ | $(\sigma_s)3w$ | $1{,}4\,[\sigma]_w$ |
| | | $(\sigma_s)4w$ | $2{,}2\,[\sigma]_w$ |
| | ННЭ+МРЗ | $(\sigma_s)3w$ | $1{,}4\,[\sigma]_w$ |
| | | $(\sigma_s)4w$ | $2{,}2\,[\sigma]_w$ |
| | НЭ+ПА+ПЗ (МРЗ)* | $(\sigma_s)3w$ | $1{,}4\,[\sigma]_w$ |
| | | $(\sigma_s)4w$ | $2{,}2\,[\sigma]_w$ |
| | НЭ+ПЗ | $(\sigma_s)3w$ | $1{,}2\,[\sigma]_w$ |
| | | $(\sigma_s)4w$ | $2{,}0\,[\sigma]_w$ |
| | ННЭ+ПЗ | $(\sigma_s)3w$ | $1{,}2\,[\sigma]_w$ |
| | | $(\sigma_s)4w$ | $2{,}0\,[\sigma]_w$ |
| II | НЭ+ПЗ | $(\sigma_s)3w$ | $1{,}5\,[\sigma]_w$ |
| | | $(\sigma_s)4w$ | $2{,}3\,[\sigma]_w$ |
| | ННЭ+ПЗ | $(\sigma_s)3w$ | $1{,}5\,[\sigma]_w$ |
| | | $(\sigma_s)4w$ | $2{,}3\,[\sigma]_w$ |

* Для болтов и шпилек, обеспечивающих функционирование герметичного ограждения.

**Таблица 5.3**

**Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения смятия**

| Категория сейсмостойкости | Сочетание нагрузок | Категория напряжений | Допускаемое напряжение |
|---|---|---|---|
| I | НЭ+МРЗ | $(\sigma_s)_s$ | 2,7 [σ] |
| | ННЭ+МРЗ | $(\sigma_s)_s$ | 2,7 [σ] |
| | НЭ+ПА+ПЗ (МРЗ)* | $(\sigma_s)_s$ | 2,7 [σ] |
| | НЭ+ПЗ | $(\sigma_s)_s$ | 2,5 [σ] |
| | ННЭ+ПЗ | $(\sigma_s)_s$ | 2,5 [σ] |
| II | НЭ+ПЗ | $(\sigma_s)_s$ | 3,0 [σ] |
| | ННЭ+ПЗ | $(\sigma_s)_s$ | 3,0 [σ] |

* Для оборудования, систем и элементов, обеспечивающих функционирование герметичного ограждения.

**Таблица 5.4**

**Сочетания нагрузок и допускаемые касательные напряжения среза**

| Категория сейсмостойкости | Сочетание нагрузок | Категория напряжений | Допускаемое напряжение | |
|---|---|---|---|---|
| | | | для болтов и шпилек | для элементов конструкций, кроме шпилек и болтов |
| I | НЭ+МРЗ | $(\tau_s)_s$ | 0,7 $[\sigma]_w$ | 0,7 [σ] |
| | ННЭ+МРЗ | $(\tau_s)_s$ | 0,7 $[\sigma]_w$ | 0,7 [σ] |
| | НЭ+ПА+ПЗ (МРЗ)* | $(\tau_s)_s$ | 0,7 $[\sigma]_w$ | 0,7 [σ] |

| Категория сейсмостойкости | Сочетание нагрузок | Категория напряжений | Допускаемое напряжение | |
|---|---|---|---|---|
| | | | для болтов и шпилек | для элементов конструкций, кроме шпилек и болтов |
| | НЭ+ПЗ | $(\tau_s)_S$ | 0,6 $[\sigma]_w$ | 0,6 $[\sigma]$ |
| | ННЭ+ПЗ | $(\tau_s)_S$ | 0,6 $[\sigma]_w$ | 0,6 $[\sigma]$ |
| II | НЭ+ПЗ | $(\tau_s)_S$ | 0,8 $[\sigma]_w$ | 0,8 $[\sigma]$ |
| | ННЭ+ПЗ | $(\tau_s)_S$ | 0,8 $[\sigma]_w$ | 0,8 $[\sigma]$ |

* См. сноску к табл. 5.3.

**5.5.** Допускаемые перемещения (прогиб, сдвиг, смещение и т.п.) должны определяться в зависимости от эксплуатационных условий для оборудования и трубопроводов (выбор зазоров, допускаемые перекосы и т.п.). Допускаемые перемещения для оборудования и трубопроводов должны определяться в зависимости от эксплуатационных условий (недопустимые соударения, недопустимые перекосы, разуплотнение герметичных стыков и т.п.).

**5.6.** Сейсмические нагрузки на оборудование и трубопроводы должны задаваться с учетом одновременного сейсмического воздействия по трем пространственным компонентам в виде спектров ответа и (или) акселерограмм для различных осей координат.

При обосновании сейсмостойкости оборудования и трубопроводов должны учитываться два вида сейсмических нагрузок:

- инерционные нагрузки, вызванные динамическими колебаниями системы при заданном сейсмическом воздействии;
- нагрузки, возникающие в результате относительного смещения опор оборудования и трубопроводов при сейсмическом воздействии.

**5.7**. При расчете оборудования и трубопроводов значения логарифмического декремента колебаний при отсутствии дополнительных данных принимать в соответствии с табл. 2.1.

**5.8**. Сейсмостойкость оборудования и трубопроводов должна обеспечиваться в соответствии с методиками действующих норм и правил в области использования атомной энергии. В случае отсутствия методик для конкретных элементов оборудования и трубопроводов проектирование должно сопровождаться обоснованием применяемых методик и критериев сейсмостойкости (прочности) с учетом сейсмических воздействий.

**5.9.** Для обоснования сейсмостойкости оборудования и трубопроводов должны применяться программные средства, имеющие аттестационный паспорт, выданный органами государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

**5.10**. При обосновании сейсмостойкости массивного оборудования должно учитываться влияние колебаний оборудования на его опорные элементы.

**5.11**. Расчеты сейсмостойкости протяженных элементов оборудования и трубопроводов должны выполняться с учетом различия в условиях сейсмического нагружения опорных конструкций с помощью поэтажных акселерограмм и спектров ответа, характерных для точек опирания опорных элементов оборудования.

**5.12**. При обосновании сейсмостойкости арматуры для оборудования и трубопроводов должны учитываться требования нормативного документа "Арматура оборудования и трубопроводов АЭС. Общие технические требования".

**5.13**. Сейсмостойкость оборудования I и II категорий сейсмостойкости, частично наполненного жидкостью, должна обосновываться с учетом гидродинамических воздействий при сейсмических колебаниях жидкости.

## 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И СВЯЗИ

**6.1.** Обоснование сейсмостойкости должно выполняться для электротехнического и контрольно-измерительного оборудования, средств автоматизации и связи, кабельных трасс, в

том числе для их опорных и конструктивных элементов (далее – изделия) I и II категорий сейсмостойкости.

**6.2.** Обоснование сейсмостойкости (виброустойчивости и вибропрочности) изделий должно выполняться экспериментальными и (или) расчетными методами.

**6.3.** Для подтверждения сейсмостойкости экспериментальным путем изделия должны испытываться на виброустойчивость и вибропрочность. Изделия I категории сейсмостойкости испытываются при воздействии реальных или гармонических нагрузок, эквивалентных сейсмическому воздействию при МРЗ, изделия II категории сейсмостойкости – при воздействии реальных или гармонических нагрузок, эквивалентных сейсмическому воздействию при ПЗ.

**6.4.** Изделия должны испытываться в собранном, закрепленном, отрегулированном и работоспособном состоянии в режиме, имитирующем рабочее состояние.

**6.5.** Если масса и габаритные размеры изделия не позволяют испытывать их в полном комплекте на испытательном оборудовании, то испытания допускается проводить по группам изделий или электротехнических панелей.

**6.6.** Параметры режимов нагрузок при испытаниях контролируются в основании крепления изделий. Способ крепления изделия на плите стенда должен быть аналогичен способу его крепления при эксплуатации.

**6.7.** Сейсмостойкость изделий должна обеспечиваться при сочетаниях нагрузок, приведенных в табл. 6.1.

**Таблица 6.1**

**Сочетания нагрузок для электротехнического и контрольно-измерительного оборудования, средств автоматизации и связи**

| Категория сейсмостойкости | Сочетания нагрузок |
|---|---|
| I | НЭ+МРЗ, ННЭ+МРЗ, НЭ+ПА+ПЗ(МРЗ)* |
| II | НЭ+ПЗ, ННЭ+ПЗ |

* Для электротехнического и контрольно-измерительного оборудования, средств автоматизации и связи, обеспечивающих функционирование герметичного ограждения.

**6.8.** Исходными данными для расчета и испытания изделий на сейсмостойкость являются поэтажные акселерограммы и поэтажные спектры реакции для мест установки изделий на АС.

**6.9.** Обоснования сейсмостойкости изделий, для которых отсутствуют нормы и правила в области использования атомной энергии, должны содержать подробное описание использованных методик и критериев, по которым выполнено обоснование сейсмостойкости.

## 7. АНТИСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ И ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

**7.1.** Для обеспечения автоматической аварийной остановки реактора при землетрясениях заданной интенсивности должна предусматриваться система сейсмометрического контроля и сигнализации, связанная с системой аварийной защиты реактора.

**7.2.** Система сейсмометрического контроля и сигнализации должна обеспечивать формирование команды на автоматическую аварийную остановку реактора при сейсмическом воздействии на грунте, соответствующем ПЗ, а также автоматическую регистрацию колебаний датчиков на уровне подошвы здания реакторной установки.

**7.3.** Проект АС должен предусматривать технические меры и организационные мероприятия по защите при сейсмических воздействиях персонала АС, средств связи и оповещения персонала, систем физической защиты.

**Приложение 1**
(рекомендуемое)

## УЧЕТ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СЕЙСМИЧНОСТИ ПЛОЩАДКИ АС

| Категория грунта по сейсмическим свойствам | Грунт | Сейсмичность площадки АС $J_{ПЛ}$ при сейсмичности района $J_P$, балл |
|---|---|---|
| | Скальные грунты всех видов (в том числе многолетнемерзлые и многолетнемерзлые оттаяв- | |

| Категория грунта по сейсмическим свойствам | Грунт | Сейсмичность площадки АС $J_{ПЛ}$ при сейсмичности района $J_Р$, балл |
|---|---|---|
| I | шие) невыветрелые и слабовыветрелые, крупнообломочные грунты плотные маловлажные, состоящие из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; выветрелые и сильновыветрелые скальные и нескальные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре -2°С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии) | $J_{ПЛ} = J_Р$ - 1 балл |
| II | Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, в том числе многолетнемерзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории, пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватные плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции $jL \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ – для глин и суглинков и $e < 0,7$ – для супесей; многолетнемерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпу- | $J_{ПЛ} = J_Р$ |

| Категория грунта по сейсмическим свойствам | Грунт | Сейсмичность площадки АС $J_{пл}$ при сейсмичности района $J_P$, балл |
|---|---|---|
| | чемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше -2°С при строительстве и эксплуатации по принципу I | |
| III | Пески рыхлые, независимо от влажности и крупности, пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные, глинистые грунты с показателем консистенции $jL$ > 0,5, глинистые грунты с показателем консистенции $jL \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ – для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ – для супесей, многолетнемерзлые нескальные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допущения оттаивания грунтов основания) | $J_{пл} = J_P + 1$ балл |

Примечания.

1. Настоящей таблицей необходимо пользоваться для предварительного уточнения сейсмичности района размещения АС с учетом грунтовых условий площадки и их возможных изменений в процессе строительства и эксплуатации АС. Окончательно сейсмичность площадки АС должна определяться по результатам СМР.

2. Отнесение грунтов площадки к грунтам I категории по сейсмическим свойствам допускается, если их мощность в основании здания (сооружения) АС превышает 30 м.

3. Если в пределах 10-метровой мощности неоднородного слоя грунта (считая от планировочной отметки) неблагоприятные грунты имеют суммарную мощность более 5 м, то грунты относятся к более неблагоприятной категории по сейсмическим свойствам.

4. Для прогнозируемого в процессе эксплуатации здания (сооружения) АС подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов (в том числе

просадочных) категорию грунта по сейсмическим свойствам следует определять в зависимости от его свойств (влажности, консистенции) в замоченном состоянии.

5. На многолетнемерзлых нескальных грунтах, если зона оттаивания распространяется до подстилающего незамерзшего грунта, грунты основания здания (сооружения) АС следует рассматривать как немноголетнемерзлые (по фактическому состоянию их после оттаивания).

6. Глинистые и песчаные грунты относятся к грунтам III категории по сейсмическим свойствам, если уровень грунтовых вод находится на глубине менее 5 м от планировочной поверхности и отсутствуют данные о консистенции или влажности.

7. При размещении площадки АС в пределах зон ВОЗ на грунтах I категории по сейсмическим свойствам снижение сейсмичности площадки на 1 балл по отношению к сейсмичности района размещения АС при определении сейсмичности площадки по МРЗ не допускается.

**Приложение 2**
(рекомендуемое)

## ТИПОВАЯ ПРОГРАММА РАБОТ ПО УТОЧНЕНИЮ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ АС

I. **Цель работ** – определение сейсмичности площадки и параметров ПЗ и МРЗ.

### II. Основные задачи

1. Выявление геодинамических зон и активных разломов и определение их параметров.

2. Уточнение положения и параметров зон ВОЗ и оценка параметров сейсмического режима.

3. Обоснование размещения площадки АС в пределах однородного целикового блока земной коры, не нарушенного активными разломами.

4. Выявление мест возможного возникновения и оценка параметров первичных деформаций поверхности земли при землетрясениях до МРЗ включительно. Деформации грунта первичные – нарушения грунта, связанные с выходом очага землетрясения на свободную поверхность.

5. Определение динамических свойств пород (грунтов) основания до глубины 100 м.

6. Оценка влияния инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки на интенсивность и спектральный состав колебаний при землетрясениях.

7. Учет влияния инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки на интенсивность и спектральный состав колебаний при землетрясениях.

8. Определение параметров ПЗ и МРЗ заданной вероятности непревышения для естественных и техногенно измененных условий площадки размещения АС.

## III. Содержание исследований

1. Оценка влияния удаленных очагов землетрясений на уровне ОСР территории Российской Федерации в масштабе 1: 2 500 000 и мельче.

1.1. *Получение исходных данных об удаленных очагах* землетрясений для принятия решения о возможности размещения АС в рассматриваемом регионе.

1.2. Определение средних значений и стандартных отклонений ПЗ и МРЗ для средних грунтов от удаленных (транзитных) очагов землетрясений.

2. УОСР района размещения АС рекомендуется выполнять в масштабе 1: 500 000 и мельче в радиусе от 150 до 320 км от АС.

2.1. Обоснование размещения альтернативных площадок АС в пределах целиковых блоков земной коры, не нарушенных региональными, активными разломами протяженностью 30 км и более.

2.2. Выделение зон ВОЗ, определение их параметров и параметров сейсмического режима.

2.3. Уточнение сейсмичности района и определение параметров ПЗ и МРЗ альтернативных площадок АС для средних грунтов.

3. Уточнение геодинамических и сейсмотектонических условий площадки АС в масштабе 1:50 000 и мельче в радиусе 25 км и более от АС.

3.1. Исследование геодинамических тектонических условий для выделения геодинамических зон и активных разломов, определение их параметров (порядок структуры, протяженность, ширина, амплитуда, период относительных движений смежных блоков земной коры, степень динамической активно-

сти (долговременная скорость деформации земной коры) и составление карт-схем геодинамических зон и активных разломов.

3.2. Определение положения и параметров ближайших зон ВОЗ и их минимального удаления от площадки АС.

3.3. Обоснование размещения площадки (альтернативных площадок) АС в пределах целикового блока земной коры, не нарушенного геодинамическими зонами и активными разломами протяженностью 3 км и более.

Примечания.

1. Разлом сейсмически активный – разрывное нарушение земной коры, к которому приурочены прошлые или современные сейсмогенные проявления (очаги землетрясений, палеосейсмодислокации, сейсмодислокации).

2. Разлом тектонически активный – тектонический разлом, в зоне которого за последние 1 млн. лет (четвертичный период) произошло перемещение примыкающих блоков на 0,5 м и более.

3.4. Определение параметров ПЗ и МРЗ на площадке АС от локальных зон ВОЗ для средних грунтов.

4. Определение свойств грунтов (пород) альтернативных площадок АС и уточнение сейсмичности района в масштабе 1: 5 000 и мельче для территории в радиусе 5 км и более от АС с учетом конкретных грунтовых условий.

4.1. Характеристика грунтов (пород) площадки АС на глубину до 100 м (послойно): мощность, плотность, скорости распространения продольных и поперечных сейсмических волн; модуль сдвига (модуль поперечной упругости), модуль продольной деформации, коэффициент Пуассона.

4.2. Оценка влияния особенностей рельефа, геолого-геофизического строения среды, свойств грунтов, уровня грунтовых вод на сейсмичность площадки.

4.3. Уточнение сейсмичности района с учетом конкретных грунтовых условий.

4.4. Построение карт-схем СМР площадки АС.

5. Прогноз характеристик грунтов (пород) и сейсмичности площадки АС с учетом проектных проработок в части изменения естественных условий в период строительства и эксплуатации АС.

5.1. Прогноз свойств грунтов (пород) в основаниях зданий и сооружений в техногенно измененных условиях на глубину до 100 м (послойно): мощность, плотность, скорость распространения продольных и поперечных сейсмических волн; модуль сдвига (модуль поперечной упругости), модуль продольной де-

формации, коэффициент демпфирования (гистерезисный), коэффициент Пуассона.

5.2. Прогноз параметров ПЗ и МРЗ с учетом изменения свойств грунтов и параметров среды во время строительства и эксплуатации АС.

5.3. Подготовка рекомендаций по сейсмическому, геотехническому и геодинамическому мониторингу природной среды в процессе строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации АС.

6. Контроль стабильности состояния и свойств геологической среды в период строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации АС.

6.1. Контроль сейсмического режима района размещения АС.

6.2. Контроль состояния физических свойств грунтов и гидрогеологических условий в основании сооружений АС.

6.3. Контроль состояния геодинамических условий площадки АС.

6 4. Разработка рекомендаций по учету изменения состояния и свойств геологической среды.

## IV. Состав исследований

1. ОСР.

1.1. Предварительное определение сейсмичности района для уровня МРЗ по карте ОСР-97-D и сейсмичности района для уровня ПЗ по карте ОСР-97-В.

Примечание. Расчет сейсмической опасности территории Российской Федерации производился по сетке с шагом 25×25 км$^2$, точность проведения изолиний соизмерима с этой величиной. Отсюда оценка сейсмической опасности всех населенных пунктов, расположенных на расстоянии до 30 км от границ между зонами балльности, должна уточняться тем или иным способом (УОСР, СМР и т.п.) либо они должны быть отнесены к более сейсмоопасной зоне.

1.2. Обобщение и анализ обосновывающих материалов общего сейсмического районирования (ОСР-97) – комплект карт и объяснительная записка к ним и их использование для определения параметров ПЗ и МРЗ от удаленных очагов землетрясений.

2. УОСР района.

2.1. Анализ фондовых материалов по геологическому строению, новейшей тектонике, геофизическим полям, сейс-

мичности, рельефу района размещения (карты масштаба 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000).

2.2. Составление структурно-тектонических карт, отражающих дискретно-иерархическую блоковую модель земной коры региона и района размещения АС.

2.3. Рекогносцировка на местности с целью привязки данных геологии, геоморфологии, геофизики, сейсмологии, сведений о грунтах к конкретным условиям.

2.4. Дополнительное дешифрирование аэрофото- и космоснимков, полевые геолого-геоморфологические работы и морфометрический анализ территории с целью уточнения материалов и структурно-тектонических карт, в первую очередь по новейшей, четвертичной и современной тектонике, сейсмодислокациям и быстрым геологическим асейсмичным процессам.

2.5. Составление карты геолого-тектонических критериев сейсмичности.

2.6. Сейсмологические исследования:

- уточнение сводного каталога исторических и инструментально зарегистрированных землетрясений;
- построение карты эпицентров землетрясений;
- составление схем и разрезов очагов наблюдавшихся сильных землетрясений;
- уточнение региональных и локальных законов спадания балльности вкрест и вдоль сейсмогенных структур, а также по площади, составление карты областей различного спадания интенсивности;
- составление для района размещения АС схемы зон ВОЗ и определение их средних параметров и стандартных отклонений;
- определение исходных параметров ПЗ и МРЗ для различных типов очагов землетрясений для средних грунтов.

3. Уточнение геодинамических и сейсмотектонических условий площадки АС.

3.1. Анализ имеющихся данных:

- топографических планов, геофизических, геодинамических, гидрогеологических и инженерно-геологических карт масштаба 1:50 000 - 1:10 000 и мельче;
- сводных геолого-литологических разрезов;
- сведений о физико-механических свойствах пород и грунтов.

3.2. Составление разномасштабных дискретно-иерархических блоковых моделей земной коры.

3.3. Проведение дополнительных геолого-геофизических исследований для уточнения параметров неоднородностей и разрывных нарушений и оконтуривания целиковых блоков земной коры, не нарушенных активными разломами.

3.4. Уточнение распределения на территории площадки АС скорости распространения сейсмических волн до глубины 100 м, а также положения кровли кристаллического фундамента и нарушений в фундаменте в районе размещения АС.

3.5. Сейсмологические исследования, в том числе:

- выделение участка распространения средних грунтов;
- инструментальная регистрация микроземлетрясений;
- изучение спектрального состава колебаний при землетрясениях, определение спектральной характеристики грунтов;
- уточнение параметров и положения локальных очаговых зон, исходных параметров ПЗ и МРЗ для средних грунтов;
- определение обобщенных спектров реакции грунтов заданной вероятности непревышения и исходного набора аналоговых и (или) синтезированных акселерограмм ПЗ и МРЗ для эталонного и (или) среднего грунтов. При подборе аналоговых акселерограмм следует учитывать, что акселерограмма землетрясения должна быть получена на дневной поверхности в стороне от зданий и сооружений, а также в шурфе глубиной до 1 м или на фундаменте невысокого здания (до четырех этажей) без подвала.

4. СМР.

4.1. СМР альтернативных площадок АС методом инженерно-геологических аналогий.

4.2. Инструментальное СМР приоритетной площадки АС методами:

- сейсмических жесткостей;
- регистрации колебаний при микросейсмах и колебаний, возбужденных землетрясениями, взрывами и невзрывными источниками.

4.3. Построение карт сейсмического микрорайонирования и составление пояснительных записок к ним.

4.4. Корректировка набора расчетных акселерограмм с учетом СМР.

## V. Состав отчетной документации

1. Требования к материалам инженерных изысканий и исследований.

1.1. Описание:

- новейшей тектоники, сейсмотектоники, сейсмичности региона и района;
- рельефа, геоморфологии, тектонического строения, гидрогеологии и сейсмичности площадки АС;
- состава, состояния и свойств грунтов и массивов пород в основании зданий и сооружений;
- опасных геологических процессов и явлений.

1.2. Отображение:

- на картах новейшей тектоники, сейсмотектоники, сейсмичности региона и района;
- на картах инженерно-геологического районирования и сейсмического микрорайонирования площадки АС;
- на картах гидрогеологических условий;
- на инженерно-геологических и геосейсмических разрезах до глубины порядка 100 м.

1.3. На инженерно-геологических и геосейсмических разрезах следует:

- выделить и описать в пояснительной записке все слои (инженерно-геологические элементы), которые могут оказать влияние на несущую способность оснований зданий и сооружений;
- привести нормативные характеристики и физико-механические свойства грунтов в естественном и водонасыщенном состояниях, для многолетнемерзлых грунтов – в естественном и талом состояниях;
- особо оговорить наличие в разрезах линз и прослоев слабых, динамически неустойчивых грунтов.

1.4. На картах инженерно-геологического районирования площадки АС выделить и описать участки возможных оседаний поверхности, разжижения грунтов и снижения несущей способности оснований под воздействием неблагоприятных факторов (подтопления, осушения, изменения влажности, замерзания и растепления грунтов), а также их сочетаний с воздействиями

землетрясений и сейсмики взрывов, статических и динамических нагрузок.

1.5. На гидрогеологических картах для двух-трех водоносных горизонтов от поверхности земли показать глубину уровня подземных (грунтовых) вод и сезонные вариации уровня, направления и скорости потока, коэффициенты фильтрации в различных слоях и других инженерно-геологических элементах.

1.6. При размещении здания и сооружения на скальном основании на картах и разрезах показать ослабленные зоны (зоны повышенной трещиноватости, зоны тектонических нарушений) в массиве и дать сведения о состоянии и свойствах пород в этих зонах и ненарушенных блоках массива.

1.7. В табличной форме привести характеристики грунтов для расчета несущей способности и деформаций оснований, параметров сейсмических воздействий и оценки возможных негативных проявлений опасных геологических процессов (карст, суффозия, оползни и др.) с учетом возможных геотехногенных изменений свойств грунтов (например, растепления мерзлых грунтов).

1.8. Дать оценку возможных кренов и смещений (оседаний, поднятий, горизонтальных подвижек) за весь период эксплуатации АС.

2. Отчет об оценке сейсмичности площадки АС должен содержать:

- сводный каталог землетрясений района;
- карту-схему зон ВОЗ района масштаба 1:500 000;
- схему геодинамических и сейсмотектонических условий размещения площадки масштаба 1:50 000;
- карту СМР площадки масштаба 1:5000 с указанием участков, где не разрешается строительство зданий и сооружений, важных для безопасности АС;
- характеристику среднего и (или) эталонного грунтов и параметры ПЗ и МРЗ для эталонного грунта и конкретных условий площадки;
- максимальные значения ускорений свободной поверхности грунта 50%-ной вероятности непревышения;
- обобщенные спектры реакции 84%-ной вероятности непревышения и соответствующий им набор расчетных акселерограмм для конкретных грунтовых условий для уровня ПЗ и МРЗ.

3. Сейсмический, геодинамический и геотехнический мониторинг устойчивости состояния и свойств геологической среды во времени.

3.1. Обобщение и анализ геодинамических, сейсмологических, гидрогеологических и геотехнических изысканий и исследований в период изысканий к технико-экономическому обоснованию и проекту для определения:

- фоновых параметров природной среды (параметры среды, установленные на момент начала эксплуатации объекта);
- необходимой и достаточной плотности сети сейсмических и геофизических станций;
- оптимального по уровню фона помех места расположения сейсмических и геофизических станций, параметрических скважин и реперов;
- частоты опроса аппаратуры (периодичности измерения параметров среды).

3.2. Разработка программы мониторинговых (режимных) наблюдений стабильности состояния и свойств геологической среды.

3.3. Организация и проведение наблюдений по программе сейсмического, геодинамического и геотехнического мониторингов стабильности состояния и свойств геологической среды в период строительства и эксплуатации АС.

3.4. Получение рядов значений контролируемых параметров природной среды и контроль их стабильности во времени.

3.5. Накопление временных рядов измерений параметров в режиме непрерывного контроля стабильности природной среды в районе размещения АС и на площадке АС в период строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации АС.

4. Составление сводного отчета, в который входят:

- сейсмичность района по картам ОСР, характеристика удаленных сейсмотектонических провинций и зон ВОЗ, пояснительная записка к ним, включающая сейсмичность площадки ПЗ и МРЗ от удаленных зон ВОЗ;
- карта-схема УОСР района размещения АС, включающая зоны ВОЗ и их параметры – зоны возможного возникновения первичных и вторичных остаточных деформаций грунта, и пояснительная записка к карте-схеме УОСР, включающая характеристику спадания балльно-

сти с удалением от очаговых зон и параметры ПЗ и МРЗ для средних грунтов;

- карты-схемы геодинамических зон, активных разломов и пояснительная записка к ним, содержащая результаты определения параметров ПЗ и МРЗ с учетом локальных зон ВОЗ;
- карты-схемы СМР площадки АС для естественных и техногенно измененных условий и пояснительная записка к ним, включающая зоны приращения балльности, параметры ПЗ и МРЗ, резонансные периоды колебаний грунтов площадки, скоростные разрезы, результаты расчетов спектральных характеристик колебаний многослойной среды на площадке, описание участков возможного проявления вторичных остаточных деформаций грунтов;
- параметры ПЗ и МРЗ – максимальные значения ускорений свободной поверхности грунта 50%-ной вероятности непревышения и спектры ответа грунта 84%-ной вероятности непревышения для различных логарифмических декрементов колебаний 1,26 (20%), 0,63 (10%), 0,44 (7%), 0,31 (5%), 0,25 (4%), 0,12 (2%), 0,03 (0,5%) и соответствующие им синтезированные акселерограммы в цифровом и графическом виде и пояснительная записка к ним;
- оценка динамической устойчивости грунтов площадки при землетрясениях до МРЗ включительно.

5. Согласование результатов УОСР района и СМР площадки в установленном порядке.

**Приложение 3**
(рекомендуемое)

## СТАНДАРТНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

1. Стандартные сейсмические воздействия рекомендуется использовать для проведения предварительных расчетов сейсмостойкости АС на стадии обоснования инвестиций в условиях неполной геолого-геофизической, геодинамической и сейсмологической информации.

2. Стандартные сейсмические воздействия включают:

- сейсмичность площадки (в баллах);

- максимальные ускорения грунта;
- спектр коэффициентов динамичности при различных логарифмических декрементах колебаний δ;
- набор синтезированных акселерограмм грунта.

3. Сейсмичность района размещения АС $J_р$ (в баллах) определяется для средних грунтов по картам ОСР-97-В (ПЗ) и ОСР-97-D (МРЗ).

4. Сейсмичность площадки $J_{пл} = J_р \pm \Delta J$ (балл) определяется с учетом сейсмичности района $J_р$ и приращения сейсмичности $\Delta J$, задаваемого в зависимости от категории грунтов по сейсмическим свойствам согласно приложению 1.

5. В качестве максимального ускорения грунта для заданной сейсмичности площадки принимается ускорение, соответствующее вероятности непревышения, равной 50%. Значения максимального ускорения грунта в зависимости от сейсмичности площадки АС приведены в табл. П.3.1.

**Таблица П.3.1**

**Максимальное ускорение грунта в зависимости от сейсмичности площадки АС**

| Сейсмичность площадки АС, $J_{пл}$, балл | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|
| Максимальное ускорение грунта, $a_0$, м/с$^2$ | 1,0 | 2,0 | 4,0 |

Примечание. Максимальные ускорения грунта в обоих горизонтальных направлениях следует принимать одинаковыми: $a_X = a_Y = a_0$. Максимальное ускорение грунта в вертикальном направлении: $a_z = 2/3a_0$.

6. Спектр коэффициентов динамичности β для данного значения логарифмического декремента колебаний δ определяется как: $\beta(T, \delta) = a_{84\%}(T, \delta)/a_0$, где $a_{84\%}(T,\delta)$ – стандартный спектр ответа грунта, соответствующий 84%-ной вероятности непревышения. Спектры коэффициента динамичности β для ПЗ и МРЗ показаны на рис. П.3.1 и приведены в табл. П.3.2.

7. Набор синтезированных акселерограмм строится с учетом максимального ускорения грунта $a_0$ и спектров коэффициентов динамичности β по специальным методикам, утвержденным в установленном порядке.

Примечание. Ординаты спектра реакции синтезированной акселерограммы *не должны отклоняться от ординат стандартного спектра* более чем на 10%.

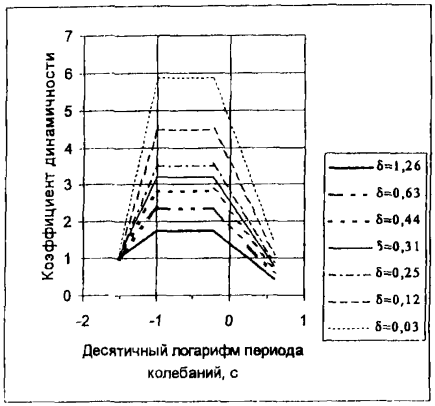


Рис. П.3.1. Спектры коэффициентов динамичности для различных логарифмических декрементов колебаний δ

**Таблица П.3.2**

**Ординаты спектров коэффициентов динамичности β стандартного спектра ответа (ускорений) при 84%-ной вероятности непревышения для различных логарифмических декрементов колебаний δ**

| Период колебаний, с | Коэффициент динамичности β для логарифмических декрементов колебаний δ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,26 | 0,63 | 0,44 | 0,31 | 0,25 | 0,12 | 0,03 |
| 0,03 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0,100 | 1,75 | 2,35 | 2,82 | 3,20 | 3,52 | 4,48 | 5,86 |
| 0,600 | 1,75 | 2,35 | 2,82 | 3,20 | 3,52 | 4,48 | 5,86 |
| 4,000 | 0,43 | 0,58 | 0,68 | 0,79 | 0,87 | 1,1 | 1,45 |

Примечание. Ординаты спектров коэффициентов динамичности при периодах колебаний соответствуют точкам перелома спектральных кривых.

**Приложение 4**
(рекомендуемое)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

1. В элементах строительных конструкций усилия от расчетных нагрузок должны определяться в зависимости от усилий, соответствующих различным направлениям сейсмического воздействия, по формулам, приведенным в табл. П.4.1.

**Таблица П.4.1**

**Расчетные усилия в элементах строительных конструкций**

| № п/п | Вид строительной конструкции | Значение расчетного усилия |
|---|---|---|
| 1 | Конструкции зданий (сооружений) I категории сейсмостойкости | Наибольшая из величин, определяемых по формулам:<br>$N = \pm(N_X \pm 0.4N_Y \pm 0.4N_Z)$<br>$N = \pm(\pm 0.4N_X + N_Y \pm 0.4N_Z)$<br>$N = \pm(\pm 0.4N_X \pm 0.4N_Y + N_Z)$<br>$N = \pm\sqrt{N_X^2 + N_Y^2 + N_Z^2}$ |
| 2 | Большепролетные конструкции II категории сейсмостойкости (мостов, эстакад, ферм покрытий, дисков междуэтажных перекрытий и др.) | Наибольшая из величин, определяемых по формулам:<br>$N = \pm N_X$<br>$N = \pm N_Y$<br>$N = \pm N_Z$ |
| 3 | Конструкции прочих зданий (сооружений) II категории сейсмостойкости | $N = \pm N_X$<br>$N = \pm N_Y$ |
| 4 | Конструкции зданий (сооружений) III категории сейсмостойкости | Согласно строительным нормам и правилам |

Примечания.

$N_X$ – усилие в элементе от сейсмического воздействия в направлении оси $X$ (горизонтальном);

$N_Y$ – усилие в элементе от сейсмического воздействия в направлении оси $Y$ (горизонтальном);

$N_Z$ – усилие в элементе от сейсмического воздействия в направлении оси $Z$ (вертикальном).

2. При расчете линейно-спектральным методом расчетное усилие в элементе от сейсмического воздействия в $j$-м направлении должно определяться путем среднеквадратичного суммирования по формам колебаний как:

$$N_j = \sqrt{\sum_{l=1}^{n_j} N_{jl}^2}\ , \qquad (4.1)$$

где $N_{jl}$, $N_{jjl}$, $N_{jm}$ – усилие в данном элементе, соответствующее $i$-й ($l$-й, $m$-й) форме колебаний здания (сооружения) от сейсмического воздействия в $j$-м направлении;

$n_j$ - число учитываемых форм колебаний при расчете на сейсмическое воздействие в $j$-м направлении.

Если периоды некоторых из учитываемых форм собственных колебаний различаются не более чем на 10%, то следует учитывать возможность совпадения максимумов соответствующих усилий по времени.

Усилия $N_{ji}$ должны определяться от сейсмических нагрузок $S_{jik}$, прикладываемых в узлах концентрации масс модели в $j$-м направлении. Величины нагрузок $S_{jik}$ необходимо определять в соответствии с рекомендациями п.3.

3. Расчетное значение сейсмической нагрузки в $k$-м узле концентрации масс при колебаниях по $i$-й форме должно определяться по формуле:

$$S_{jik} = K_e \eta_{ik} m_k \beta_i a_j, \qquad (4.2)$$

где $K_e$ – коэффициент, учитывающий особые условия эксплуатации АС (принимается по п. 4);

$\eta_{ik}$ – коэффициент формы, определяемый согласно строительным нормам и правилам;

$m_k$ – сосредоточенная масса $k$-го узла модели;

$\beta_i$ – коэффициент динамичности, соответствующий $i$-й форме собственных колебаний, определяемый в соответствии с п. 5;

$a_j$ – максимальное ускорение грунта в $j$-м направлении (в одном из горизонтальных направлений $x$ или $y$, или в вертикальном направлении $z$), определяемое в соответствии с п. 6.

4. Коэффициент $K_e$ для конструкций, в которых по условиям безопасности АС не допускается развитие неупругих деформаций, следует принимать равным 1. Для прочих конструкций коэффициент $K_e$ допускается принимать менее 1, но не менее значений, приведенных в табл. П.4.2. Допустимый уровень неупругих деформаций для конструкций I и II категорий сейсмостойкости должен быть обоснован в проекте.

**Таблица П.4.2**

**Минимально допустимые значения коэффициента $K_e$**

| Вид конструкции | Значение расчетного усилия |
|---|---|
| Конструкции зданий (сооружений) I категории сейсмостойкости | 0,625 |
| Конструкции зданий (сооружений) II категории сейсмостойкости | 0,5 |
| Конструкции сооружений III категории сейсмостойкости | $K_1$ согласно строительным нормам и правилам |

Примечание. Для конструкций II категории сейсмостойкости, не предназначенных для хранения радиоактивных продуктов и сред, допускается принимать $K_e$, равным 0,3.

5. Значение $\beta_i$ должно определяться по спектру коэффициента динамичности $\beta_i(T_i, \delta)$, соответствующему принятому значению логарифмического декремента колебаний $\delta$, при $T = T_i$. Спектры коэффициента динамичности $\beta_i$ следует принимать на основе результатов изысканий с учетом конкретных сейсмотектонических условий площадки АС. На стадии обоснования инвестиций допускается использовать спектры коэффициента динамичности $\beta_i$ стандартного спектра ответа (ускорений) по приложению 3.

6. Значение $a_j$ должно приниматься на основе результатов изысканий с учетом конкретных сейсмотектонических усло-

вий площадки АС. На стадии обоснования инвестиций допускается использовать рекомендации приложения 3.

7. Для зданий и сооружений I категории сейсмостойкости при определении $\eta_{ik}$ и $T_i$ рекомендуется учитывать пространственный характер работы конструкций.

8. При расчете на прочность и устойчивость элементов конструкций, помимо коэффициентов условий работы, принимаемых согласно строительным нормам и правилам, вводится дополнительно коэффициент условий работы $m_{кр}$, учитывающий кратковременность сейсмического воздействия и определяемый согласно строительным нормам и правилам без учета коэффициентов, зависящих от повторяемости землетрясений.

**Приложение 5**
(рекомендуемое)

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ С ЖИДКОСТЬЮ

1. Расчет сейсмостойкости резервуаров, полностью наполненных водой, необходимо проводить с учетом массы содержащейся в них жидкости.

2. Расчет сейсмостойкости резервуаров, частично наполненных водой, необходимо проводить с учетом колебаний жидкости в резервуаре при сейсмическом воздействии.

3. Жидкость, содержащуюся в резервуаре с относительной глубиной $\xi \le 0{,}75$, допускается представлять как систему из двух масс: кинематической $m_1$ и инерционной $m_2$, механически связанных с конструкцией резервуара (рис.П.5.1).

Относительную глубину резервуара следует определять как:

$$\xi = h / B, \qquad (5.1)$$

где $B$ – ширина для прямоугольных в плане резервуаров и диаметр для цилиндрических резервуаров.

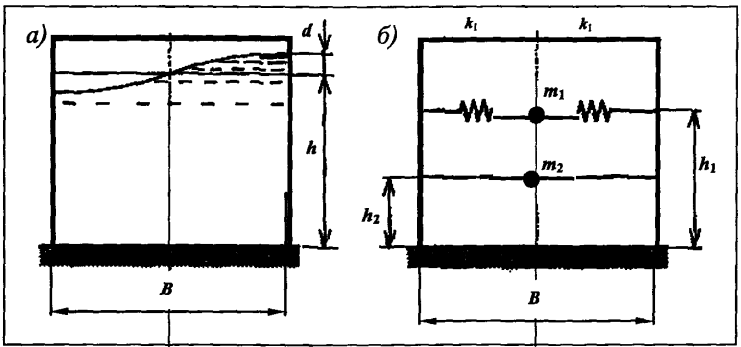


Рис.П.5.1. Моделирование резервуара с жидкостью:
*а* - колебание жидкости в резервуаре; *б* - расчетная схема резервуара с жидкостью
$h$ – уровень жидкости в резервуаре; $d$ – высота волны;
$m_1$ – кинематическая масса; $m_2$ – инерционная масса;
$h_1, h_2$ – привязки кинематической и инерционной масс

Расчетные параметры в этом случае допускается принимать по табл.П.5.1.

Суммарную жесткость упругих связей $k_1$ следует принимать по формуле:

$$\sum k_1 = \omega^2 m_1 , \qquad (5.2)$$

где $\omega$ – круговая частота колебаний поверхности жидкости.

**Таблица П.5.1**

**Параметры для расчета сейсмостойкости резервуара с относительной глубиной $\xi \le 0{,}75$**

| Расчетный параметр | Прямоугольный резервуар | Цилиндрический резервуар |
|---|---|---|
| $m_1$ | $m\frac{0{,}27\text{th}(3{,}16\xi)}{\xi}$ | $m\frac{0{,}23\text{th}(3{,}68\xi)}{\xi}$ |

| Расчетный параметр | Прямоугольный резервуар | Цилиндрический резервуар |
|---|---|---|
| $m_2$ | $m\frac{2\xi}{\sqrt{3}}\text{th}\frac{\sqrt{3}}{2\xi}$ | $m\frac{2\xi}{\sqrt{3}}\text{th}\frac{\sqrt{3}}{2\xi}$ |
| $h_1$ | $h\left[1-\frac{\text{ch}(3,16\xi)-\beta}{3,16\xi\text{sh}(3,16\xi)}\right]$ | $h\left[1-\frac{\text{ch}(3,68\xi)-\beta}{3,68\xi\cdot\text{sh}(3,68\xi)}\right]$ |
| $h_2$ | $0,38h\left[1+\alpha\left(\frac{m}{m_2}-1\right)\right]$ | $0,38h\left[1+\alpha\left(\frac{m}{m_2}-1\right)\right]$ |
| $\omega^2$ | $\frac{3,16g}{B}\text{th}(3,16\xi)$ | $\omega^2=\frac{3,68g}{B}\text{th}(3,68\xi)$ |

Примечания.

1. Коэффициенты $\alpha,\beta$ следует принимать:

при расчете стенок резервуара $\alpha = 0$, $\beta = 1,0$;

при расчете нагрузок на основание $\alpha = 1,33$, $\beta = 2,0$.

2. Величина $m$ в табл. П.5.1 обозначает полную массу жидкости в резервуаре.

4. Расчет стальных резервуаров на сейсмические воздействия следует выполнять с учетом упругих деформаций корпуса резервуара.

5. Сейсмостойкость грунтовых оснований резервуаров должна быть обеспечена расчетом их устойчивости на особое сочетание нагрузок с целью недопущения выпора грунта из-под наиболее нагруженного края резервуара при максимальных значениях опрокидывающего момента.

**Приложение 6**
(рекомендуемое)

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1. При обосновании сейсмостойкости линейно-протяженных конструкций (трубопроводов, кабельных каналов, эстакад и т.п.) необходимо учитывать усилия, которые могут возникать из-за попадания различных сечений конструкции в разные фазы сейсмической волны (рис.П.6.1).

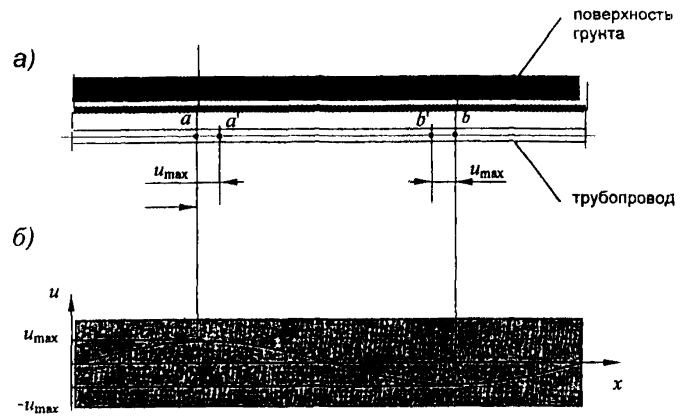


Рис. П.6.1. Деформации линейно-протяженной конструкции при прохождении продольной сейсмической волны:
*а)* – участок подземного трубопровода; *б)* – перемещения при прохождении продольной волны; $a$, $b$ – положения узлов трубопровода до деформации; $a'$, $b'$ – то же после деформации

2. Усилия и перемещения в линейно-протяженных конструкциях, связанные с прохождением сейсмической волны, следует определять в зависимости от типа волны. Типы учитываемых сейсмических волн следует принимать по табл.П. 6.1.

**Таблица П.6.1**

**Типы учитываемых сейсмических волн**

| Индекс типа волны, $k$ | Тип волны |
|---|---|
| 1 | Продольная |
| 2 | Поперечная |
| 3 | Волна Релея |

3. При обосновании сейсмостойкости линейно-протяженных конструкций необходимо учитывать усилия, возникающие из-за взаимного перемещения анкерных опор при попадании их в разные фазы сейсмической волны. Взаимные перемещения анкерных опор следует рассматривать как противофазные.

4. Для линейно-протяженных конструкций балочного типа, расположенных в грунте, продольную силу $F_k$ и изгибающий момент $M_k$ при прохождении волны $k$-го типа следует определять по формулам (6.1) и (6.2):

$$F_k = EA\frac{v_{max}}{\alpha_k V_k} \le F_l; \qquad (6.1)$$

$$M_k = EI\frac{a}{(\beta_k V_k)^2}, \qquad (6.2)$$

где $v_{max}$ – максимальная скорость движения частиц грунта при землетрясении;

$a$ – максимальное ускорение грунта при землетрясении;

$V_k$ – скорость распространения волны $k$-го типа;

$\alpha_k, \beta_k$ – коэффициенты, определяемые по табл. П.6.2;

$F_l$ – сила, передаваемая на конструкцию за счет трения грунта;

$A$ – площадь поперечного сечения элемента конструкции;

$I$ – момент инерции поперечного сечения элемента конструкции.

Таблица П.6.2

**Коэффициенты для расчета расположенных в грунте конструкций балочного типа**

| Коэффициент | Индекс типа волны $k$ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| $\alpha_k$ | 1,0 | 2,0 | 1,0 |
| $\beta_k$ | 1,6 | 1,0 | 1,0 |

5. Максимальную скорость движения частиц грунта при землетрясении допускается определять как:

$$v_{max} = v_0 \frac{a}{g}. \qquad (6.3)$$

Значение $v_0$ следует принимать в зависимости от категории грунта по сейсмическим свойствам:

для грунта I категории $v_0$ = 0,91м/с;

для грунта II категории $v_0$ = 1,2 м/с.

Категорию грунта по сейсмическим свойствам следует принимать в соответствии с приложением 1.

6. Значение $F_\tau$ следует определять как:

$$F_\tau = f_\tau \frac{\lambda_k}{4}, \qquad (6.4)$$

где $f_\tau$ – максимальная сила трения между конструкцией и грунтом на единицу длины;

$\lambda_k$ – длина волны $k$-го типа.

7. Значение $a$ следует принимать на основе сейсмологических исследований с учетом конкретных сейсмотектонических и грунтовых условий площадки АС, на стадии обоснования инвестиций – в соответствии с рекомендациями приложения 3.

Значения $V_k$ и $\lambda_k$ следует принимать по результатам определения динамических свойств грунтов площадки АС, проводимых в соответствии с п.5 раздела II приложения 2.

Допускается принимать $V_3$, равным $0{,}9V_2$.

**НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**
**СЕЙСМОСТОЙКИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ**

**НП-031-01**

Ответственный за выпуск Синицына Т.В.
Верстка Зернова Э.П.
Оригинал-макет подготовлен в НТЦ ЯРБ

Подписано в печать 20.01.02
Тираж 100 экз.
Формат 60x90 1/16
Отпечатано в НТЦ ЯРБ

gost.e-ecolog.ru