**МИНТЯЖМАШ**

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ**

# НОРМЫ РАСЧЕТА НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

**Часть I**

**РД 24.035.04—89**

Издание официальное

**Москва 1990**

gost.e-ecolog.ru

**МИНТЯЖМАШ**

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ**

# НОРМЫ РАСЧЕТА НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

**Часть I**

**РД 24.035.04—89**

Издание официальное

**Москва 1990**

**Утвержден и введен в действие** указанием Министерства тяжелого и транспортного машиностроения от 27.03.1990 № ВА—002—1—3279.

**Исполнители:** Н. Н. Панасенко, канд. техн. наук (научный руководитель и ответственный исполнитель разработки); Н. А. Белов, Н. М. Дементьева, Т. А. Козоброд, А. И. Левин,

**Соисполнители:** от ПО «Атоммаш»
С. А. Елецкий, В. Г. Мелких, А. Н. Мухин, канд. техн. наук; Л. А. Первушин;
от ПО «Сибтяжмаш»
В. И. Гостяев, Н. А. Швалов, Э. И. Шифер-штейн;
от ВНИИПТМАШ
И. И. Абрамович, канд. техн. наук; А. С. Липатов, канд. техн. наук

УДК 621.039. 56

Группа Ф02

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ**

# НОРМЫ РАСЧЕТА НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ПОДЪЕМНО ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ (часть I)

**РД 24.035.04—89**
**Введен впервые**
**ОКСТУ 3103**
Дата введения 1.09.1990
Срок действия до 1.09.1993

Утвержден Указанием
Министерства тяжелого
машиностроения
№ ВА—002—1—3279
от 27.03.1990

СОГЛАСОВАН: Госатомэнергонадзор СССР
Зам. председателя Госатомэнергонадзора
Письмо № 5—10/216 от 16.02.90 г.
А. И. Беляев

СОГЛАСОВАН: НПО ЦКТИ
Зам. директора по научной работе
Письмо № 15/9677 от 11.07.89 г.
И. К. Терентьев

**Издание официальное** Перепечатка воспрещена

# УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

## Обозначения

В настоящем РД 24.035. 04—89, часть 1 (далее по тексту — Нормы), приняты следующие обозначения:

$R_{p0,2}$ — минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа;

$(\sigma_S)_1$ — группа приведенных общих мембранных напряжений с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\sigma_S)_2$ — группа приведенных мембранных и общих изгибных напряжений с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\sigma_S)_{3W}$ — группа приведенных напряжений растяжения в болтах или шпильках с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\sigma_S)_{4W}$ — группа приведенных напряжений в болтах или шпильках с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\sigma_S)_S$ — напряжение смятия с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\tau_S)_S$ — касательные напряжения среза с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$\xi$ — относительное затухание в долях от критического;

$\omega$, f — частота собственных колебаний, рад/с, Гц;

$R_{yn}$ — нормативное значение предела текучести материала, МПа;

v — расчетные упругие перемещения элементов конструкций, м;

$[\sigma]$ — номинальное допускаемое напряжение материала конструкции, МПа;

[M], [C], [K], [Ф] — соответственно матрицы масс, демпфирования (затухания), жесткости и собственных форм колебаний;

АС — атомная станция;

АСТ — атомная станция теплоснабжения;

АЭС — атомная электростанция;

АЭУ — атомная энергетическая установка;

ВВЭР, РБМК, АСТ — типы атомных реакторов;

г/п — грузоподъемность, т;

КИП — контрольно - измерительные приборы;

КС — категория сейсмостойкости;
КФ — корреляционная функция;
КЭ — конечный элемент;
ЛСМ — линейно-спектральный метод теории сейсмостойкости;
ЛСТ — линейно-спектральная теория;
МДА — метод динамического анализа;
МДН — метод допускаемых напряжений;
МКЭ — метод конечных элементов;
МП — перегрузочная машина;
МПА — макимальная проектная авария;
МПС — метод предельных состояний;
МРЗ — максимальное расчетное землетрясение;
МСД — метод статистической динамики;
МСК — местная (локальная) система координат $oxyz$;
MSK-64 — международная шкала интенсивности землетрясений;
МФА — метод факторного анализа;
НДС — напряженно-деформированное состояние;
НРБ-76 — нормы радиационной безопасности (1976 г.);
НТД — нормативно-технический документ;
НУЭ — нормальные условия эксплуатации;
$НУЭ_{max}$ — нормальные условия эксплуатации при предельном нагружении;
ННУЭ — нарушение нормальных условий эксплуатации;
ОСК — общая (глобальная) система координат $OXYZ$;
ПА — поэтажная акселерограмма;
ПЗ — проектное землетрясение;
ПСО — поэтажный спектр ответа;
ПТО — подъемно-транспортное оборудование;
РВ — радиоактивные вещества;
РД — руководящий документ по стандартизации;
РДМ — расчетная динамическая модель;
РЗМ — разгрузочно-загрузочная машина;
СДМ — статико-динамический метод;
СКД — обобщенный безразмерный сейсмический спектр коэффициентов динамичности;
СО — спектр ответа;
СЧ — собственные частоты колебаний конструкции, Гц;
СФ — собственные формы колебаний конструкции;

ТВС — тепловыделяющая сборка;
ТТО — транспортно-технологическое оборудование;
ТЗ — техническое задание;
ТУ — технические условия;
ФСП — функция спектральной плотности;
ХОТ — хранилище отработавшего ядерного топлива;
ЯРОГ — ядерно-, радиационно опасный груз;
ЯТЦ — ядерный топливный цикл.

## Определения

Основные понятия и определения, используемые в настоящем РД, соответствуют принятым в ПиН АЭ Г-7-002-86, ПиН АЭ Г-5-006-87 и РТМ 108.020.37-81 (1986 г.), в дополнение к которым введены следующие:

**расчетная акселерограмма** — последовательность мгновенных значений реального процесса изменения во времени ускорений грунта, задаваемая с некоторым постоянным шагом;

**вероятностно - статистическая акселерограмма** — расчетная акселерограмма, полученная в результате статистической обработки ансамбля реальных акселерограмм сильных землетрясений, значения которой приняты с некоторой доверительной вероятностью;

**математическая статистика** — раздел математики, изучающий методы сбора, систематизацию и обработку результатов наблюдений случайных явлений с целью выявления существующих закономерностей;

**теория вероятностей** — раздел математики, изучающий математические модели случайных явлений;

**случайная величина** — величина, принимающая заранее неизвестные значения, зависящие от случайных обстоятельств;

**закон распределения случайной величины** — соотношение между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями;

**параметры случайной величины** — числовые характеристики (среднее значение, разброс и др.) в достаточной степени характеризующие случайную величину;

**точечная оценка** — оценка случайного параметра одним числом;

**интервальная оценка** — числовой интервал, внутри которого с заданной (доверительной) вероятностью находится оцениваемый параметр;

**случайный процесс** — случайная функция времени, характеризующая процесс изменения случайной величины во времени;

**стационарный случайный процесс** — процесс, вероятностные характеристики которого инвариантны относительно выбора начала отсчета времени;

**вероятность события** — численная мера степени объективной возможности появления этого события;

**поток событий** — последовательность событий, наступающих в случайные моменты времени;

**МСД** — вероятностный метод, позволяющий по вероятностным характеристикам воздействия определить вероятностные характеристики реакции системы на это воздействие;

**высоконадежные системы** — системы с как угодно малым, наперед заданным риском аварии;

**надежность** — свойство сохранять во времени, в установленных пределах, значения всех параметров, обеспечивающих выполнение требуемых функций в заданных условиях эксплуатации;

**отказ** — случайное событие ,состоящее в нарушении или прекращении работоспособного состояния системы;

**вероятность безотказной работы** — вероятность того, что на заданном отрезке времени отказ объекта не наступает;

**вероятность отказа** — дополнение вероятности безотказной работы до единицы;

**безопасность** — надежность по отношению к жизни людей и окружающей среде;

**предельное состояние** — состояние, при котором дальнейшая эксплуатация объекта либо недопустима по соображениям безопасности или экономичности, либо восстановление его работоспособности технически невозможно или экономически неоправдано;

**входные параметры** — параметры окружающей среды, нагрузки, воздействия;

**система** — оборудование, конструкция, фильтр, механическая система, находящаяся во взаимодействии с окружающей средой;

**выходные параметры** — параметры реакции системы;

**проектная авария** — авария, для которой в проекте предусмотрены специальные меры защиты и локализации последствий, обеспечивающие безопасность оборудования;

**МПА** — ожидаемый уровень радиационной безопасности, когда возможные дозы облучения персонала и окружающего населения не превышают допустимых уровней;

**радиационная авария** — событие, приводящее к нарушению пределов безопасной эксплуатации ПТО АС, при котором происходит выход радиоактивных продуктов за предусмотренные границы в количествах, превышающих установленные для нормальной эксплуатации значения, и которое требует прекращения нормальной эксплуатации оборудования.

## ВВЕДЕНИЕ

1. Настоящие Нормы состоят из двух частей.

Часть I является нормативным НТД, обязательным для министерств, ведомств, предприятий и организаций, занимающихся проектированием, конструированием, изготовлением и эксплуатацией ПТО и ТТО АС (далее ПТО или оборудование).

Часть II является методическим НТД, рекомендуемым для вышеназванных министерств, ведомств, предприятий и организаций, и содержит методические указания по расчету на сейсмостойкость ПТО АС.

2. Настоящие Нормы разработаны в Волгодонском филиале Новочеркасского политехнического института совместно с ПО «Атоммаш» (Волгодонск), ПО «Сибтяжмаш» (Красноярск) и ВНИИПТМАШ (Москва) и должны применяться совместно с ПиН АЭ Г-7-002-86, ПиН АЭ Г-5-006-87 и РТМ 108.020.37-81 (1986 г.).

3. За правильность применения настоящих Норм несет ответственность предприятие или организация, выполнявшая соответствующий расчет.

4. Настоящие Нормы разработаны в развитие «НОРМ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ» (РД 24.090. 83—87. М.: Минтяжмаш, 1987. 264 с.) и «ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ХРАНЕНИИ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ» (М., 1988) с учетом накопленного в нашей стране и за рубежом опыта проектирования и эксплуатации ПТО АС, а также предложений и замечаний заинтересованных министерств, ведомств, предприятий и организаций.

5. Внесение изменений и дополнений в настоящие Нормы производится в соответствии с положениями документов Госпроматомнадзора СССР о порядке разработки нормативно - технической документации.

6. Нормы соответствуют требованиям НТД международного хозяйственного объединения Интератомэнерго «Оборудование и трубопроводы АЭС. Нормы расчета на прочность.

Поверочный расчет. Расчет на сейсмические воздействия» и международному стандарту «ИСО 6258. Атомные электростанции. Антисейсмическое проектирование (Рег. № ИСО 6258-85)».

7. Настоящие Нормы могут быть применены при антисейсмическом проектировании крановых сооружений общепромышленного назначения, предназначенных для эксплуатации в сейсмически активных районах.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОРМ

### 1.1. Общие требования

1.1.1. Настоящие Нормы устанавливают требования к методам поверочных расчетов ПТО АС на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации при действии эксплуатационных и сейсмических нагрузок, нагрузок от удара упругих тел (самолета) по защитным оболочкам АЭУ и других импульсных и волновых нагрузок.

1.1.2. Настоящие Нормы распространяются на ПТО с реакторами всех типов: транспортные средства ТТО; МП и РЗМ; эксплуатационные полярные краны реакторных цехов; грузоподъемные краны для транспортировки ЯРОГ; внутристанционные транспортные средства и платформы; манипуляторы и транспортные устройства обслуживания реакторов АЭУ; вспомогательное и навесное на краны оборудование АС, по своему конструктивно-технологическому назначению приравниваемое к ПТО; ПТТО хранилищ отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов; ПТО предприятий ЯТЦ.

1.1.3. Настоящие Нормы следует соблюдать при поверочных расчетах на сейсмостойкость ПТО, предназначенного для эксплуатации в сейсмически активных районах с сейсмичностью 5 баллов и выше (до 4 баллов — определяется проектной организацией по сейсмической шкале MSK-64.

### 1.2. Требования к проектированию

1.2.1. Проектируемое ПТО считается сейсмостойким, если оно удовлетворяет всем требованиям радиационной и ядерной безопасности, надежности, динамической устойчивости положения в пространстве и экономической эффективности

при сейсмических воздействиях интенсивностью до МРЗ включительно.

1.2.2. ПТО необходимо проектировать сейсмостойким, если наложено требование сейсмостойкости на строительное сооружение, в котором оно размещается и эксплуатируется.

1.2.3. Для обеспечения сейсмостойкости необходимо: 1) выполнение предусмотренных конструктивно - технологических требований; 2) назначение соответствующих материалов; 3) проведение указанных в настоящих Нормах поверочных расчетов.

1.2.4. При проектировании сейсмостойкого ПТО следует применять конструктивные схемы, обеспечивающие наименьшие значения сейсмических нагрузок, а также равномерное распределение жесткостей и масс элементов конструкций, а в сборных конструкциях стыки болтовых, сварных и болтосварных соединений располагать вне зоны максимальных внутренних усилий.

1.2.5. При выборе ориентирования протяженных в плане пролетных строений ПТО направление возможных горизонтальных сейсмических воздействий следует совместить с направлением передвижения моста и грузовой тележки.

1.2.6. Центр тяжести передвижных конструкций ПТО рекомендуется размещать на минимальном расстоянии от плоскости, где осуществляется сцепление противосейсмических (противоопрокидывающих и противоугонных) устройств с ходовыми рельсами или другими основаниями, а ходовые рельсовые пути рекомендуется размещать на общем фундаменте. Кроме того, необходимо обеспечить максимальное приближение центров масс грузовых тележек к центру тяжести несущей системы пролетного строения.

1.2.7. В основу проектных решений должны быть положены меры для разработки ПТО с низшими собственными частотами, не совпадающими с частотами максимумов ускорений расчетных сейсмических воздействий. Элементы несущих металлоконструкций должны удовлетворять условию: высота и ширина сечения должны быть как можно больше, а толщина стенок и поясов должны выбираться из условия их местной устойчивости.

1.2.8. Сейсмозащиту передвижных конструкций ПТО мостового типа следует обеспечивать созданием специальных

площадок хранения или применением противоопрокидывающих при сейсмических движениях устройств в случае, если абсолютное вертикальное сейсмическое ускорение превышает 1,5 g (g=9,81 м с$^2$), а для грузовых тележек —если оно превышает 1g. Устройства для стабилизации ПТО на ходовом пути должны быть выполнены таким образом, чтобы воспринимать дестабилизирующие сейсмические силы и давать возможность скольжению и (или) качению ходовых колес вдоль рельсового пути (если на эти движения не наложено ограничений).

1.2.9. При расчетном анализе сейсмостойкости ПТО необходимо учитывать наиболее неблагоприятные сочетания эксплуатационных нагрузок и сейсмических воздействий возможных на разных стадиях работы ПТО в течение всего его срока службы.

1.2.10. Сейсмологическая информация, необходимая для поверочных расчетов ПТО, является составной частью ТЗ и НТД на ПТО и должна задаваться генеральным проектировщиком АС.

1.2.11. Расчет по выбору основных размеров (предшествующий поверочному расчету) следует проводить по п. 1.2.5 ПиН АЭ Г-7-002-86.

1.2.12. Расчет по выбору основных размеров допускается проводить с помощью оптимизационных методов (см. РД 24.035. 04-89, часть II).

1.2.13. Группу режима работы ПТО следует принимать по ТЗ или ТУ на его проектирование в соответствии ГОСТ 25546-82 и международному стандарту ИСО 4301-80, в зависимости от класса использования и класса нагружения ПТО.

1.2.14. Группу режима работы механизмов ПТО следует принимать по ТЗ или ТУ на его проектирование в соответствии ГОСТ 25835-83 (который полностью соответствует стандарту СТ СЭВ 2077-80), в зависимости от классов использования и нагружения механизмов.

### 1.3. Расчетные сейсмические уровни и категории сейсмостойкости ПТО

1.3.1. Поверочные расчеты ПТО следует выполнять с учетом двух уровней сейсмических воздействий: ПЗ и МРЗ.

1.3.2. ПЗ и МРЗ характеризуются балльностью по шкале MS К-64, набором реальных, аналоговых или синтезированных акселерограмм, состоящих из двух горизонтальных и одной вертикальной компонент на уровне установки ПТО в зданиях АС, и соответствующими этим акселерограммам ПСО, моделирующими основные характерные типы сейсмических воздействий на площадке АС, повторяемость которых составляет соответственно 100 и 10000 лет.

1.3.3. Прохождение ПЗ и (или) МРЗ с интенсивностью и повторяемостью, превышающей нормативную, следует рассматривать как возможное нарушение гарантии ядерной и радиационной безопасности АС, после которых ПТО должно быть обследовано (см. подраздел 6.2) для установления возможности возобновления его безопасной эксплуатации по обеспечению ядерно- и радиационно опасных работ.

1.3.4. ПТО, в зависимости от степени его ответственности в обеспечении сейсмостойкости АС и требований к ее функциональной надежности, сохранности и работоспособности после прохождения землетрясения, разделяется на три КС.

1.3.4.1. К I КС относятся:

— ПТО зоны первого контура, предназначенное для выполнения технологических подъемно - транспортных операций, в том числе ядерноопасных, в период эксплуатации АС, механические повреждения и отказы которого при сейсмических воздействиях до МРЗ включительно путем силового воздействия могут вызвать аварию и отказы в работе ядерной части АС и в системах, важных для ее безопасности (МП и РЗМ, эксплуатационные полярные краны, манипуляторы выема ионизационных камер и др.);

— ПТО, входящее в состав систем безопасности АС.

ПТО IКС должно сохранять свои функции после прохождения землетрясения до МРЗ включительно, удерживать транспортируемый полезный груз на захватном органе и исключать: 1) разрушение главных элементов несущих структур металлоконструкций и механизмов; 2) падение передвижного ПТО и его элементов с ходовых рельсовых путей и силовое воздействие на ядерное оборудование АС и системы

ее безопасности; 3) потерю ПТО в целом или его подсистемами устойчивости положения в пространстве; 4) скольжение заторможенных передвижных конструкций ПТО по рельсовым путям, если такое требование конструктивно предусмотрено технологией производства подъемно - транспортных операций.

1.3.4 2. Ко II КС относится ПТО, обслуживающее грузопотоки с источниками радиоактивности:

— в зоне первого контура АС или в герметичных помещениях здания реактора АС (подкатегория II а) и не вошедшее в I КС;

— на предприятиях ЯТЦ, в узлах свежего ядерного топлива АС, ХОТ и в условиях, к ним приравниваемым (подкатегория II б).

ПТО II КС должно сохранять свою работоспособность после прохождения землетрясения интенсивностью до ПЗ включительно.

1 3.4 3. Классификацию ПТО по КС следует проводить методом иерархического построения. В иерархическом построении подсистем сейсмостойкой конструкции ПТО к первоочередным подсистемам I КС следует относить несущие структуры механизмов и металлоконструкций и элементы противоопрокидывающих сейсмозащитных устройств, которые обеспечивают недопустимость падения ПТО в целом и его частей с уровня установки. Остальные подсистемы ПТО, в зависимости от эксплуатационных требований безопасности, могут быть отнесены к I или ко II КС.

В иерархическом построении подсистем конструкций ПТО, если возможное разрушение или выход из строя подсистемы II КС поражает работу подсистем I КС, то они должны быть включены в I КС или должна быть доказана невозможность разрушения или выход из строя подсистем II КС под действием сейсмических нагрузок.

1.3.4 4 К III КС, в соответствии с ПиН АЭ Г-5-006-87, относятся все остальные крановые сооружения и их элементы, не вошедшие в категории I и II, в том числе высоконадежное ПТО общепромышленного назначения, рассчитываемое на среднестатистические землетрясения.

1.3.4.5. ПТО I и II КС должно соответствовать требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» (1976 г.).

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЕТУ ПТО

### Математические методы поверочного расчета

2.1.1. Расчет на сейсмостойкость следует проводить одним из методов: а) статическим; б) линейно - спектральным в) динамического анализа; г) статистической динамики.

2.1.2. Статический метод рекомендуется использовать в соответствии с РТМ 108.020.37-81 (1986 г.) и РД 24.090.83-87 для конструкций, моделируемых жесткими телами либо одно- или двухмассовыми расчетными моделями с учетом упругих свойств, что целесообразно для приближенной оценки сейсмостойкости ПТО.

При моделировании конструкций ПТО жесткими телами расчетные сейсмические нагрузки распределяются подобно распределению их массы и прикладываются независимо в горизонтальных и вертикальном направлениях. При моделировании конструкций ПТО упрощенными моделями с учетом упругих свойств расчетные сейсмические нагрузки определяются с использованием графиков ПСО или СКД.

Статический метод расчета дает оценку сейсмостойкости с погрешностью, идущей в сторону повышения запаса прочности и устойчивости.

2.1.3. ЛСМ следует использовать при расчете сложных линейно-упругих систем ПТО со многими степенями свободы I и II КС с применением ПСО или ПА. В его основу положен принцип разложения внешнего сейсмического воздействия по СФ колебаний. В рамках ЛСМ проводится как расчет на сейсмостойкость несущих металлоконструкций и несущих структур механизмов ПТО, так и расчет прочностной и сейсмической надежности металлоконструкций.

2.1.4. МДА следует использовать для анализа вынужденных колебаний сложных высоконадежных конструкций ПТО IКС в условиях землетрясений по РДМ со многими степенями свободы. В основу МДА положено численное интегрирование уравнений сейсмических колебаний с использованием

моделей сейсмических воздействий, заданных трехкомпонентной ПА. МДА позволяет учитывать диссипативные и нелинейные характеристики конструкций ПТО и практически не накладывает ограничений на условия расчета.

2.1.5. МСД является статистическим методом, позволяющим по вероятностным характеристикам случайного сейсмического воздействия определить вероятностные характеристики реакции конструкции на это воздействие. МСД следует применять для вероятностного расчета НДС конструкций и оценки ее прочностной надежности.

## 2 2. Модели сейсмических воздействий

2 2.1. Землетрясение как случайный процесс может моделироваться как случайной функцией от времени (акселерограммами), так и от частот (СКД, ПСО, ФСП).

2.2 2. При расчете ПТО на сейсмостойкость допускается в качестве моделей сейсмического воздействия использовать СКД. обобщенные детерминистические ПСО, вероятностные ПСО, реальные или синтезированные ПА. вероятностно-статистические ПА, ФСП ПА

2·2 3. СКД — нормированный (безразмерный) СО, который следует использовать в расчетах конструкций и механизмов ПТО по ЛСМ с применением набора коэффициентов. СКД следует принимать по РТМ 108.020 37-81 (1986 г.) и РД 24.090.83-87.

2 2.4. Обобщенные ПСО для различных высотных отметок блоков АС с ВВЭР, соответствующие сейсмичности площадки строительства 9 баллов и относительному демпфированию $\xi = 0{,}02$ (2%). следует принимать по ПиН АЭ Г-7-002-86 (часть IV).

2 2 5 Вероятностные ПСО следует использовать для определения сейсмических сил в расчетах по ЛСМ, при этом расчетные ускорения, соответствующие этим ПСО, принимаются с некоторой вероятностью P их непревышения.

2.2 6 Реальные и (или) синтезированные ПА следует использовать при расчете ПТО по МДА или по МСД. Математическая модель такой трехкомпонентной ПА представляется оцифровками сейсмических ускорений, шаг которых должен быть сопоставлен с частотой Найквиста, чтобы не были пропущены гармоники воздействия.

2.2.7. Вероятностно - статистические ПА следует использовать при вероятностных расчетах металлоконструкций и механизмов ПТО по ЛСМ путем численного интегрирования уравнений движения в главных координатах (осцилляторов) или в качестве трехкомпонентного сейсмического воздействия при расчете по МДА.

2.2.8. ФСП ПА следует использовать при вероятностных расчетах ПТО по ЛСМ с применением МСД

2.2.9 Методика построения вероятностных моделей сейсмических воздействий приведена в настоящих Нормах (часть II).

2.2.10. Учет сухого трения заторможенных ходовых колес передвижных конструкций ПТО о поверхность основания (рельсового пути) следует проводить путем понижения ПСО, учитывающего возможность проскальзывания колесных подвесок по рельсовым путям, если этому не препятствуют опорные и удерживающие противосейсмические устройства. Коэффициенты понижения ПСО следует принимать по РД 24.090.83-87.

2.2.11. Для динамических моделей ПТО, состоящих из первичной (например, пролетного строения полярного крана) и вторичной (механизм подъема груза) систем, сейсмический анализ вторичной системы следует отделять от анализа первичной системы, рассматривая реакцию первичной системы в качестве «входа» для динамического анализа вторичной системы.

### 2.3. Виды нагрузок и воздействий

2.3.1. При поверочных расчетах ПТО следует учитывать следующие четыре вида нагрузок и воздействий: 1) возникающие вследствие выполнения подъемно-транспортных и транспортно - технологических операций; 2) возникающие вне зависимости от выполнения подъемно - транспортных и транспортно - технологических операций; 3) временные; 4) особые.

2.3.2. К нагрузкам первого вида относятся: 1) нормальные нагрузки рабочего состояния, соответствующие нормальным условиям эксплуатации (НУЭ); 2) максимальные (предельные) нагрузки рабочего состояния, возникающие при работе

в наиболее тяжелых условиях эксплуатации с полным (номинальным) грузом ($НУЭ_{max}$).

2.3.3. К нагрузкам второго вида относят: 1) сейсмические нагрузки (ПЗ и МРЗ); 2) нагрузки от удара самолета о защитные оболочки реакторов и другие импульсные и волновые нагрузки.

2.3.4. Временные нагрузки обусловлены тепловыми воздействиями, источниками которых являются возможная течь теплоносителя реакторного блока АС и реакторные установки. Временные нагрузки учитываются в сочетании с эксплуатационными и (или) сейсмическими нагрузками по решению проектировщика АС.

2.3.5. Особые нагрузки: транспортные при перевозке, монтажные, удар в буферы (в т. ч. при землетрясениях), действие взрывной волны.

## 2.4. Эксплуатационные нагрузки

2.4.1. Для ПТО с четко фиксированной технологией перегрузочных и транспортно - технологических операций эксплуатационные нагрузки следует принимать детерминистическими.

2.4.2. Для поверочных расчетов металлоконструкций эксплуатационные нагрузки следует принимать по ОСТ 24.090.72-83, РТМ 24.190.07-85 и РД 24.010.34-88, при расчете несущих структур механизмов — по ОСТ 24.190.06-86, учитывая при этом группы режима их работы.

2.4.3. При расчете конструкций и механизмов ПТО на совместное действие эксплуатационных и сейсмических нагрузок значение расчетных эксплуатационных нагрузок следует умножать на коэффициенты сочетаний $n_c$, принимаемые по табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Коэффициенты сочетаний нагрузок**

| КС ПТО | Значение коэффициента сочетаний | |
|---|---|---|
| | Постоянная нагрузка от массы оборудования | Эксплуатационная нагрузка от массы полезного транспортируемого груза |
| I | 1,0 | 1,0 |
| II а | 1,0 | 1,0 |
| III б | 1,0 | 0,8 |

## 2.5. Сейсмические нагрузки

2.5.1. Вид расчетных внешних сейсмических нагрузок зависит от модели сейсмического воздействия и математического метода расчета ПТО на сейсмостойкость.

2.5.2. В статическом методе расчета сейсмическая нагрузка определяется набором коэффициентов или с использованием СКД или ПСО, в соответствии с требованиями РТМ 108.020.37-81 (1986 г.) или РД 24.090.83-87.

2.5.3. В ЛСМ внешние расчетные сейсмические нагрузки, определяемые по ПСО в зависимости от динамических свойств конструкции, приводятся к форме внешних квазистатических сил, генерируемых самой конструкцией и действующих по направлению степеней свободы РДМ конструкции.

2.5.4. В МДА сейсмическая нагрузка задается в виде оцифровок трехкомпонентной ПА.

2.5.5. В МСД сейсмическая нагрузка задается вероятностно-статистической ПА и (или) ее ФСП.

## 2.6. Сочетания нагрузок, действующих на ПТО

2.6.1. Из разнообразных сочетаний нагрузок, действующих на несущие структуры металлоконструкций и механизмов, следует выделять три основных случая сочетания нагрузок.

2.6.2. Первый случай (I) — нормальные эксплуатационные нагрузки рабочего состояния, возникающие при работе ПТО в нормальных условиях эксплуатации (НУЭ) с транспортируемым грузом нормального веса, при плавных пусках механизмов в ход и торможении. Сочетание нагрузок выбирается наиболее часто встречающееся для характерного эксплуатационного состояния.

2.6.3. Второй случай (II) — максимальные (предельные) эксплуатационные нагрузки рабочего состояния, возникающие при работе ПТО в наиболее тяжелых условиях эксплуатации ($НУЭ_{max}$), с полным (номинальным) транспортируемым грузом при прохождении ПЗ и других случайных нагрузок (удар самолета, взрывная волна и др.). Сочетание нагрузок $НУЭ_{max}$ и ПЗ выбирается наиболее характерное, в пределах действительно возможного, на основе практики расчетов и эксплуатации ПТО.

2.6.4. Третий случай (III) — эксплуатационные нагрузки те же, что и для II случая — НУЭ$_{max}$, при прохождении МРЗ и других случайных нагрузок (удар самолета, взрывной волны, температурные при большой и малой течи теплоносителя и др.). В частности, по этим нагрузкам определяются силы взаимодействия полярных кранов с контейнером для транспортировки ядерного топлива, отработавшего ядерного топлива и ядерных отходов.

## 2.7. Исходные положения по расчетам

2.7.1. Поверочные расчеты ПТО следует проводить на действие эксплуатационных нагрузок и на сочетание эксплуатационных и сейсмических нагрузок.

2.7.1.1. При действии эксплуатационных нагрузок необходимо производить следующие расчеты:

1) на сопротивление усталости (циклическую прочность) по ПиН АЭ Г-7-002-86 и РТМ 24.090.53-79 (I случай сочетаний). Для ПТО режима работы 1К-3К (по ГОСТ 25546-82 и ИСО 4301-80) расчет их металлоконструкций на сопротивление усталости не требуется, а для ПТО режима работы 4К, 5К необходимость расчета следует устанавливать анализом нагруженности;

2) на статическую прочность и устойчивость по ОСТ 24.090.72-83, РТМ 24.190.07-85 и РД 24.010.34-88 (нагрузки НУЭ и НУЭ$_{max}$) и настоящим Нормам;

3) на вибропрочность по ПиН АЭ Г-7-002-86 и настоящим Нормам.

2.7.1.2. При совместном действии эксплуатационных и сейсмических нагрузок следует проводить следующие расчеты ПТО;

1) на прочность и устойчивость ПТО в целом и отдельных его элементов по ПиН АЭ Г-7-002-86, РТМ 108.020.37-81 (1986 г.), РД 24.090.83-87 и настоящим Нормам: для ПТО АС II КС — на II случай сочетаний нагрузок (п. 2. 6. 3), I КС— на III случай сочетаний (п. 2.6.4);

2) на прочностную надежность — по результатам вероятностного расчета НДС конструкций с учетом сейсмической надежности — по настоящим Нормам;

3) на сейсмическую надежность — если задан допустимый уровень сейсмического воздействия — по настоящим Нормам;

4) на безопасность по методу дерева отказов — по настоящим Нормам;

5) на динамическую устойчивость против опрокидывания при землетрясениях — по настоящим Нормам;

6) оптимизационный расчет с учетом требований сейсмостойкости — по настоящим Нормам.

2.7.2. Оценку НДС ПТО следует проводить МДН, МПС или вероятностными методами—по выбору проектировщика.

2.7.2.1. МДН основан на детерминистическом представлении нагрузок и несущей способности. Отклонения величин действительных нагрузок и несущей способности от расчетных учитываются дифференцированным коэффициентом запаса прочности, который допускается принимать по Справочнику по кранам (Т. 1. Под ред. М. М. Гохберга. М.: Машиностроение, 1988. 536 с.), или равным 1,5 (по пределу текучести) в соответствии с ПиН АЭ Г-7-002-86.

Приведенные напряжения, обусловленные действием эксплуатационных и сейсмических нагрузок, определяются в соответствии с теорией наибольших касательных напряжений и сопоставляются с допускаемыми, принимаемыми по ПиН АЭ Г-7-002-86.

Прочность конструкций ПТО в МДН оценивается по наибольшему эквивалентному напряжению в опасной точке с учетом расчетных групп категорий напряжений от максимальных нагрузок или их наиболее неблагоприятных II и III случаев сочетаний.

2.7.2.2. МПС не использует понятия коэффициента запаса и основан на статистическом изучении действительной нагруженности ПТО при эксплуатации и статистическом изучении однородности материала.

Прочность конструкций ПТО в МПС оценивается по наибольшему эквивалентному напряжению в опасной точке с учетом расчетных групп категорий напряжений от максимальных нагрузок или их наиболее неблагоприятных II и III случаев сочетаний с использованием теории наибольших касательных напряжений.

2.7.2.3. В вероятностном методе оценки НДС перемещения и напряжения в элементах конструкции следует определять с учетом вероятности их непревышения ни разу в течение срока службы при всех возможных за это время землетрясениях, а прочность конструкции оценивать показателем прочностной надежности.

## 2.8. Предельные состояния и критерии их оценки

### 2.8.1. Общие требования

2.8.1.1. Металлоконструкции следует рассчитывать как пространственные, допускается также условное расчленение их на плоские системы приближенными методами, выработанными практикой проектирования, но при этом следует учитывать взаимодействие элементов между собой.

2.8.1.2. Для несущих конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля и для податливых конструкций из тонкостенных стержней закрытого профиля следует учитывать депланации поперечных сечений в соответствии с требованиями теории тонкостенных стержней, принимая при этом гипотезу о недеформируемости контура поперечного сечения балок.

2.8.1.3. Геометрическую нелинейность несущих металлоконструкций рекомендуется учитывать при расчете систем, в которых ее учет вызывает изменение усилий и перемещений более чем на 5% без определения изменения направления действия сил, связанных с общими деформациями системы.

2.8.1.4. Статический расчет НДС конструкций ПТО с учетом равномерного действия температуры, заданной осадки опор и неточностей изготовления элементов, протяженных в плане пролетных строений, проводится в случае, когда это оговорено ТЗ.

2.8.1.5. При проектировании сейсмостойких конструкций ПТО необходимо обеспечивать их пространственную неизменяемость, прочность, общую и местную устойчивость пролетных строений; при этом геометрические характеристики сечения нетто элементов конструкций следует находить, определяя невыгоднейшие ослабления. Для элементов, ослабленных отверстиями под обычные болты, при расчетах на прочность и выносливость следует принимать сечения нетто, на устойчивость и жесткость — сечения брутто.

### 2.8.2. Предельные состояния

2.8.2.1. При расчете ПТО на действие эксплуатационных и сейсмических нагрузок, которым оно может подвергаться в течение заданного срока службы, рекомендуется учитывать три предельных состояния, если на этот счет отсутствуют особые требования ТЗ на ПТО.

2.8.2.2. Первое предельное состояние — потеря несущей способности, нарушение прочности или устойчивости формы элементов конструкций и механизмов и динамической устойчивости конструкций ПТО против опрокидывания при действии эксплуатационных и максимальных сейсмических нагрузок, которые могут возникнуть хотя бы один раз за весь срок службы.

2.8.2.3. Второе предельное состояние — нарушение нормальной эксплуатации конструкций ПТО за счет появления усталостных трещин при нарушении допустимого числа циклов нагружения, нарушения выносливости.

2.8.2.4. Третье предельное состояние — возникновение остаточных формоизменений элементов конструкций и перемещений, превышающих допускаемые (прогиб, сдвиг, смещение и др.).

### 2.8.3. Критерий прочности по МДН

2.8.3.1. Оценку прочности элементов ПТО по первому предельному состоянию с использованием МДН осуществляют с учетом требований п. 1.2.14 ПиН АЭ Г-7-002-86 по условию

$$(\sigma_S)_i \leqslant [\sigma]_S;\ i=1,2\ , \qquad (2.1)$$

где $(\sigma_S)_i$ —расчетная группа категорий напряжений от действия эксплуатационных и сейсмических нагрузок;

$[\sigma]_S$ — номинальное допускаемое напряжение материала рассчитываемой системы, принимаемое по табл. 2.2, где $[\sigma]=R^T_{p0,2}/n_{0,2}$;

$R^T_{p0,2}$ — минимальное значение предела текучести при расчетной температуре;

$n_{0,2}$ — коэффициент запаса прочности.

2.8.3.2. Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для крепежных деталей приведены в табл. 2.3 и 2.4.

2.8.3.3. Уровень напряжений в сварных швах не должен превышать величин, указанных в табл. 2.5.

2.8.3.4. Коэффициент снижения прочности стыковых, угловых и тавровых сварных соединений выбирают в зависимости от объема дефектоскопического контроля по табл. 2.6.

Таблица 2.2.

**Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для несущих металлоконструкций ПТО**

| Категория сейсмостойкости | Сочетание нагрузок | Расчетная группа категорий напряжений | Допускаемое напряжение $[\sigma]_S$ |
|---|---|---|---|
| I | $НУЭ_{max}+МРЗ$ | $(\sigma_S)_1$ | $1,4[\sigma]$ |
| | | $(\sigma_S)_2$ | $1,8[\sigma]$ |
| | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | $(\sigma_S)_1$ | $1,2[\sigma]$ |
| | | $(\sigma_S)_2$ | $1,6[\sigma]$ |
| II а<br>II б | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | $(\sigma_S)_1$ | $1,5[\sigma]$ |
| | | $(\sigma_S)_2$ | $1,9[\sigma]$ |

Таблица 2.3.

**Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для крепежных деталей ПТО**

| КС ПТО | Сочетание нагрузок | Нормальное напряжение | | Нормальное напряжение смятия | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Расчетная группа категорий напряжений | Допускаемое напряжение | Расчетная группа категорий напряжений | Допускаемое напряжение |
| I | $НУЭ_{max}+МРЗ$ | $(\sigma_S)_{3W}$ | $0,70\ R_{p0,2}$ | $(\sigma_S)_S$ | $1,8\ R_{p0,2}$ |
| | | $(\sigma_S)_{4W}$ | $1,10\ R_{p0,2}$ | | |
| | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | $(\sigma_S)_{3W}$ | $0,60\ R_{p0,2}$ | | $1,7\ R_{p0,2}$ |
| | | $(\sigma_S)_{4W}$ | $1,00\ R_{p0,2}$ | | |
| II а<br>II б | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | $(\sigma_S)_{3W}$ | $0,75\ R_{p0,2}$ | | $2,0\ R_{p0,2}$ |
| | | $(\sigma_S)_{4W}$ | $1,15\ R_{p0,2}$ | | |

Таблица 2.4.

**Сочетания нагрузок и допускаемые касательные напряжения среза крепёжных деталей ПТО**

| КС ПТО | Сочетание нагрузок | Касательное напряжение среза | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Расчетная группа категорий напряжений | Допускаемое напряжение | |
| | | | в шпонках и штифтах | в болтах и гайках |
| I | $НУЭ_{max}+МРЗ$ | $(\tau_S)_S$ | $0,45\ R_{p0,2}$ | $0,35\ R_{p0,2}$ |
| | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | | $0,40\ R_{p0,2}$ | $0,30\ R_{p0,2}$ |
| II а<br>II б | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | | $0,50\ R_{p0,2}$ | $0,40\ R_{p0,2}$ |

Таблица 2.5

**Допускаемые напряжения в сварных швах металлоконструкций ПТО**

| Метод сварки | КС ПТО | Сочетание нагрузок | Допускаемые напряжения в зависимости от оцениваемых напряжений | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | растяжения $\sigma_p$ | сжатия $\sigma_c$ | среза $\tau_{cp}$ |
| Автоматическая, ручная электродами Э42А и Э50А, в среде защитного газа и контактная стыковая | I | $НУЭ_{max}+МРЗ$ | $1,4[\sigma]_0$ | $1,4[\sigma]_0$ | $0,9[\sigma]_0$ |
| | I; II а; II б | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | $1,2[\sigma]_0$ | $1,2[\sigma]_0$ | $0,8[\sigma]_0$ |
| Ручная обычными электродами | I | $НУЭ_{max}+МРЗ$ | $1,25[\sigma]_0$ | $1,4[\sigma]_0$ | $1,8[\sigma]_0$ |
| | I; II а; II б | $НУЭ_{max}+ПЗ$ | $1,1[\sigma]_0$ | $1,2[\sigma]_0$ | $0,7[\sigma]_0$ |

Таблица 2.6

**Коэффициент снижения прочности сварных соединений металлоконструкций ПТО**

| Объем радиографического или ультразвукового контроля, % | Максимальное значение коэффициента снижения прочности |
|---|---|
| 100 | 1,0 |
| 50 | 0,9 |
| 25 | 0,85 |
| Не менее 10 | 0,8 |

Коэффициент снижения прочности замкнутых по периметру сварных соединений балок пролетных строений, выполненных с разделкой основного металла под шов, принимают равным 1,0.

2.8.3.5. Оценку НДС несущих структур механизмов следует проводить по существующим НТД: барабаны канатные — по РТМ 24.090.21-76, подшипники качения — по РТМ 24.090.17-76, валы и оси — по РТМ 24.090.12-76, соединения шпоночные — по РТМ 24.090.16-76, соединения деталей с гарантированным натягом — по РТМ 24.090.18-76, зубчатые зацепления — по ГОСТ 21354-75, полагая полученные внутренние усилия от совместного действия эксплуатационных и сейсмических нагрузок максимально возможными за период эксплуатации ПТО.

2.8.3.6. Расчет местной и общей устойчивости формы несущих элементов металлоконструкций по первому предельному состоянию с учетом сейсмических воздействий производится по решению проектной организации на основе статического расчета по РТМ 24.190.07-85 и (или) по НТД 38.434.56-84 МХО ИАЭ, а при высоте главных балок пролетных строений более 3,2 м рекомендуется использовать РТМ 24.090.62-81.

Деформационный расчет устойчивости процесса деформирования пространственных конструкций ПТО как систем следует проводить в случае, оговоренном в ТЗ, по настоящим Нормам.

При расчете элементов конструкций оборудования на устойчивость формы допускаемые напряжения следует принимать по РТМ 108.020.37-81 (1986 г.).

### 2.8.4. Критерий прочности МПС

2.8.4.1. Если проектировщик располагает необходимыми данными, поверочные расчеты ПТО допускается проводить МПС.

2.8.4.2. Коэффициент перегрузки нормативных эксплуатационных нагрузок при расчете ПТО по предельным состояниям, указанным в п. 2.8.2, устанавливается проектировщиком по результатам анализа эксплуатационной надежности ПТО в условиях АС, в соответствии с требованиями ОСТ 24.090.72-83 и РТМ 24.190.07-85.

Коэффициент перегрузки внешних расчетных сейсмических нагрузок следует принимать равным 1,0.

2.8.4.3. При расчетах прочности систем ПТО по первому предельному состоянию необходимо соблюдение условия

$$(\sigma_S)_i \ll R_{yn}\gamma_m^{-1}\gamma_c; \quad i = 1,2 , \qquad (2.2)$$

где $(\sigma_S)_i$ —наибольшее расчетное эквивалентное напряжение в опасной точке сечения элемента конструкции от максимальных эксплуатационных и сейсмических нагрузок, соответствующее расчетной группе категорий напряжений (см. табл. 2.2); $R_{yn}$ — нормативное значение предела текучести материала, принимаемое по настоящим Нормам, а также по табл. 51-54 Приложения 1 СНиП II-23-81 и (или) РТМ 24.190.07-85; $\gamma_m$ — коэффициент надежности по материалу, принимаемый по табл. 2.7;

$\gamma_c$ — коэффициент условий работы ПТО при эксплуатационных и сейсмических воздействиях, зависящий от того, насколько срок службы оборудования меньше повторяемости землетрясений (ПЗ или МРЗ), и принимаемый по табл. 2.8.

Таблица 2.7

**Коэффициенты надежности стального проката по материалу**

| Марка стали | ГОСТ, ТУ | Коэффициент надежности по материалу $\gamma_m$ |
|---|---|---|
| ВСт3сп5 | ГОСТ 380-71 | 1,05 |
| 16Д | ГОСТ 6713-75 | 1,05 |
| 09Г2С | ТУ 14-3-500-76 | 1,05 |
| 09Г2-12 | ГОСТ 19282-73 | 1,05 |
| ВСт3сп5 | ТУ 14-1-3023-80 | 1,025 |
| 15ХСНД-15 | ГОСТ 19282-73 | 1,1 |
| 15ХСНД-15 | ГОСТ 19281-73 | 1,1 |
| 09Г2С-15 | ГОСТ 19282-73 | 1,1 |
| 09Г2СД-15 | ГОСТ 19281-73 | 1,1 |
| 10ХСНД | ГОСТ 6713-75 | 1,125 |
| 15ХСНД-40 | ГОСТ 6713-75 | 1,125 |
| 15ХСНД | ГОСТ 6713-75 | 1,165 |

Таблица 2.8

Коэффициенты условий работы ПТО

| КС конструкции ПТО | Коэффициент условий работы $\gamma_c$ | |
|---|---|---|
| | При расчетах на прочность в условиях сложного сопротивления | При расчетах на устойчивость |
| I | 1,2 | Элементы гибкостью свыше 100—1,0<br>То же, гибкостью до 20—1,2 |
| II а<br>II б | 1,25 | То же, гибкостью от 20 до 100 — от 1,2 до 1,0 (по интерполяции) |

2.8.5. Критерий прочности по второму и третьему предельным состояниям

2.8.5.1. Расчет на выносливость металлоконструкций по второму предельному состоянию является поверочным и производится после расчета статической прочности и устойчивости, когда в проекте приняты все конструктивные исполнения узлов и соединений и известны их эффективные коэффициенты концентрации напряжений.

Расчет на выносливость по решению проектной организации может быть проведен по ПиН АЭ Г-7-002-86 или РТМ 24.190.07-85, причем в общем числе циклов работы оборудования за срок его службы, установленный по ГОСТ 25546-82, от нагрузок НУЭ следует учесть число циклов нагружения от всех ожидаемых за срок службы оборудования землетрясений, характеризуемых баллом 5 и выше до ПЗ включительно. В этом случае в числе исходных данных должны быть представлены акселерограммы и спектры реакций для уровня установки ПТО для всех принятых в расчете землетрясений. Кроме того, расчет на выносливость допускается производить по максимальным амплитудам напряжений, определенным с учетом нагрузок НУЭ $_{max}$ +ПЗ. При этом число циклов нагружения следует принимать равным 50.

Указанный расчет допускается не проводить, если суммарная повреждаемость от нагрузок, действующих на оборудование, без учета сейсмических воздействий в процессе эксплуатации АС не превышает 0,8.

2.8.5.2. Условие третьего предельного состояния заключается в удовлетворении требований статической жесткости

$$V \leqslant [V], \qquad (2.3)$$

где V — расчетные упругие перемещения элементов конструкции;

[V] — предельно допустимые перемещения, величина которых определяется недопустимостью соударения рассчитываемой конструкции с соседними во время землетрясений.

Предельные перемещения (недопустимые перекосы, соударения и др.) при расчете по третьему предельному состоянию определяют в случаях, указанных в ТЗ на проектирование оборудования в зависимости от эксплуатационных условий.

### 2.8.6. Критерий прочности вероятностного метода расчета

При вероятностном расчете значения полученных при расчете НДС напряжений соответствуют вероятности их непревышения при возможных землетрясениях. Критерием прочности является зависимость

$$Q \leqslant [Q], \qquad (2.4)$$

где Q —риск, определяемый при оценке прочностной надежности с помощью интеграла-свертки;

[Q] —нормативный риск, определяемый по формуле

$$[Q] = 10^{-4} \cdot K_c \cdot T \cdot L^{-1}. \qquad (2.5)$$

Здесь

$K_c$— коэффициент социальной значимости;

T — срок службы оборудования;

L = 1 для оборудования с экономической ответственностью и L = 1000 для оборудования с социальной ответственностью.

### 2.8.7. Критерии динамической устойчивости положения в пространстве ПТО при землетрясениях

2.8.7.1. Действие кратковременной сейсмической нагрузки ПЗ или МРЗ может привести к отрыву ходовых колес

свободно-стоящего ПТО (кранов, МП, др.), не лежащих на ребре опрокидывания, от рельсового пути. Однако не обязательно за этим последует потеря устойчивости. Возможное кратковременное нарушение контакта ходовых колес с основанием может восстановиться. Не допускается при этом, чтобы отрыв принял предельные значения (см. формулу (2.3)).

2.8.7.2. Для оценки динамической устойчивости ПТО на рельсовом ходу следует применять совместно два критерия: 1) опрокидывание (критические углы поворота свободностоящего оборудования в пространстве); 2) сход (соскок) с рельсового пути или другого фундаментного основания (при максимальном смещении тел, составляющих ПТО).

2.8.7.3. Опрокидывание свободностоящего ПТО наступит при совпадении следа центра масс оборудования с осью опрокидывания.

2.8.7.4. Сход (соскок) ПТО, например грузоподъемного крана, наступит при отрыве ходовых колес моста и (или) грузовой тележки от рельсового пути или другого фундаментного основания и смещении их на величину V, большую допустимой $[V]$ (см. формулу (2.3)).

2.8.7.5. Для оценки динамической устойчивости свободностоящего ПТО дополнительно рекомендуется использовать, по отдельности или совместно, следующие критерии:

— боковые ускорения или боковые (опрокидывающие) силы;

— величину нормальной реакции в опорно-ходовых устройствах ПТО;

— степень приближения проекции центра масс оборудования в плоскости опорного контура к осям опрокидывания;

— соотношение между сейсмическим опрокидывающим и собственным восстанавливающим моментами относительно оси опрокидывания с коэффициентом запаса по устойчивости 1,07.

2.8.7.6. Для ПТО — грузоподъемных кранов, МП и конструкций на рельсовом ходу, к ним приравниваемым, — не оборудованных сейсмозащитными противоопрокидывающими устройствами, условия динамической устойчивости (пп. 2.8.7.3-2.8.7.4) должны обеспечиваться как при расчете

собственной устойчивости (без транспортируемого полезного груза), так и при расчете грузовой устойчивости (с грузом).

2.8.8. Оптимизационные критерии металлоконструкций ПТО

2.8.8.1. Оптимизационный расчет параметров поперечных сечений элементов пространственных металлоконструкций ПТО рекомендуется осуществлять с целью недопустимости резонансных колебаний, снижения внешних сейсмических нагрузок и обеспечения минимальной массы и НДС оборудования.

2.8.8.2. В качестве оптимизационных критериев рекомендуются:

1) функция $\varphi_{[a,b]}(\omega)$ для каждого запретного частотного интервала [a, b], причем:

$$\varphi_{[a,b]}(\omega) = \begin{cases} 0, \text{ если } \omega \in [a, b]; \\ (\omega - a)^p (b - \omega)^p, \text{ если } \omega \in [a, b], \end{cases} \quad (2.6)$$

где $\omega$ — СЧ конструкции;

p — число, выбор которого позволяет получить функцию (2.6) с нужным числом производных высокого порядка;

2) масса конструкции;

3) параметры НДС заданных (если необходимо—всех) элементов конструкции.

2.8.9. Критерий оценки вибропрочности металлоконструкций

2.8.9.1. Расчет на вибропрочность рекомендуется проводить применительно к элементам конструкций ПТО, подвергающихся высокочастотному вибрационному нагружению в соответствии с требованиями ПиН АЭ Г-7-002-86 (часть 1).

2.8.9.2. Основным критерием оценки вибропрочности рекомендуется считать условие отстройки СЧ $\omega_m$ колебаний конструкций по каждой m форме от дискретных частот детерминированного возбуждения $\Theta$, которое для первых трех форм колебаний в каждой плоскости имеет вид

$$\omega_m/\Theta \geqslant 1{,}3 \text{ или } \omega_m/\Theta \leqslant 0{,}7; \; m = 1, 2, 3. \quad (2.7)$$

Для более высоких форм колебаний, при наличии высокочастотных возбудителей вибраций, условие отстройки имеет вид

$$\omega_m/\Theta \geqslant 1{,}1 \text{ или } \omega_m/\Theta \leqslant 0{,}9;\ m = 4,\ 5,\ 6, \ldots . \qquad (2.8)$$

2.8.9.3. Для оценки СЧ колебаний пространственных структур конструкций и механизмов ПТО рекомендуется расчетная методика, изложенная в настоящих Нормах (часть II).

2.8.9.4. В качестве одной из практических методик обеспечения условий отстройки СЧ (2.7) и (2.8) рекомендуется оптимизационный расчет, приведенный в настоящих Нормах (часть II).

2.8.9.5. Для оценки уровня вибраций и вибронапряженности рекомендуется расчетная методика, изложенная в настоящих Нормах (часть II) для геометрически нелинейных пространственных стержневых систем произвольного вида с распределенными массами. Допускаются как другие расчетные методики, так и методы экспериментальных исследований вибронагруженности (см. раздел 5 приложения 8 ПиН АЭ Г-7-002-86).

2.8.9.6. В случае невозможности выполнения требований условий (2.7) и (2.8), необходимо показать, что уровни вибраций конструкций находятся в допустимых пределах.

2.8.9.7. Расчет на циклическую прочность с учетом вибронагруженности рекомендуется проводить, руководствуясь требованиями п. 2.8.5.1 настоящих Норм.

## 3. РАСЧЕТНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПТО

### 3.1. Общие требования

3.1.1. Требуется, чтобы при анализе сейсмостойкости РДМ ПТО, как динамические идеализированные механические системы с конечным числом степеней свободы, достаточно полно отражали основные динамические свойства действительных конструкций, так как по реакции расчетной модели на заданное внешнее сейсмическое воздействие оценивается сейсмостойкость реального сооружения.

3.1.2. Следует разрабатывать такие расчетные модели ПТО, пользование которыми не приводило бы к отрыву антисейсмического проектирования от общего процесса проектирования оборудования.

3.1.3. Для антисейсмического проектирования ПТО I КС рекомендуется разрабатывать расчетные модели, учитывающие пространственный характер работы конструкций и механизмов.

3.1.4. При определении внешних расчетных сейсмических нагрузок статическим методом на предварительных стадиях антисейсмического проектирования допускается использовать плоские одно-, двух- и трехмассовые балочные РДМ. Например, для кранов — как с приведением транспортируемого полезного груза на гибком подвесе к балке, так и без приведения.

3.1.5. Следует учитывать, что расчет на сейсмостойкость металлоконструкций и несущих структур механизмов ЛСМ состоит из двух этапов: на первом этапе вычисляют внешние расчетные сейсмические квазистатические нагрузки; на втором — нагрузки распределяются и определяются внутренние усилия. Поэтому двум этапам расчета соответствуют две расчетные модели — динамическая и статическая. Рекомендуется, чтобы статическая расчетная модель вытекала из динамической посредством простых упрощений.

3.1.6. Расчетную модель систем ПТО следует принимать в соответствии с его проектной геометрической схемой по конструкторской документации. При соответствующем обосновании расчет большепролетных конструкций мостового типа на квазистатические сейсмические нагрузки с целью определения внутренних усилий следует производить по деформированной расчетной схеме, учитывающей влияние геометрической нелинейности конструкции под нагрузкой (см. п. 3.1.5).

3.1.7. При обосновании сейсмостойкости ПТО выбор и обоснование расчетной модели следует считать определяющим на степень трудности расчета и степень его точности.

3.1.8. Пролетные строения кранов и перегрузочных машин I и II КС рекомендуется представлять пространственными стержневыми системами с распределенными массами,

несущими сосредоточенную массу полезного груза и элементов исполнительных механизмов. Такие модели следует использовать для определения несущей способности и деформативности конструкций, где решающее значение имеет сложное напряженное состояние. Для конструкций II КС допускаются упрощения, они могут представляться плоскими или одномерными стержневыми расчетными моделями (см. п. 3.1.4).

3.1.9. Упрощения и идеализации, используемые при разработке расчетных моделей ПТО I и II КС, достаточно строгие и удобные для антисейсмического проектирования, должны быть обоснованы методами динамики сооружений.

3.1.10. При расчетном обосновании устойчивости положения в пространстве свободностоящих и передвижных конструкций ПТО при сейсмических воздействиях расчетную модель рекомендуется представлять в виде системы пространственных жестких тел.

3.1.11. Для ПТО с переменными параметрами внешних эксплуатационных состояний — массой транспортируемого груза, положением грузовой тележки, высотой подъема груза и др. — расчет сейсмостойкости следует проводить на основе предварительного анализа РДМ с целью установления наиболее невыгодного эксплуатационного состояния, определяемого, например, близостью или совпадением частот собственных колебаний системы с частотами ПСО, на которых наблюдаются наибольшие сейсмические ускорения.

Для оборудования простой геометрической формы нагрузки от землетрясений следует принимать действующими в направлении продольной и поперечной осей пролетного строения и по вертикали. При расчете оборудования (или его подсистем) сложной формы учитывают наиболее опасные направления действия сейсмических нагрузок.

3.1.12. При расчетном обосновании сейсмостойкости передвижного оборудования по рельсовым путям и больших относительных сейсмических ускорениях следует учитывать скольжение и качение ходовых колес по их рельсовым путям (вдоль и поперек), если это скольжение (качение) не блокировано противосейсмическими устройствами или направляющими роликами.

Для эксплуатационных полярных кранов реакторных установок с круговым рельсовым путем допущение о скольжении ходовых колес в направлении, перпендикулярном мосту, принимается проектной организацией.

Сопротивление сдвигу ПТО следует учитывать при разработке расчетных моделей посредством введения связей, препятствующих перемещению оборудования относительно опорных строительных конструкций АС.

## 3.2. Характеристики РДМ

### 3.2.1. Инерционные и жесткостные характеристики РДМ ПТО

3.2.1.1. Определение жесткостных и инерционных характеристик РДМ систем ПТО рекомендуется осуществлять аналитическими и (или) численными методами. Возможности аналитических методов ограничены, поэтому практические задачи расчета конструкций и механизмов ПТО на сейсмостойкость для уравнений, составляющих математическую постановку задач динамики систем, целесообразно решать численными методами, наиболее предпочтительным из которых следует считать МКЭ.

3.2.1.2. МКЭ следует рассматривать как математическую задачу дискретизации континуальных систем с бесконечным числом степеней свободы и сведения их к стержневым системам с конечным числом степеней свободы.

Для расчета на сейсмостойкость систем ПТО допускается использовать и другие апробированные в инженерной практике численные методы.

3.2.1.3. Матрицы жесткости [K] и масс [M] РДМ систем ПТО с конечным числом степеней свободы рекомендуется строить с использованием вариационных принципов, изложенных в настоящих Нормах (часть II).

### 3.2.2. Диссипативные характеристики РДМ ПТО

3.2.2.1. Диссипацию энергии в элементах ПТО при сейсмических колебаниях следует учитывать с помощью задания величины относительного демпфирования $\xi$ или логарифмического декремента колебаний $\delta_э$ для упругой системы в целом или для отдельных ее элементов (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Значение относительного демпфирования $\xi$ (в долях от критического) и логарифмического декремента $\delta_з$ ПТО**

| Тип оборудования | | Значения демпфирования | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ПЗ | | МРЗ | |
| | | $\xi$ | $\delta_з$ | $\xi$ | $\delta_з$ |
| Металлоконструкции | сварные | 0,02 | 0,12 | 0,04 | 0,25 |
| | сварные с болтовыми соединениями | 0,04 | 0,25 | 0,07 | 0,44 |
| Механизмы подъема груза | | 0,05 | 0,30 | 0,08 | 0,50 |

3.2.2.2. Связь относительного демпфирования $\xi$ с логарифмическим декрементом колебаний $\delta_з$ ПТО допускается устанавливать по приближенной формуле: $\xi = \delta_з / 2\pi$.

3.2.2.3. Логарифмический декремент колебаний $\delta_з$ металлоконструкций кранов и перегрузочных машин мостового типа при расчетах на сейсмические нагрузки допускается принимать по табл. 3.2, в зависимости от отношения высоты $H_б$ пролетных балок моста к их пролету $L_{кр}$ (т.е. в зависимости от $H_б/L_{кр}$).

Таблица 3.2

**Логарифмический декремент колебаний пролетных строений ПТО мостового типа в зависимости от отношения высоты $H_б$(м) балок к пролету моста $L_{кр}$(м)**

| Характеристика землетрясения | $H_б/L_{кр}$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1/6 | 1/8 | 1/10 | 1/12 | 1/14 | 1/16 | 1/18 | 1/20 | 1/22 | 1/24 |
| | Логарифмический декремент $\delta_з$ | | | | | | | | | |
| ПЗ | 0,24 | 0,21 | 0,16 | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,045 | 0,03 | 0,025 |
| МРЗ | 0,52 | 0,46 | 0,34 | 0,25 | 0,20 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,085 |

3.2.2.4. Диссипативные характеристики несущих систем металлоконструкций передвижного ПТО на рельсовом ходу — эксплуатационных полярных реакторных кранов, перегрузочных машин и приравниваемых к ним конструкций—до-

пускается принимать с завышением по отношению к значениям, приведенным в пп. 3.2.2.1., 3.2.2.3., в связи с наличием конструктивных особенностей, основными из которых следует считать: 1) трение в опорно-ходовых устройствах ПТО — боковое проскальзывание ходовых колес и направляющих роликов относительно ходовых рельсов, трение в опорах балансирных устройств и подшипниковых узлах от боковых распорных сил, возникающих при изгибах пролетных строений; 2) трение подтележечных рельсов о верхние поясные листы пролетных балок, возникающее в результате относительного сдвига соприкасающихся поверхностей при изгибе балок пролетных строений под нагрузкой (эксплуатационной и сейсмической); 3) поглощение энергии колебаний поддерживающими строительными конструкциями; 4) поглощение энергии колебаний в канатных полиспастных системах механизмов подъема груза в результате значительного трения между проволоками в прядях канатов, а также в местах контакта грузовых канатов с барабанами и направляющими блоками.

3.2.2.5. Рассеянием энергии колебаний в редукторных системах механизмов подъема груза ПТО, ввиду относительно большой их жесткости по сравнению с канатами полиспастных систем, допускается пренебречь.

### 3.2.3. Требования к построению РДМ ПТО

3.2.3.1. Построение РДМ следует начинать с определения положения точек (узлов) приведения инерционных нагрузок. Узлы целесообразно располагать в местах наибольшей концентрации инерционных нагрузок в местах наибольшей податливости системы и в точках конструктивного соединения элементов системы. Для каждого узла присваивается от 3 до 7 независимых обобщенных координат (степеней свободы), однозначно определяющих положение расчетной модели в ОСК OXYZ (три линейных перемещения, два — угловых, угол закручивания и депланация).

3.2.3.2. Размер элементов, соединяющихся в узловых (дискретных) точках расчетной модели, следует принимать, исходя из принципов дискретизации. В качестве интерполяционных аппроксимирующих функций перемещений межуз-

ловых точек элементов рекомендуется использовать полиномы Эрмита, точные или приближенные дифференциальные уравнения изогнутой оси элементов и другие балочные функции

3.2.3.3. При назначении числа динамических степеней свободы РДМ следует учитывать, что большее число степеней свободы дает лучшую аппроксимацию истинного характера динамической реакции конструкции или механизма, но находится в противоречии со сложностью расчета.

3.2.3.4 Число и направление степеней свободы дискретных узлов РДМ следует назначать, исходя из заранее установленного уровня высшей СЧ на основе анализа парциальных систем расчетной модели. Учитывая относительно низкий частотный характер сейсмического воздействия (1 — 30Гц), расчетные модели следует строить так, чтобы высшая СЧ системы была не более 100 Гц, что достигается уменьшением числа учитываемых степеней свободы, определяющих высшие формы колебаний системы.

При обосновании прочности и сейсмостойкости оборудования, рассчитываемого на импульсную нагрузку, возникающую при ударе о здание АС падающего самолета или упругих тел, расчетные модели конструкций и механизмов следует строить так, чтобы их высшая СЧ достигала 500 Гц.

3.2.3.5. Учет иерархии подсистем при формировании РДМ следует проводить таким образом, чтобы она верно отражала физическую действительность:

1) физические и механические характеристики конструкционных способов и средств соединения отдельных элементов в системе;

2) распределение масс;

3) характеристики жесткости и их топологические изменения в пространстве и во времени,

4) граничные условия, определяемые характером наложенных связей в подвижных и неподвижных опорах;

5) процессы, происходящие в рассчитываемой системе (например, упругие деформации должны моделироваться с помощью пружин, амортизаторов и др ),

6) качество моделирования динамических характеристик конструкционной системы в целом или ее дискретных диапазонов.

3.2.3.6. При построении РДМ металлоконструкций ПТО влияние транспортируемого полезного груза на гибком подвесе в высшем положении следует учитывать как при жестком подвесе.

3.2.3.7. Построение РДМ континуальных пластинчатых и оболочечных конструкций ПТО рекомендуется осуществлять методом дискретизации с использованием МКЭ:

1) представление пластин и оболочек набором определенного числа плоских или пространственных элементов, как правило, треугольного или прямоугольного типов;

2) представление пластин и оболочек набором сопряженных между собой продольных, поперечных и диагональных стержней, жесткости которых подбираются из равенства потенциальных энергий деформаций континуальной и дискретной систем.

В инженерных расчетах на сейсмостойкость преимущественное предпочтение следует отдавать второму методу, как наиболее простому и легко поддающемуся автоматизации на ЭВМ с использованием широкоупотребительных программ ЭВМ для стержневых систем.

3.2.3.8. Построение РДМ пространственных и плоских решетчатых систем ПТО, моделирование которых стержнями приходит в противоречие с трудоемкостью расчетов даже с использованием ЭВМ, рекомендуется осуществлять путем замены отсеков плоских ферм энергетически эквивалентными стенками, работающими только на сдвиг, что для случая пространственных ферм приводит к получению пространственных коробчатых тонкостенных балок, работающих на изгиб и кручение, причем изгибные жесткости элементов расчетной модели конструкции с эквивалентными стенками определяют, исходя из учета только поясов четырехплоскостной решетчатой системы.

После расчета пространственной тонкостенной системы, включающей в себя замкнутые коробчатые эквивалентные стержни, необходимо вернуться к исходной пространственной ферме и проанализировать напряженное состояние ее отдельных элементов.

### 3.2.4. Дополнительные требования к построению РДМ механизмов

3.2.4.1. Рекомендуется учитывать, что точность динамического расчета механизмов типа «электродвигатель-редуктор-исполнительный орган» на сейсмические воздействия зависит от принятой РДМ механической системы и определения ее инерционных, жесткостных, диссипативных и возмущающих параметров.

3.2.4.2. При построении расчетных моделей рекомендуется учитывать, что низкочастотные колебания, например в механизмах подъема груза, генерируются на упругих деформациях грузовых канатов полиспастной системы, опорного подшипника грузозахватного устройства и на изгибных и крутильных деформациях валов и податливостях зубьев зубчатых передач редукторов.

Исключение из расчетных моделей механизмов крутильных и изгибных колебаний валов редукторов приводит к завышению на 10—13% величины расчетной сейсмической нагрузки по сравнению с моделями, в которых изгибные и крутильные колебания валов учитываются.

3.2.4.3. Учет диссипативных свойств системы подъема груза при расчете механизмов на сейсмостойкость ЛСМ следует проводить на этапе определения уровня внешнего сейсмического воздействия, изменяя величину ПСО в зависимости от выбранного уровня диссипации (см. табл. 3.1).

3.2.4.4. Построение РДМ механизмов допускается осуществлять с использованием многоступенчатого итерационного процесса. На стадии эскизного проектирования используют жесткую модель с одной степенью подвижности. Более сложные модели, учитывающие упругие свойства податливых элементов, следует использовать для исследования низкочастотных колебательных процессов.

3.2.4.5. При построении РДМ несущих структур механизмов подъема груза ПТО I КС, с целью расчета их НДС при эксплуатационных и сейсмических воздействиях, следует учитывать:

1) изгибные колебания валов;
2) крутильные податливости валов;
3) податливость подшипниковых опор;

4) податливость зубьев зубчатых передач;

5) упругие характеристики канатов полиспастных систем;

6) массы зубчатых колес (шестерен) при поперечных колебаниях валов, причем распределенную массу валов следует приводить к центрам масс колес (шестерен);

7) массовые моменты инерции валов, колес и шестерен при вращении и крутильных колебаниях, причем моменты инерции валов следует приводить к моментам инерции колес и шестерен;

8) массовый момент инерции барабана при вращении и крутильных колебаниях;

9) массу барабана при изгибных колебаниях; кроме того, барабан механизма подъема груза допускается считать абсолютно жестким телом, при этом массу барабана необходимо привести к выходному концу выходного вала редуктора;

10) момент инерции ротора электродвигателя при вращении и крутильных колебаниях.

3.2.4.6. При построении РДМ несущих структур механизмов подъема груза ПТО I КС для расчета их НДС при эксплуатационных и сейсмических воздействиях допускается пренебрегать:

для механических систем в целом:

1) распределением массы валов;

2) моментами инерции зубчатых колес, шестерен и валов при их повороте вокруг поперечных осей в результате изгибных колебаний валов;

3) осевыми деформациями валов;

4) осевой податливостью подшипниковых опор;

5) осевыми колебаниями валов;

6) изменением направления общей нормали зубчатых зацеплений из-за наклона зубьев колес;

7) податливостью дисков зубчатых колес и шестерен;

для планетарных дифференциальных систем типа 2k-h:

1) изгибными колебаниями осей солнечного колеса и сателлитов;

2) податливостью обода короны;

3) податливостью подшипниковых опор короны солнечного колеса и сателлитов;

для полиспастных канатных систем:

1) деформациями осей верхних блоковых обойм и осей блоковых обойм подвески;

2) проскальзыванием канатов по блокам полиспастной системы;

3) поперечным или осевым смещением блоков в обоймах за счет деформаций осей и подшипников.

3.2.4.7. При построении РДМ несущих структур механизмов подъема груза ПТО II КС с целью расчета их НДС при эксплуатационных и сейсмических воздействиях допускаются и другие упрощения, сверх указанных в п. 3.2.4.6, по решению проектировщика.

3.2.4.8. Наиболее неблагоприятным транспортным положением грузовой тележки с механизмом подъема груза следует считать для кранов с гибким подвесом груза положения у края моста, при котором расчетный ПСО принимается одинаковым для РДМ как металлоконструкций, так и механизма подъема груза.

3.2.4.9. Высоту подъема транспортируемого полезного груза при построении РДМ механизмов подъема груза рекомендуется принимать наиболее характерной при выполнении подъемно-транспортных и транспортно-технологических операций.

3.2.4.10. При расчете механизмов подъема груза ПТО на эксплуатационные и сейсмические воздействия нагрузками от колебаний транспортируемых грузов на канатных подвесках в горизонтальной плоскости допускается пренебречь.

При необходимости учета влияния колебаний транспортируемого груза на канатном подвесе при горизонтальном сейсмическом воздействии допускается принимать, что маятниковое движение груза, подвешенного к канатам, вызывает дополнительные динамические силы в канатах, не превышающие 10% статического полезного груза.

# 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПТО НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

## 4.1. Входные данные

4.1.1. Входные данные по РДМ, в зависимости от выполняемого расчета, следует принимать по перечню:

1) общая $OXYZ$ и местные $oxyz$ для каждого элемента системы координат;

2) характеристика распределенных и сосредоточенных масс рассчитываемой системы для определения инерционных параметров ее РДМ;

3) демпфирующие свойства системы следует принимать по табл. 3.1. При наличии экспериментального обоснования допускается использование других значений относительного демпфирования:

4) геометрические размеры поперечных сечений элементов несущей структуры рассчитываемой системы, по которым следует определять жесткостные параметры ее РДМ, в т. ч. параметры зубчатых зацеплений механизмов;

5) начальные параметры и граничные условия, необходимые для установления наложенных связей на РДМ рассчитываемой системы, и их влияние на ее число степеней свободы;

6) характер соединения элементов и узлов в рассчитываемой системе и их координаты в принятой ОСК $OXYZ$;

7) конструктивно-технологическая характеристика оборудования, в т. ч. характеристика: зазоров в контактных парах; степени подвижности; поверхностей и коэффициентов трения на них; опорно-ходовых устройств оборудования и их влияние на связи РДМ системы с «землей»;

8) при проведении оптимизационных расчетов по выбору основных размеров требуются дополнительные характеристики металлоконструкций: а) ограничения на геометрические параметры поперечных сечений отдельных элементов; б) частотные интервалы, являющиеся запретными для СЧ металлоконструкций, на которых в условиях резонанса могут генерироваться неблагоприятные для нее внешние расчетные сейсмические нагрузки;

в) ограничения на массу металлоконструкции; г) ограничения на параметры НДС несущих структур системы;

9) при проведении частотной отстройки собственных колебаний оборудования от частот детерминированного возбуждения, как основного условия обеспечения вибропрочности, требуется неполный спектр СЧ конструкции, вплоть до частот, превышающих детерминированные частоты возбуждения;

10) значения нормативных сопротивлений материалов, *используемых для изготовления оборудования, принимаются* в виде минимального значения предела текучести и (или) временного сопротивления;

11) критерии оценки предельных состояний и оценочные условия по проводимым расчетам в соответствии с требованиями настоящих Норм;

12) структурная схема систем ПТО и интенсивности отказов ее отдельных подструктур и компонент, необходимые для оценки безопасности по методу дерева отказов.

4.1.2. Входные данные по воздействиям зависят от вида воздействия.

4.1.2.1. Эксплуатационные нагрузки следует принимать по п. 2.4.

4.1.2.2. Модели сейсмических воздействий—СКД, ПСО и ПА—приведены в п. 2.2.

4.1.2.3. Сочетания эксплуатационных нагрузок и сейсмических воздействий приведены в п. 2.6.

4.1.2.4. Математические методы, используемые проектировщиком для расчетного анализа сейсмостойкости, в зависимости от модели сейсмического воздействия, изложены в п. 2.1.

4.1.2.5. Предельно допустимые уровни сейсмической реакции устанавливаются в соответствии с сейсмологическими данными.

### 4.2. Структура поверочного расчета на сейсмостойкость

Поверочный расчет ПТО на сейсмостойкость должен содержать:

1. Расчет статической прочности на сочетания эксплуатационных нагрузок НУЭ и $НУЭ_{max}$.
2. Расчет на прочность и устойчивость оборудования 1 КС на сочетания нагрузок III случая.

3. Расчет на прочность и устойчивость оборудования II КС на сочетания нагрузок II случая.

4. Расчет оборудования I и II КС на прочностную надежность при действии эксплуатационных и сейсмических нагрузок в соответствии с их нормативными сочетаниями.

5. Расчет грузовой (с полезным грузом) и собственной (без груза) устойчивости положения в пространстве свободно перемещающегося ПТО (грузоподъемных кранов, МП, станционных платформ и др.) при сейсмических воздействиях.

6. Кроме расчетов, указанных в поз. 1—5, по решению проектной организации при антисейсмическом проектировании ПТО рекомендуется проведение следующих расчетов:

— оптимизационный расчет;
— сейсмической надежности;
— вибропрочности;
— безопасности, с использованием метода дерева отказов.

### 4.3. Требования к расчету статической прочности

4.3.1. Настоящими Нормами на этапе эскизного проектирования допускается использование любого приемлемого для проектировщика метода поверочного прочностного расчета, вплоть до численных методов, зарекомендовавших себя в теории подъемно-транспортного машиностроения.

4.3.2. Для оборудования I КС, РДМ которых должны учитывать пространственный характер работы его несущих систем, рекомендуется широкоупотребительный МКЭ.

4.3.3. Оценка статической прочности на этапе определения НДС конструкций должна осуществляться МДН или МПС с использованием третьей теории прочности.

4.3.4. В качестве критериев статической прочности при расчете на сочетание эксплуатационных нагрузок допускается использовать рекомендации общемашиностроительных НТД—ОСТ 24.090.72-83, РТМ 24.190.07-85 и ОСТ 24.190.06-86.

### 4.4. Порядок расчета на сейсмостойкость

4.4.1. Порядок расчета ПТО на сейсмостойкость зависит от выбранного математического метода расчета (ЛСМ, МСД, МДА) и состоит в следующем:

4.4.2. Разрабатывается конструктивная схема системы ПТО и строится ее РДМ.

4.4.3. На основании РДМ формируется база исходных (входных) данных как по рассчитываемой системе, так и по воздействиям.

4.4.4. Осуществляется выбор математического метода расчета.

4.4.5. Формируется вектор эксплуатационных нагрузок.

4.4.6. Формируется матричное дифференциальное уравнение сейсмических колебаний системы:

1) суммарная матрица [M] сосредоточенных и распределенных масс;

2) матрица жесткости [K];

3) матрица демпфирования [C];

4) вектор реакций в нелинейных связях {R(v, v)};

5) трехкомпонентная ПА;

6) ПСО;

7) вероятностный ПСО;

8) вероятностно-статистическая ПА;

9) ФСП ПА.

Для расчета по ЛСМ выполняются подпункты 1, 2, 6, 7; по МСД — 1, 2, 8, 9; по МДА — 1—5.

4.4.7. Решается матричное дифференциальное уравнение сейсмических колебаний системы n порядка:

1) в ЛСМ и МСД:

—решается алгебраическая проблема собственных значений (определяются СЧ и СФ колебаний системы);

—внешнее сейсмическое воздействие разлагается по СФ колебаний и представляется как функция СЧ: ПСО (ЛСМ) или ФСП (МСД);

— матричное дифференциальное уравнение n порядка сводится к n независимым уравнениям движения осцилляторов;

— решение уравнения движения осциллятора осуществляется в соответствии с методикой ЛСМ и МСД;

2) в МДА матричное дифференциальное уравнение сейсмических колебаний n порядка решается непосредственным численным интегрированием.

4.4.8. Решается матричное уравнение статического равновесия при действии эксплуатационных нагрузок.

4.4.9. Проводится расчет НДС системы:

— определяются внутренние усилия, возникшие в элементах РДМ системы при действии эксплуатационных нагрузок;

—определяются внутренние усилия, возникшие в элементах РДМ системы при сейсмическом воздействии, по каждой n-й СФ колебаний (ЛСМ) и с учетом всех форм колебаний (ЛСМ, МСД);

— определяются суммарные внутренние усилия при совместном действии эксплуатационных и сейсмических нагрузок;

— определяются приведенные напряжения (или другие параметры НДС системы) в расчетных точках поперечных сечений элементов расчетной модели в соответствии расчетной группе категорий напряжений, которые сравниваются с оценочными (с использованием МДН или МПС). Определение внутренних усилий и напряжений в ЛСМ и МСД проводится по одинаковой методике, но напряжения в МСД соответствуют вероятности их непревышения при возможном землетрясении, что необходимо для оценки прочностной надежности.

4.4.10. По результатам проведенного МСД вероятностного расчета НДС проводится оценка прочностной надежности любого элемента РДМ с помощью интеграла-свертки.

4.4.11. Если задан предельный уровень допустимой сейсмической реакции, то определяется вероятность непревышения этого уровня (сейсмическая надежность).

## 5. ТРЕБОВАНИЯ К ИСПЫТАНИЯМ ПТО ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

### 5.1. Общие принципы

5.1.1. Проверку ПТО на сейсмостойкость по решению проектировщика АС рекомендуется выполнять как расчетными, так и экспериментальными методами, для чего оборудование

должно пройти испытания на вибропрочность и виброустойчивость. Оборудование I КС испытывается при воздействии реальных или гармонических нагрузок, эквивалентных сейсмическому воздействию при МРЗ, а оборудование II КС испытывается при действии реальных или гармонических нагрузок, эквивалентных сейсмическому воздействию при ПЗ.

5.1.2. Если масса, габаритные размеры и конструкция ПТО не позволяют испытывать его в полном комплекте или с использованием полномасштабной модели на испытательном оборудовании, стенде или в условиях эксплуатации, то испытания допускается проводить по группам изделий, или может быть допущено использование модели уменьшенного масштаба.

5.1.3. Испытания включают проверку работоспособности, направленную на обеспечение надежного функционирования оборудования во время и после прохождения землетрясения и (или) проверку механической прочности оборудования.

5.1.4. При проверке работоспособности и прочности оборудования методом испытаний необходимо, чтобы условия, существующие для оборудования на АС во время землетрясения, были правильно смоделированы, прежде всего с учетом механических граничных и эксплуатационных условий.

5.1.5. Кроме испытаний, проводимых с целью проверки работоспособности и прочности (см п. 5.1.4), могут проводиться испытания для проверки расчетов, компьютерных программ и оценки соответствия расчетной и математической моделей оборудования физической действительности.

### 5.2. Полномасштабные испытания

5.2.1. Исходными данными для испытания оборудования на сейсмостойкость являются акселерограммы и сейсмические спектры реакции для места установки оборудования на АС.

5.2.2. При испытании оборудования или его полномасштабной модели в качестве возбуждения допускается использовать гармоническое колебание с одной или более временными зависимостями, например приемлемой комбинанией синусоидальных волн, спектр которых не меньше, чем требуемый расчетный СО.

5.2.3. Продолжительность входного колебания должна быть задана на основе предполагаемой продолжительности землетрясения, причем возбуждение при испытаниях допускается осуществлять в каждом направлении пространства поочередно.

5.2.4. Предпочтительно, чтобы оборудование испытывалось в собранном и окончательно отрегулированном виде, в режимах, имитирующих его рабочее состояние на месте установки на АС.

### 5.3. Испытания на моделях уменьшенного масштаба

5.3.1. Для оборудования, которое слишком велико для испытаний с использованием полномасштабных моделей, допускается проводить испытания на моделях.

5.3.2. Масштаб моделей не должен быть меньше значения, при котором может быть нарушена имитация материальных, конструкционных и геометрических свойств оригинала; для стальных конструкций масштаб моделирования рекомендуется принимать не менее 1/10.

5.3.3. Испытания крупномасштабных моделей с раскреплением, максимально приближенным к действительным, рекомендуется проводить при возбуждениях типа гармонических колебаний и при сейсмических воздействиях искусственного характера, создаваемых сейсмоплатформой, взрывом и др.

5.3.4. Масштаб по амплитуде и частоте используемого внешнего возбуждения должен быть обоснованно задан, в соответствии с требованиями теории подобия.

5.3.5. Испытания крупномасштабных моделей с целью верификации компьютерных программ рекомендуется проводить ,исходя из аналитического моделирования лабораторных условий как физической действительности.

## 6. ДИАГНОСТИКА ПТО ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

### 6.1. Диагностика ПТО с помощью КИП

6.1.1. Контрольно-измерительные приборы (КИП) для измерения параметров как возможного землетрясения, так и параметров конструкций ПТО, устанавливаются по реше-

нию проектировщика АС в соответствии с требованиями международного стандарта ИСО 6258-85 (Атомные электростанции. Антисейсмическое проектирование).

6.1.2. КИП должны определять как физические характеристики колебаний основания на уровне установки ПТО при землетрясении для дальнейшего их сравнения с контрольными (или расчетными) сейсмическими колебаниями, которые учтены в проекте, так и воздействие землетрясения на несущие структуры металлоконструкций и механизмов системы и приборы безопасности ПТО.

6.1.3. В качестве метода диагностики ПТО после прохождения землетрясения рекомендуется сравнение спектра СЧ оборудования, экспериментально полученного, например, *резонансным методом* Х. Д. *Чеченова*, с *эталонным*, полученным при проведении предпусковых испытаний ПТО в составе станционных систем.

6.1.4. В качестве метода диагностики работоспособности и исправности систем ПТО рекомендуется традиционное тестовое диагностирование при проведении профилактики, регламентных проверок, подготовке к работе или при ремонте оборудования: внешние и внутренние осмотры; контроль линейных размеров; все виды контроля металла и сварных швов; контроль состояния тепловой и электрической изоляции; смазывающих и рабочих жидкостей механических систем.

Кроме того, допускается комбинированное диагностирование, представляющее собой сочетание тестового и функционального, позволяющее дать наиболее точное представление о техническом состоянии оборудования, его исправности и работоспособности как при эксплуатации или в режиме, иммитирующем эксплуатацию, так и во время профилактики и ремонтов.

6.1.5. При определении технического состояния несущих металлических конструкций ПТО в качестве диагностических рекомендуется использовать следующие параметры и признаки:

—несущая способность конструкций;

—прочность материала, из которого они изготовлены;

—твердость материала;

—параметры долговечности: способность конструкций сохранять свои эксплуатационные свойства в течение срока службы; трещиностойкость конструкций; сопротивление усталости;

—бездефектность конструкций;

—коррозионная стойкость конструкций.

6.1.6. При определении технического состояния механизмов ПТО в качестве диагностических рекомендуется использовать следующие параметры и признаки:

—исправность и работоспособность системы (как интегральный параметр);

—суммарный угловой зазор механических передач, град.;

—дифференцированное значение угловых зазоров отдельных пар передач, град;

—векторы силовых реакций на опоры валов, Н;

—кинетическую погрешность зубчатых передач, град.;

—виброакустические сигналы, генерируемые передачей во время ее работы, дБ;

—интенсивность изменения температуры редукторных систем во времени, °С;

—уменьшение сечения грузовых канатов, мм$^2$;

—число оборванных проволок на шаге свивки грузовых канатов.

6.1.7. При диагностиро ании тормозов ПТО рекомендуется использовать следующие параметры:

—статический или динамический тормозные моменты, Н·м;

—замедление при торможении, м·с$^{-2}$;

—тормозной путь, м;

—время торможения, с;

—величину износа тормозных колодок, мм.

### 6.2. Диагностика ПТО с помощью анализа последствий землетрясения

6.2.1. Инженерный анализ последствий землетрясения для ПТО рекомендуется проводить с использованием анкетирования.

6.2.2. Анкета для сбора информации с целью проведения инженерного анализа последствий землетрясения имеет вид табл. 6.1—6.5 (в графе «Состояние после прохождения землетрясения» приведены комментарии пользователю).

# АНКЕТА
## обследования ПТО после прохождения землетрясения

Таблица 6.1

| № п/п | 1 Параметры землетрясения | Характеристика параметров прошедшего землетрясения |
|---|---|---|
| 1.1. | Наименование землетрясения | |
| 1.2. | Время, когда произошло землетрясение | |
| 1.3. | Интенсивность в баллах | Указать шкалу интенсивности землетрясений (MSK-64, Рихтера, Меркалли, др.) |
| 1.4. | Магнитуда землетрясения | |
| 1.5. | Положение (удаление) эпицентра землетрясения от промплощадки | |
| 1.6. | Количественная характеристика движений грунта в области промплощадки | Разломы, сдвиги, сбросы, подвижки, др поверхностные нарушения сейсмического происхождения; общая характеристика акселерограммы (велосиограммы, сейсмограммы) |
| 1.7. | Оцифровка акселерограмм (велосиограмм, сейсмограмм) в трех фиксированных направлениях пространства | Географическое положение и наименование станций ИСС, записавших акселерограммы прошедшего землетрясения |
| 1.8. | Характеристика района землетрясения (фактическая и прогнозируемая, по карте сейсмического районирования СР-78 или по карте микрорайонирования) | |
| 1.9. | Вероятностная оценка повторяемости землетрясений в районе промплощадки | |
| 1.10. | Прочие характеристики землетрясения | Изосейсты промплощадки, др особенности |

Таблица 6.2.

| № п/п | 2. Характеристика эксплуатационной зоны ПТО | Состояние после прохождения землетрясения |
|---|---|---|
| 2.1. | Наименование предприятия | |
| 2.2. | Характеристика промышленной зоны ПТО и условия его эксплуатации | На открытой площадке, в здании, цехе, на плотине и др. и их характеристика |

| № п/п | 2 Характеристика эксплуатационной зоны ПТО | Состояние после прохождения землетрясения |
|---|---|---|
| 2.3 | Проектный уровень сейсмостойкости строительного сооружения и его фундаментного основания, в котором эксплуатировалось ПТО | В т. ч. обустройство фундаментного основания ПТО |
| 2.4 | Общая характеристика местности и грунтов в районе промплощадки (по ПиН АЭ Г-7-006-87) | Водонасыщенность, рыхлость, глубина залегания скальных пород, удаленность от тектонического разлома |

Таблица 6.3

| № п/п | 3. Конструктивно-технологическое устройство ПТО | Состояние работоспособности после прохождения землетрясения |
|---|---|---|
| 3.1. | Наименование оборудования по паспорту и его завод-изготовитель | |
| 3.2. | Заводской № и год постройки | |
| 3.3. | Общие и частные технические характеристики ПТО в сейсмостойком исполнении | Соответствие назначению после прохождения землетрясения |
| 3.4 | Конструктивное устройство:<br>— пролетное строение (мост);<br>— грузовые тележки;<br>— система подвеса груза, грузозахвата и навесное оборудование;<br>— электротехническое оборудование, элементы токоподвода, приборов и систем безопасности;<br>— рельсовые пути, их фундаментное основание и уровень установки;<br>— опорно-ходовые тележки и балансирные устройства;<br>— тормоза; ходовые колеса; направляющие ролики | |
| 3.5. | Соответствие расчетной КС ПТО фактическому состоянию | |
| 3.6. | Резервирование механизмов, металлоконструкций и др. устройств | |
| 3.7. | Устройства противосейсмической защиты ПТО; механические устройства; площадки хранения; съемные и стационарные устройства крепления к строительным конструкциям | |

| № п/п | 3. Конструктивно-технологическое устройство ПТО | Состояние работоспособности после прохождения землетрясения |
|---|---|---|
| 3.8. | Характеристика транспортируемого груза и устройств защиты от повреждений при прошедшем землетрясении | |
| 3.9 | Износ ПТО за срок службы (состояние систем в момент землетрясения) | |
| 3.10. | Ориентация несущих систем ПТО и его ходовых путей по отношению к сторонам света | |

Таблица 6.4

| № п/п | 4. Вероятностные повреждения ПТО | Состояние после прохождения землетрясения |
|---|---|---|
| 4.1. | Потеря устойчивости формы и положения в пространстве ПТО и его элементов, последствия от соударений оборудования с близрасположенными предметами | Сход с рельсов, подскок, сдвиг, опрокидывание (падение), состояние устройств противосейсмической защиты, падение разрушенных элементов |
| 4.2. | Повреждения несущих металлоконструкций | Остаточные деформации, степень их развития; трещины, разрушения |
| 4.3. | Повреждения несущих структур механизмов, полиспастных систем, вспомогательных устройств электрооборудования, приборов и систем управления и безопасности | Тормозов, валов, зубчатых передач, подшипниковых опор, блоков, полиспастов, отказы приборов безопасности и системы управления, электроприборов, опорно-ходовых механизмов и др. |
| 4.4. | Характерные повреждения или обрыв транспортируемого полезного груза с источником радиоактивности и последствия его соударения с другими телами | Уровень нарушения радиационной и ядерной безопасности (по НРБ-76) |
| 4.5. | Нарушение сроков восстанавливаемости систем ПТО в рабочее состояние | По акту экспертной комиссии |
| 4.6. | Фотодокументы последствий землетрясения для ПТО | Разрушение узлов, трещины, др. |

Таблица 6.5

| № п/п | 5 Вероятностные отказы ПТО по характерным признакам | Состояние после прохождения землетрясения |
|---|---|---|
| 5.1. | Общее число отказов работоспособности ПТО | |
| 5.2. | Общее количество повреждений по характерным признакам | |
| 5 3. | Социальное и стоимостное выражение сейсмических отказов | Жертвы, угроза жизни людей, повреждения дорогостоящего ядерного оборудования и его систем безопасности в результате механических воздействий |
| 5.4. | Нарушение безопасности транспортируемого полезного груза с источником радиоактивности | Для ядерно-радиационно опасных грузов |
| 5.5. | Трудоемкость восстановительных работ для введения ПТО в рабочее состояние после прохождения землетрясения | |

Обследовал

Ф. И. О., должность

Дата

6 2 3 Анкета должна быть введена в заводские технические паспорта сейсмостойкого ПТО и играть роль обратной связи в совокупности с информационно-поисковой системой сбора и обработки информации о надежности оборудования АС—АССОИН «Атомэнерго» Результаты обследований с помощью анкеты рекомендуется использовать для качественного сопоставления сейсмостойкости ПТО различных типов и конструктивных схем.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Волгодонским филиалом Новочеркасского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института им. Серго Орджоникидзе, ПО «Атоммаш», ПО «Сибтяжмаш» и ВНИИПТМАШ.

Исполнители **Н. Н. Панасенко**, канд. техн. наук, (научный руководитель и ответственный исполнитель разработки); Н. А. Белов; Н. М. Дементьева; Т. А. Козоброд; А. И. Левин.

Соисполнители от ПО «Атоммаш»

**С. А. Елецкий; В. Г. Мелких; А. Н. Мухин**, канд. техн. наук; **Л. А. Первушин.**

от ПО «Сибтяжмаш»

**В. И. Гостяев, Н. А. Швалов, Э. И. Шиферштейн.**

от ВНИИПТМАШ

**И. И. Абрамович**, канд. техн. наук; **А. С. Липатов**, канд. техн. наук

2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ указанием Министерства тяжелого машиностроения от 27.03.1990 № ВА-002-1-3279.

3. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

4. ССЫЛОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ.

| № п/п | Обозначение документа, на который дана ссылка | Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения |
|---|---|---|
| 1. | ГОСТ 21354-75 | 2.8.3.5 |
| 2. | ГОСТ 25546-82 | 1.2.13; 2.7.1.1; 2.8.5.1 |
| 3 | ГОСТ 25835-83 | 1.2.14 |
| 4. | ОСТ 24.090.72-83 | 2.4.2.; 2.7.1.1; 2.8.4.2; 4.3.4 |
| 5. | ОСТ 24.190.06-86 | 2.4.2; 4.3.4 |
| 6. | СТ СЭВ 2077-80 | 1.2.14 |
| 7. | НТД 38 434.56-84 МХО ИАЭ | Введение, 2.8.3.6 |
| 8. | ИСО 4301-80 | 1.2.13; 2.7.1.1 |
| 9. | ИСО 6258-85 | Введение |
| 10. | ПиН АЭ Г-7-002-86 | Введение, 1.2.11; 2.2.4; 2.7.1.1; 2.7.1.2; 2.7.2.1; 2.8.3.1; 2.8.5.1; 2.8.9.1; 2.8.9.5 |
| 11. | ПиН АЭ Г-5-006-87 | Введение, 1.3.4.4 |
| 12. | СНиП П-23-81 | 2.8.4.3 |
| 13. | РД 24.090.83-87 | 2.1.2; 2.2.3; 2.2.10; 2.5.2; 2.7.1.2 |
| 14. | РД 24.010.34-88 | 2.4.2; 2.7.1.1 |
| 15. | РТМ 24.090.12-76 | 2.8.3.5 |
| 16. | РТМ 24.090.16-76 | 2.8.3.5 |
| 17. | РТМ 24.090.17-76 | 2.8.3.5 |
| 18. | РТМ 24.090.18-76 | 2.8.3.5 |

| № п/п | Обозначение документа, на который дана ссылка | Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения |
|---|---|---|
| 19. | РТМ 24.090.21-76 | 2.8.3.5 |
| 20. | РТМ 24.090.53-79 | 2.7.1.1 |
| 21. | РТМ 108.020.37-81 (1986 г.) | Введение, 2.1.2; 2.2.3; 2.5.2; 2.7.1.2; 2.8.3.6 |
| 22. | РТМ 24.190.07-85 | 2.4.2; 2.7.1.1; 2.8.3.6; 2.8.4.2; 2.8.4.3; 2.8.5.1; 4.3.4 |
| 23. | РТМ 24.090.62-81 | 2.8.3.6 |
| 24. | Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (1976 г.) | 1.3.4.5 |
| 25. | Правила безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах атомной энергетики (1988 г.) | Введение |

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РД

| Номер изменения | Номер листа (страницы) | | | | Номер документа | Подпись | Дата внесения изменения | Дата введения изменения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | измененного | замененного | нового | аннулированного | | | | |

УТВЕРЖДЕНО
Указанием Министерства тяжелого машиностроения СССР № ВА-002-1-3279 от 27. 03 1990 г.

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ**

**Нормы расчета на сейсмостойкость подъемно-транспортного оборудования атомных станций**

**РД 24.035.04-89**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Первый заместитель научно-технического отдела МИНТЯЖМАШ СССР | МП | п/п | В. А. Мажукин |
| Начальник сектора управления качеством продукции, стандартизации и патентно-лицензионной работы МИНТЯЖМАШ СССР | МП | п/п | А. Н. Полторецкий |
| Директор Волгодонского филиала Новочеркасского политехнического института (ВФ НПИ) | МП | п/п | Л. С. Лунин |
| Научный руководитель разработки и ответственный исполнитель, заведующий кафедрой прикладной механики ВФ НПИ | | п/п | Н. Н. Панасенко |
| Исполнители: | | | |
| Мл. науч. сотр. | | п/п | Н. А. Белов |
| Науч. сотр. | | п/п | Н. М. Дементьева |
| Ассистент | | п/п | Т. А. Козоброд |
| Науч. сотр. | | п/п | А. И. Левин |
| Соисполнители: | | | |
| от ПО «Атоммаш» | | | |
| Главный конструктор СКБ ЭМ | | п/п | С. А. Елецкий |
| Инженер | | п/п | В. Г. Мелких |

Зам. главного конструктора СКБ ЭМ, канд. техн. наук — МП п/п — А. Н. Мухин

Начальник отдела перегрузочных машин СКБ ЭМ — п/п — Л. А. Первушин

от ПО «Сибтяжмаш»

Главный конструктор НИПКТИ — п/п — В. И. Гостяев

Главный инженер ПО «Сибтяжмаш» — п/п — Э. И. Шиферштейн

Главный конструктор НИПКТИ по атомным кранам — п/п — Н. А. Швалов

от ВНИИПТМАШ

Зав. лабораторией грузоподъемных машин, канд. техн. наук — п/п МП — И И. Абрамович

Зам. директора по научной работе, канд. техн. наук — п/п — А. С. Липатов

СОГЛАСОВАНО:

ГОСАТОМЭНЕРГОНАДЗОР СССР

Письмо № 5-10/216 от 16.02 90

Зам. председателя Госатомэнергонадзора А. И. Беляев

НПО ЦКТИ

Первый зам. Генерального директора И. К. Терентьев

Письмо № 15/9677 от 11.07.89

## СОДЕРЖАНИЕ


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ . . . 4

Обозначения . . . . . 4
Определения . . . . . 6

ВВЕДЕНИЕ . . . . 9

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОРМ . . . . 10
1 1. Общие требования . . . . 10
1.2. Требования к проектированию . . . . . 10
1.3. Расчетные сейсмические уровни и категории сейсмостойкости ПТО . . . . . 12

2. ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЕТУ ПТО . . . 15
2.1. Математические методы поверочного расчета . . 15
2 2. Модели сейсмических воздействий . . . 16
2.3. Виды нагрузок и воздействий . . . . 17
2.4. Эксплуатационные нагрузки . . . . 18
2.5. Сейсмические нагрузки . . . . 19
2.6. Сочетания нагрузок, действующих на ПТО . . 19
2.7. Исходные положения по расчетам . . . 20
2.8. Предельные состояния и критерии их оценки . . 22
2.8.1. Общие требования . . . . 22
2.8 2. Предельные состояния . . . . 23
2.8.3. Критерий прочности по МДН . . . 23
2.8 4. Критерий прочности по МПС . . . 26
2.8.5. Критерий прочности по второму и третьему предельным состояниям . . . . 28
2.8.6. Критерий прочности вероятностного метода расчета . . . . . 29
2 8.7. Критерий динамической устойчивости положения в пространстве ПТО при землетрясениях . . . 29
2.8.8. Оптимизационные критерии металлоконструкций ПТО . 31
2 8.9. Критерий оценки вибропрочности металлоконструкций . . . . . 31

3. РАСЧЕТНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПТО . . 32
3.1. Общие требования . . . . 32
3.2. Характеристики РДМ . . . . . 35
3.2.1. Инерционные и жесткостные характеристики РДМ ПТО . . . . . 35
3.2.2. Диссипативные характеристики РДМ ПТО . . 35
3.2.3. Требования к построению РДМ ПТО . . . 37

3.2.4. Дополнительные требования к построению РДМ механизмов . . . . . 40

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПТО НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ . . . . . 43

4.1. Входные данные . . . . . 43

4.2. Структура поверочного расчета на сейсмостойкость . 44

4.3. Требования к расчету статической прочности . . 45

4.4. Порядок расчета на сейсмостойкость . . . . 46

5. ТРЕБОВАНИЯ К ИСПЫТАНИЯМ ПТО ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ . . . . . 47

5.1 Общие принципы . . . . . 47

5.2. Полномасштабные испытания . . . . . 48

5.3 Испытания на моделях уменьшенного масштаба . . 49

6. ДИАГНОСТИКА ПТО ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ . . . . . 49

6.1. Диагностика ПТО с помощью КИП . . . . 49

6.2. Диагностика ПТО с помощью анализа последствий *землетрясения* . . . . . *51*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ . . . . 55

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ РД . . . 58

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ . . . . . 59

**Нормы расчета на сейсмостойкость подъемно-транспортного оборудования атомных станций**

Часть I

РД 24.035.04-89

Редактор **Л. М. Захарова**
Техн. редактор **Ж. В. Паршина**
Корректор **Л. В. Баршадская**

Сдано в набор 18.09.90. Подписано в печать 25.10.90 г. Бумага тип. № 2. Высокая печать. Литературная гарнитура. Усл. п. л. 3,6. Уч.-изд. л. 4.0. Усл. кр.-отт. 3,78. Формат 60x84 1/16. Тираж 500 экз. Заказ № 1428. Бесплатно.

Новочеркасский политехнический институт имени Серго Орджоникидзе
Типография Новочеркасского политехнического института.
Адрес института и типографии:
346400 Новочеркасск, ГСП-1, ул. Просвещения, 132

gost.e-ecolog.ru