

МИНИСТЕРСТВО АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СН 2.01.01-2022

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

АСНОВЫ ПРАЕКТАВАННЯ БУДАЎНІЧЫХ КАНСТРУКЦЫЙ

Издание официальное

Минск 2022

УДК 624.07.041(083.74)

Ключевые слова: конструкция, надежность, предельные состояния несущей способности, предельные состояния эксплуатационной пригодности, воздействия и влияния окружающей среды, свойства материалов и изделий, статический расчет, расчетные модели, частные коэффициенты

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «СТРОЙТЕХНОРМ» (РУП «СТРОЙТЕХНОРМ»).

Авторский коллектив: докт. техн. наук, проф. В. В. Тур, канд. техн. наук В. В. Надольский, канд. техн. наук С. С. Дереченник, докт. техн. наук А. Я. Найчук, докт. техн. наук В. Н. Деркач, канд. техн. наук О. М. Вайтович, Ф. А. Верева

ВНЕСЕНЫ главным управлением архитектуры, градостроительства, проектной, научно-технической, инновационной политики и цифровой трансформации Министерства архитектуры и строительства

2 УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 30 июня 2022 г. № 65

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности настоящие строительные нормы входят в блок 2.01 «Основные положения надежности зданий и сооружений»

3 ВЗАМЕН СН 2.01.01-2019

© Минстройархитектуры, 2022

Изданы на русском языке

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения и обозначения	2
3.1 Термины и определения	2
3.2 Обозначения	5
4 Основы проектирования	7
4.1 Основные требования	7
4.2 Надежность и классы последствий	8
4.3 Проектный срок эксплуатации	9
4.4 Требования к живучести конструктивной системы	9
4.5 Требования к долговечности	10
4.6 Требования к качеству проектирования	10
4.7 Требования к устойчивому развитию окружающей среды	10
5 Предельные состояния	10
5.1 Общие требования	10
5.2 Расчетные ситуации	11
5.3 Предельные состояния несущей способности	11
5.4 Предельные состояния эксплуатационной пригодности	11
5.5 Методы проверок предельных состояний	12
5.6 Полностью вероятностный метод	12
5.7 Проверки на основе результатов испытаний	12
6 Проверки предельных состояний методом частных коэффициентов	12
6.1 Общие требования	12
6.2 Ограничения	13
6.3 Нормирование базисных переменных	13
6.4 Характеристические и расчетные значения воздействий и влияний окружающей среды	13
6.5 Расчетное значение эффектов воздействий	15
6.6 Свойства материалов и изделий	15
6.7 Геометрические параметры	16
6.8 Расчетное значение сопротивления	17
6.9 Частные коэффициенты	17
6.10 Сочетание воздействий для проверок предельных состояний несущей способности (ULS) (за исключением проверок на усталостную прочность)	17
6.11 Сочетание воздействий для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS)	19

7 Расчет конструкций.....19

7.1 Моделирование конструкций19

7.2 Статические воздействия.....19

7.3 Динамические воздействия.....20

7.4 Расчет огнестойкости20

Приложение А Требования для зданий21

Приложение Б Требования для мостов29

Приложение В Определение частных коэффициентов и анализ надежности.....46

Приложение Г Требования к проверкам предельных состояний
на основе результатов испытаний51

Библиография60

СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Bases for design of building structures

Дата введения через 60 календарных дней
после их официального опубликования**1 Область применения**

1.1 Настоящие строительные нормы устанавливают общие требования обеспечения надежности конструктивных систем строительных сооружений, в том числе касающиеся их безопасности, эксплуатационной пригодности, долговечности и живучести.

1.2 Настоящие строительные нормы распространяются на проектирование конструкций строительных сооружений, с учетом геотехнических условий, огнестойкости и сейсмостойкости.

Примечание — Проектирование строительных сооружений специального назначения (например, АЭС, дамб) осуществляют согласно дополнительным требованиям, установленным в соответствующих технических нормативных правовых актах (далее — ТНПА).

1.3 Настоящие строительные нормы также следует применять при проверках предельных состояний существующих конструкций, при разработке проектной документации на ремонт, реконструкцию, модернизацию и реставрацию строительных сооружений.

При реконструкции, реставрации или капитальном ремонте строительных объектов, которым в установленном порядке присвоен статус историко-культурных ценностей, требования настоящих строительных норм применяют в соответствии с [1].

2 Нормативные ссылки

В настоящих строительных нормах использованы ссылки на следующие документы:

СН 2.01.02-2019 Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий

СН 2.01.03-2019 Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости

СН 2.01.04-2019 Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки

СН 2.01.05-2019 Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия

СН 2.01.06-2019 Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Температурные воздействия

СН 3.02.07-2020 Объекты строительства. Классификация

ТКП EN 1991-1-6-2009 (02250) Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-6. Общие воздействия. Воздействия при производстве строительных работ

ТКП EN 1991-1-7-2009 (02250) Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-7. Общие воздействия. Особые воздействия

ТКП EN 1991-2-2009 (02250) Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты

ТКП EN 1991-3-2009 (02250) Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Воздействия, вызванные кранами и механическим оборудованием

СТБ ISO 2394-2007 Надежность строительных конструкций. Общие принципы

СТБ ISO 3898-2009 Основы расчета строительных конструкций. Обозначения. Общие условные обозначения

СТБ ISO 10137-2009 Основы проектирования конструкций. Эксплуатационная надежность зданий и переходов в условиях воздействия вибрации.

3.1 Термины и определения

3.1.16 особое воздействие: Непродолжительное по времени, но значительное по величине воздействие, вероятность появления которого в течение проектного срока эксплуатации строительного сооружения чрезвычайно мала.

3.1.36 расчетный критерий оценки: Количественный показатель, характеризующий условия, которые должны быть выполнены для каждого предельного состояния.

3.1.37 репрезентативное значение воздействия: Значение, принимаемое для проверки предельного состояния.

Примечание — Репрезентативное значение воздействия может быть характеристическим F_k или сопутствующим ψF_k .

3.1.38 сейсмическое воздействие: Воздействие на строительную конструкцию или элементы конструкции, вызванное землетрясениями.

3.1.39 сейсмическая расчетная ситуация: Расчетная ситуация, учитывающая особые условия эксплуатации конструкции, подверженной сейсмическим воздействиям.

3.1.40 случай нагружения: Взаимно совместимые схемы нагружения, деформации и несовершенства строительной конструкции, рассматриваемые совместно с фиксированными переменными и постоянными воздействиями при проверках предельных состояний.

Примечание — Схема нагружения представляет собой идеализированную геометрическую схему, на которой указаны места расположения, значения и направления воздействия, имеющего различные пространственные распределения по отношению к строительной конструкции или элементам конструкции (свободного воздействия).

3.1.41 сопротивление: Способность элемента строительной конструкции или ее части, а также поперечного сечения элемента конструкции или ее части выдерживать эффекты воздействий без механического разрушения.

Примечание — Например, сопротивление изгибу, сопротивление продольному изгибу, сопротивление растяжению.

3.1.42 сопутствующее значение переменного воздействия: Значение переменного воздействия в сочетании с доминирующим воздействием.

Примечание — В качестве сопутствующего значения переменного воздействия может быть комбинационное, частое или практически постоянное значение.

3.1.43 сочетание воздействий: Совокупность расчетных значений воздействий, используемых при проверках предельных состояний, когда для рассматриваемой расчетной ситуации действуют одновременно два и более воздействия.

3.1.44 статический расчет: Процедура или алгоритм для определения эффектов воздействий в сечениях строительной конструкции или элементов конструкции.

3.1.45 статическое воздействие: Воздействие, не вызывающее значительных ускорений строительной конструкции или элементов конструкции.

3.1.46 строительная конструкция (конструкция): Система соединенных между собой элементов, предназначенных для восприятия воздействий и обеспечения требуемой жесткости.

3.1.47 строительное сооружение: Единичный результат строительной деятельности, предназначенный для реализации определенных потребительских функций.

Примечание — Данный термин относится к строительному объекту, включающему конструктивные, неконструктивные и геотехнические элементы зданий и инженерных сооружений.

3.1.48 строительный материал (материал): Материал, применяемый в строительстве для возведения, реконструкции и ремонта строительных объектов.

3.1.49 техническое обслуживание: Совокупность действий, направленных на обеспечение требований надежности строительной конструкции, предпринимаемых в течение проектного срока ее эксплуатации.

Примечание — Действия, направленные на восстановление строительной конструкции в результате особых или сейсмических воздействий, а также ремонт не относятся к техническому обслуживанию.

3.1.50 угроза: Событие, имеющее очень небольшую вероятность возникновения.

Примечание — К угрозе относят, например, непредполагаемое воздействие или влияние окружающей среды, недостаточную прочность материала, недостаточное сопротивление элемента конструкции или недопустимое отклонение от заданных геометрических параметров.

3.1.51 физически линейный расчет второго порядка: Расчет строительной конструкции с учетом линейной зависимости «напряжения — деформации» и деформированной геометрической формы конструкции.

3.1.52 физически линейный расчет первого порядка: Расчет строительной конструкции с учетом линейной зависимости «напряжения — деформации» и исходной геометрической формы конструкции.

Примечание — Нелинейный расчет второго порядка может быть идеально-упруго-пластическим или упруго-пластическим.

Примечание — Нелинейный расчет первого порядка может быть упругим с соответствующими допущениями или идеально-упруго-пластическим, упруго-пластическим, жестко-пластическим.

3.1.56 характеристическое значение: Значение, характеризующее свойство материала или изделия, установленное с учетом статистической изменчивости при гипотетически неограниченном количестве испытаний и соответствующее установленному квантилю принятого статистического распределения значений, полученных для отдельного свойства материала или изделия.

Примечание — В отдельных случаях в качестве характеристического значения используется номинальное (среднее) значение.

3.1.58 характеристическое значение геометрического параметра: Значение, соответствующее установленному в проектной документации значению геометрического параметра, в отдельных случаях — также установленному квантилю статистического распределения.

3.1.59 частое значение переменного воздействия: Значение, полученное на основе статистических данных с условием, что суммарный период времени, в течение которого оно будет превышено, составит малую часть периода отнесения или частота его превышения ограничится заранее заданным значением.

3.1.60 элемент строительной конструкции (элемент конструкции): Физически различимая часть строительной конструкции, характеризующаяся регламентируемыми свойствами.

3.1.61 эффект воздействия: Результат от воздействия на строительную конструкцию или элементы конструкции.

Примечание — К эффектам воздействий на элементы конструкции относятся, например, внутреннее усилие, напряжение, деформация, к эффектам воздействий на конструкцию в целом — перемещение, поворот, осадка опор.

В настоящих строительных нормах применяют следующие обозначения, установленные в соответствии с СТБ ISO 3898.

A	— особое воздействие;
A_d	— расчетное значение особого воздействия;
A_E	— сейсмическое воздействие;
A_{Ed}	— расчетное значение сейсмического воздействия;
A_{Ek}	— характеристическое значение сейсмического воздействия;
$C_{d,lim}$	— предельное расчетное значение критерия оценки эксплуатационной пригодности;
E	— эффект воздействий;
E_d	— расчетное значение эффектов воздействий;
$E_{d,dst}$	— расчетное значение эффектов дестабилизирующих воздействий;
$E_{d,stab}$	— расчетное значение эффектов стабилизирующих воздействий;
F	— воздействие; нагрузка;
F_d	— расчетное значение воздействия;
F_k	— характеристическое значение воздействия;
F_{rep}	— репрезентативное значение воздействия;

3.2.2 Строчные буквы латинского алфавита

6

γ	— частный коэффициент;
γ_{bt}	— предельное значение ускорения колебаний пролетного строения моста на щебеночном балласте;
γ_{df}	— предельное значение ускорения колебаний пролетного строения моста для непосредственно закрепленного пути;
$\gamma_{G, set}$	— частный коэффициент для постоянных воздействий, вызывающих осадку, также учитывающий неопределенность расчетной модели;
γ_f	— частный коэффициент для воздействий, учитывающий вероятность неблагоприятных отклонений значений воздействий от репрезентативных значений;
γ_F	— частный коэффициент для воздействий, учитывающий неопределенность расчетной модели;
γ_g	— частный коэффициент для постоянных воздействий, учитывающий вероятность неблагоприятных отклонений значений воздействий от репрезентативных значений;
γ_G	— частный коэффициент для постоянных воздействий, учитывающий неопределенность расчетной модели;
γ_{Gj}	— частный коэффициент для постоянного j -го воздействия;
$\gamma_{Gj, sup}$ и $\gamma_{Gj, inf}$	— частные коэффициенты для постоянного j -го воздействия при определении соответственно верхних и нижних расчетных значений;
γ_m	— частный коэффициент для характеристики свойства материала и изделия;
γ_M	— частный коэффициент для характеристики свойства материала и изделия, учитывающий неопределенность расчетной модели и отклонения от заданных геометрических параметров;
γ_P	— частный коэффициент для усилия предварительного напряжения;
γ_q	— частный коэффициент для переменных воздействий, учитывающий вероятность неблагоприятных отклонений значений воздействий от репрезентативных значений;
γ_Q	— частный коэффициент для переменных воздействий, учитывающий неопределенность расчетной модели;
γ_{Qi}	— частный коэффициент для переменного i -го воздействия;
γ_{Rd}	— частный коэффициент, учитывающий неопределенность расчетной модели сопротивления;
γ_{Sd}	— частный коэффициент, учитывающий неопределенность расчетной модели воздействия (эффекта воздействия);
η	— коэффициент преобразования;
ξ	— понижающий коэффициент;
ψ_0	— коэффициент сочетания воздействий, учитывающий комбинационное значение переменного воздействия;
ψ_1	— коэффициент сочетания воздействий, учитывающий частое значение переменного воздействия;
ψ_2	— коэффициент сочетания воздействий, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия.

4.1 Основные требования

- несущей способности (безопасности): воспринимали все наиболее вероятные воздействия, их эффекты и влияния окружающей среды, которые могут появиться в течение проектного срока эксплуатации;
- эксплуатационной пригодности: оставались пригодными для предусмотренных условий эксплуатации в соответствии с их назначением;

— долговечности: сохраняли эксплуатационные свойства не ниже установленного уровня, с учетом изменения исходных показателей качества в течение проектного срока эксплуатации в результате влияния окружающей среды при условии обеспечения предусмотренного уровня технического обслуживания;

— живучести: были устойчивыми к непропорционально большим повреждениям при наступлении особых воздействий, например взрыва, удара или последствий совершенных человеком ошибок.

4.1.2 В случае возникновения пожара расчетные параметры конструкций и элементов конструкций должны быть обеспечены согласно СН 2.01.03 для требуемого интервала времени.

4.1.3 Уровень надежности конструкций в соответствии с настоящими строительными нормами обеспечивается при выполнении следующих общих требований:

— проектирование конструкций, а также производство строительных работ по их возведению осуществляют специалисты, имеющие соответствующую квалификацию и опыт;

— в процессе проектирования и производства строительных работ, например, на предприятии — изготовителе изделий или строительной площадке осуществляют соответствующий надзор и контроль качества по критериям соответствия;

— применяемые материалы и изделия соответствуют требованиям ТНПА, не противоречащих требованиям настоящих строительных норм;

— производят необходимое техническое обслуживание конструкций;

— конструкции эксплуатируют в соответствии с проектной документацией.

4.1.4 Другие требования к проектированию конструкций следует применять при условии подтверждения обеспечения показателей надежности (безопасности, эксплуатационной пригодности, долговечности, живучести) конструктивных систем не ниже установленных в настоящих строительных нормах.

4.2 Надежность и классы последствий

4.2.1 Требуемый уровень надежности для строительного сооружения должен обеспечиваться за счет выполнения следующих требований:

— применения в расчетах нормируемых показателей надежности и характеристических значений базисных переменных, с учетом значений частных коэффициентов;

— проведения дифференцированного контроля качества;

— обеспечения живучести конструктивной системы в особой расчетной ситуации.

При этом при проектировании следует учитывать:

— результаты оценки рисков для выбора оптимальных стратегий проектирования;

— результаты предварительных исследований грунтов оснований с учетом предполагаемого влияния окружающей среды;

— значения воздействий, которые должна воспринимать конструкция или элементы конструкции;

— точность используемых расчетных моделей и интерпретацию их результатов;

— систему мер, позволяющих активно или пассивно контролировать или ограничивать значения проектных воздействий в установленных пределах.

4.2.2 При назначении требуемого уровня надежности конструкций и элементов конструкций следует учитывать:

— последствия отказа (например, угрозы жизни и здоровью людей, экономические и экологические);

— вероятные причины и формы достижения предельного состояния;

— общественную реакцию в случае разрушения строительного сооружения;

— расходы на мероприятия, а также действия, необходимые для снижения риска разрушения.

4.2.3 Для дифференциации уровней надежности строительных сооружений устанавливают классы последствий согласно таблице 4.1. Классы последствий следует назначать для конструктивной системы в целом. Допускается класс последствий назначать для отдельной конструкции или элементов конструкции, но не ниже класса последствий, установленного для конструктивной системы в целом.

Классы последствий соответствуют классам сложности согласно СН 3.02.07: класс СС3 относится к классу К-1; класс СС2 — К-2 и К-3; класс СС1 — К-4 и К-5.

Таблица 4.1 — Классификация последствий

Класс последствий	Последствия отказа в зависимости от рисков	
	Угроза жизни и здоровью людей	Экономические, экологические
СС3	Тяжелые	Очень значительные
СС2	Средней тяжести	Значительные
СС1	Незначительные	Незначительные

Примечание — Классы последствий применяют для определения требуемых показателей надежности, значения коэффициента k_{FI} , назначения контроля качества проектирования.

4.3 Проектный срок эксплуатации

Проектный срок эксплуатации строительных сооружений устанавливает генеральный проектировщик в проектной документации при совместном решении (по согласованию) с заказчиком. Проектный срок эксплуатации необходимо назначать для конструктивной системы в целом. Допускается проектный срок эксплуатации назначать для отдельной конструкции и элементов конструкции, в тех случаях, когда они относятся к различным категориям проектного срока эксплуатации.

Проектный срок эксплуатации следует применять для определения:

— показателей надежности в зависимости от периода отнесения, для которого устанавливают нормируемые значения базисных переменных, частных коэффициентов. В настоящих строительных нормах установлены нормируемые значения базисных переменных и частных коэффициентов для проектного срока эксплуатации 50 лет (приложения А и Б). Для других проектных сроков эксплуатации показатели надежности принимают в соответствии с приложением В;

— эксплуатационных свойств, являющихся функцией времени (например, в расчетах усталостной прочности, долговечности).

Категории проектного срока эксплуатации установлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 — Проектный срок эксплуатации

Категория проектного срока эксплуатации	Проектный срок эксплуатации, лет	Примеры строительных сооружений
1	10	Временные, имеющие ограниченный срок эксплуатации ¹⁾
2	10–25	Заменяемые конструкции строительных сооружений, например подкрановые балки, опоры
3	15–30	Сельскохозяйственные
4	50	Массового строительства в нормальных условиях эксплуатации, кроме строительных сооружений других категорий
5	100	Монументальные и уникальные

¹⁾ Строительные сооружения или их части, которые могут быть демонтированы для повторного использования, временными не являются.

4.4 Требования к живучести конструктивной системы

С целью исключения или ограничения потенциальных повреждений конструктивной системы в результате особых воздействий следует применять одну или несколько из следующих мер:

— исключают, предотвращают или уменьшают вероятность возникновения угроз, которым может быть подвергнута конструкция;

- выбирают конструктивные системы с низкой восприимчивостью к рассматриваемым угрозам;

— выбирают конструктивные системы с низкой восприимчивостью к рассматриваемым угрозам;

- исключают по возможности конструктивные системы, которые могут подвергаться внезапному обрушению без предварительных признаков;

4.5 Требования к долговечности

— техническое обслуживание конструкций в течение проектного срока эксплуатации.

4.6 Требования к качеству проектирования

Таблица 4.3 — Контроль качества проектирования

4.7 Требования к устойчивому развитию окружающей среды

5 Предельные состояния

5.1 Общие требования

5.1.2 Проверки предельных состояний конструкций и элементов конструкций при изменяющихся во времени эффектах воздействий, свойствах материалов и изделий производят с учетом проектного срока эксплуатации строительного сооружения.

5.2.1 Проверки предельных состояний следует производить для следующих расчетных ситуаций:

- постоянных;
- переходных;
- особых;
- сейсмических.

5.3 Пределные состояния несущей способности

5.3.2 Предельные состояния, предшествующие разрушению конструкции, рассматривают как предельные состояния несущей способности.

— EQU — потеря устойчивости положения конструкции или ее части (потеря статического равновесия);

- STR — разрушение любой формы, чрезмерные деформации конструкции или элементов конструкции (включая фундаменты, сваи, подпорные стенки и т. д.), для которых прочность и предельные относительные деформации материалов имеют определяющее значение;
- GEO — разрушение или чрезмерные деформации основания или скальной породы, для которых прочность имеет определяющее значение для обеспечения несущей способности конструкции.
- FAT — усталостное разрушение конструкции или элементов конструкции.

Примечание — Сочетание воздействий при проверках на усталостную прочность приведены в соответствующих ТНПА;

- UPL — потеря устойчивости строительного сооружения или основания вследствие увеличения давления (взвешивающего действия) воды или других вертикальных воздействий;
- HYD — гидравлический подъем в основании, внутренняя эрозия почвы и образование раковин в грунте, вызванные наличием гидравлических градиентов.

5.3.4 Расчетные значения воздействий следует принимать в соответствии с приложением А.

5.3.5 Проверки предельного состояния EQU следует выполнять исходя из условия $E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$, предельных состояний STR и (или) GEO — из условия $E_d \leq R_d$.

5.4.1 К предельным состояниям эксплуатационной пригодности конструкций следует относить состояния, касающиеся:

- функциональности конструкций или элементов конструкций в нормальных условиях эксплуатации;
- комфорта пользователя;
- внешнего вида строительного сооружения.

Для использования в расчетных сочетаниях следует различать обратимые и необратимые предельные состояния эксплуатационной пригодности.

5.4.2 Проверки предельных состояний эксплуатационной пригодности строительных сооружений следует выполнять с использованием следующих критериев оценки:

- а) деформаций, влияющих на:
- 1) внешний вид строительного сооружения (контроль прогиба и ширины раскрытия трещин);
 - 2) комфорт пользователя;
 - 3) функциональность конструкций (по отношению к оборудованию, инженерным сетям и обслуживающему персоналу);
- б) колебаний:
- 1) вызывающих дискомфорт у пользователя;
 - 2) ограничивающих функциональность конструкций;

- 1) внешний вид строительного сооружения;
- 2) долговечность конструкций;
- 3) функциональность конструкций.

5.4.3 Проверки предельных состояний эксплуатационной пригодности следует выполнять исходя из условия $E_d \leq C_{d,lim}$.

5.5.1 Проверки предельных состояний следует производить одним из следующих методов:

- полностью вероятностным;
- частных коэффициентов;
- на основе результатов испытаний.

5.5.3 Для выбранных расчетных ситуаций следует рассматривать случаи нагружения, позволяющие получить наиболее неблагоприятные эффекты воздействий (внутренних усилий).

5.5.4 Для отдельных проверок предельных состояний случаи нагружения следует выбирать, устанавливая взаимно совместимые схемы нагружения, совокупности деформаций и несовершенств, которые рассматривают совместно с фиксированными переменными и постоянными воздействиями.

5.5.5 В расчетах следует учитывать возможные отклонения от предполагаемых направлений или положений воздействий.

5.5.6 В качестве расчетных моделей сопротивления конструкций и воздействий (эффектов воздействий) следует использовать физические и аналитические расчетные модели.

Проверки предельных состояний полностью вероятностным методом выполняют посредством прямого сравнения рассчитанной вероятности отказа для рассматриваемого предельного состояния с целевым значением параметра надежности (индекса надежности или вероятности отказа), определяемого с учетом заданного периода отнесения. Основные требования к вероятностным методам расчета — в соответствии с приложением В.

5.7.1 Проверки предельных состояний на основе результатов испытаний необходимо выполнять в следующих случаях:

- при отсутствии расчетных моделей;
- при использовании большого количества однотипных элементов конструкций;
- для подтверждения допущений, принятых в расчетах.
- при ограничении области применения существующего метода проверки предельного состояния;
- для сложных расчетных моделей, приводящих к неопределенным результатам испытаний;
- для подтверждения работоспособности и поведения конструкций;
- для определения экспериментальных величин (коэффициентов жесткости, затухания, аэродинамических коэффициентов и т. д.).

5.7.2 При проверках следует учитывать статистические неопределенности, обусловленные ограниченным количеством результатов испытаний.

6.1 Общие требования

6.1.1 Проверки предельных состояний методом частных коэффициентов следует выполнять для подтверждения непревышения предельных состояний для всех соответствующих расчетных ситуаций при условии принятия в расчетных моделях воздействий (эффектов воздействий) и сопротивлений расчетных значений базисных переменных.

6.1.2 Для проверок предельных состояний в соответствующих расчетных ситуациях отдельные воздействия сочетают в соответствии с 6.10 и 6.11.

6.2 Ограничения

6.2.1 Требования, установленные в настоящих строительных нормах, распространяются на проверки предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкций, подверженных статическим воздействиям, включая случаи, когда динамические воздействия оценивают с использованием эквивалентных квазистатических воздействий и динамических повышающих коэффициентов.

6.2.2 Нелинейные расчеты и проверки на выносливость производят в соответствии с требованиями ТНПА.

6.3 Нормирование базисных переменных

6.3.1 В качестве репрезентативных значений базисных переменных X_{rep} и F_{rep} следует применять:

— характеристические значения, т. е. значения с установленной или предполагаемой вероятностью превышения (или занижения), например, для воздействий, характеристик свойств материалов и изделий, геометрических параметров;

— номинальные значения, которые рассматривают как характеристические значения свойств материалов и изделий, а также расчетные значения геометрических параметров.

6.3.2 Для получения расчетных значений базисных переменных X_d и F_d их репрезентативные значения X_{rep} и F_{rep} следует делить и (или) умножать на соответствующие частные коэффициенты.

6.3.3 Расчетные значения базисных переменных, определяемые на основе статистических данных, должны обеспечивать уровень надежности конструкций и элементов конструкций для различных предельных состояний не менее полученного с учетом частных коэффициентов, установленных в настоящих строительных нормах и соответствующих ТНПА.

6.4 Характеристические и расчетные значения воздействий и влияний окружающей среды

6.4.1 Классификация воздействий

6.4.1.1 Воздействия в зависимости от их происхождения классифицируются на прямые и косвенные.

6.4.1.2 Воздействия в зависимости от их изменения во времени классифицируются на:

- постоянные G ;
- переменные Q ;
- особые A ;
- сейсмические A_E .

Косвенные воздействия, вызванные вынужденными деформациями, могут быть постоянными или переменными.

Воздействия, вызванные действием воды, рассматривают как постоянные и (или) переменные в зависимости от изменения их значений во времени.

6.4.1.3 Расчетные модели усталостных нагрузок и динамических воздействий должны соответствовать требованиям ТНПА. Для конструкций, требования к расчетным моделям которых не установлены в ТНПА, воздействия определяют на основе измерений или равнозначных испытаний для прогнозируемых воздействий. Расчетные модели нагрузок для определения характеристических значений динамических воздействий и усталостных нагрузок должны включать в себя эффекты от ускорений, вызванных косвенными или прямыми воздействиями, с учетом повышающих динамических коэффициентов.

6.4.2 Характеристическое значение воздействия

6.4.2.1 Характеристическое значение воздействия F_k устанавливается как среднее, верхнее, нижнее или номинальное значение.

6.4.2.2 Изменчивость постоянного воздействия G не учитывают в расчетах, если значение G существенно не изменяется в течение проектного срока эксплуатации конструкции и его коэффициент вариации незначителен. Характеристическое значение G_k принимают равным его среднему значению.

Примечание — В зависимости от вида конструкции коэффициент вариации для постоянного воздействия считают незначительным, если он составляет от 0,05 до 0,1.

6.4.2.3 Если конструкция чувствительна к изменениям значения G (например, отдельные виды предварительно напряженных бетонных конструкций), то необходимо использовать два значения, в том числе в случае, когда коэффициент вариации незначителен. Тогда нижнее значение постоянного воздействия $G_{k,inf}$ определяют как 5 %-ный квантиль статистического распределения, а верхнее значение $G_{k,sup}$ — как 95 %-ный квантиль статистического распределения Гаусса.

6.4.2.4 Собственный вес конструкции может быть представлен одним характеристическим значением G_k и вычислен при номинальных размерах и среднем значении объемного веса материалов согласно СН 2.01.02.

6.4.2.5 Предварительное напряжение P относят к постоянным воздействиям, вызванным усилиями и (или) контролируемыми вынужденными деформациями конструкции. Необходимо учитывать способы предварительного напряжения (например, с помощью напрягающих элементов или вынужденных деформаций на опорах).

Примечание — Для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности характеристическое значение усилия предварительного напряжения для заданного момента времени t выражают верхним значением $P_{k,sup}(t)$ и нижним значением $P_{k,inf}(t)$. Для проверок предельных состояний несущей способности принимают среднее значение $P_m(t)$.

6.4.2.6 Характеристическое значение переменного воздействия Q_k должно соответствовать одному из значений:

- верхнему с заданной вероятностью непревышения или нижнему с заданной вероятностью достижения в течение установленного периода отнесения;
- номинальному, которое может быть установлено в случаях, когда статистическое распределение неизвестно.

Примечания

1 Численные значения переменных воздействий принимают в соответствии с ТНПА.

2 Характеристические значения влияний окружающей среды устанавливают исходя из условия, чтобы вероятность превышения значения изменяющейся во времени части этого воздействия составляла 0,02 для периода отнесения 1 год. Это соответствует среднему периоду отнесения 50 лет для части воздействия, изменяющейся во времени. В отдельных случаях в зависимости от воздействия и (или) выбранной расчетной ситуации могут быть приняты другие квантили статического распределения и (или) периоды отнесения.

6.4.2.7 При расчете многокомпонентных воздействий (например, транспортных нагрузок на мосты) воздействия принимают в виде групп нагрузок, каждую из которых учитывают в расчетах отдельно.

6.4.3 Другие репрезентативные значения переменных воздействий

В качестве репрезентативных значений переменных воздействий следует принимать:

- комбинационное значение, выраженное в виде произведения $\psi_0 Q_k$, — используют для проверок предельных состояний несущей способности и необратимых предельных состояний эксплуатационной пригодности;
- частое значение, выраженное в виде произведения $\psi_1 Q_k$, — используют для проверок предельных состояний несущей способности, включающих особые воздействия, и обратимых предельных состояний эксплуатационной пригодности.

Примечание — Для зданий частое значение принимают исходя из условия, чтобы вероятность его превышения составляла 0,01 продолжительности периода отнесения; частое значение для транспортных нагрузок на мосты определяют для периода повторяемости 1 неделя;

- практически постоянное значение, выраженное в виде произведения $\psi_2 Q_k$, — используют для проверок предельных состояний несущей способности, включающих особые воздействия, и обратимых предельных состояний эксплуатационной пригодности. Практически постоянное значение используют для расчетов длительных эффектов воздействий.

Примечание — Практически постоянное значение переменных воздействий, действующих на перекрытия зданий, как правило, принимают из условия, чтобы вероятность их превышения составляла 0,5 продолжительности периода отнесения. Альтернативно практически постоянное значение допускается определять как значение, усредненное за определенный период времени. Для ветрового воздействия или транспортных нагрузок на мосты практически постоянное значение, как правило, принимают равным нулю.

6.4.4 Расчетное значение воздействия

6.4.4.1 Расчетное значение воздействия F_d в общем случае определяют по формуле

$$F_d = \gamma_f F_{rep}, \quad (6.1)$$

где γ_f — частный коэффициент для воздействия, учитывающий возможность неблагоприятных отклонений значения воздействия от репрезентативного значения;

F_{rep} — соответствующее репрезентативное значение воздействия; определяют по формуле

$$F_{rep} = \psi F_k, \quad (6.2)$$

здесь ψ — коэффициент; принимают равным 1 или ψ_0, ψ_1, ψ_2 ;

F_k — характеристическое значение воздействия.

6.4.4.2 Для особого и сейсмического воздействий их расчетные значения определяют на основе характеристических значений или в соответствии с требованиями ТНПА.

6.5 Расчетное значение эффектов воздействий

6.5.1 Расчетное значение эффектов воздействий E_d в общем виде представляют выражением

$$E_d = \gamma_{Ed} E\{\gamma_{fi} F_{repi}; a_d\}; i \geq 1, \quad (6.3)$$

где γ_{Ed} — частный коэффициент, учитывающий неопределенность расчетной модели эффектов воздействий, в отдельных случаях — расчетной модели воздействия;

a_d — расчетное значение геометрического параметра (6.7.2).

6.5.2 Расчетное значение эффектов воздействий в упрощенном виде представляют выражением

$$E_d = E\{\gamma_{Fi} F_{repi}; a_d\}; i \geq 1, \quad (6.4)$$

где

$$\gamma_{Fi} = \gamma_{sd} \gamma_{fi}. \quad (6.5)$$

Примечание — В отдельных случаях, например, если учитывают геотехнические воздействия, частный коэффициент γ_{Fi} применяют к эффекту отдельного воздействия или в виде коэффициента γ_F для сочетания эффектов воздействий с соответствующими частными коэффициентами.

6.5.3 При нелинейной зависимости между воздействиями и их эффектами в случае одного доминирующего воздействия следует применять следующие упрощения:

— при возрастании эффекта воздействия быстрее, чем воздействие, частный коэффициент γ_F применяют к репрезентативному значению воздействия;

— при возрастании эффекта воздействия медленнее, чем воздействие, частный коэффициент γ_F применяют к репрезентативному значению эффекта воздействия.

6.6 Свойства материалов и изделий

6.6.1 Характеристическое значение свойства материала и изделия

6.6.1.1 Свойства материалов (в том числе грунтов и скальных пород) или изделий следует описывать их характеристическими значениями.

6.6.1.2 В случае зависимости результатов проверок предельных состояний от изменчивости свойств материалов и изделий, в расчетах следует учитывать верхнее и нижнее характеристические значения.

6.6.1.3 Если требованиями ТНПА не установлено иное, то соблюдают следующее требование: для неблагоприятного нижнего значения характеристики свойства материала или изделия характеристическое значение определяют как 5 %-ный квантиль статистического распределения, для благоприятного верхнего значения характеристики свойства материала или изделия — как 95 %-ный квантиль статистического распределения.

6.6.1.4 Характеристическое значение свойства материала и изделия следует определять, используя стандартные методы испытаний. При необходимости следует применять коэффициент преобразования для приведения результатов испытаний к значениям, которые могут считаться репрезентативными для достоверного описания поведения материала или изделия в конструкции или основании (приложение Г).

6.6.1.5 При отсутствии достаточного количества статистических данных для определения характеристического значения свойства материала и изделия в качестве характеристического следует принимать номинальное значение или устанавливать расчетное значение характеристики свойства материала и изделия по результатам испытаний.

6.6.1.6 Характеристическое значение деформативных свойств материалов конструкции (например, модуль упругости, коэффициент ползучести) и коэффициент термического расширения следует принимать как среднее значение.

Примечания

1 При проектировании конструкций учитывают длительные эффекты воздействий.

2 В отдельных случаях взамен среднего значения модуля упругости принимают его нижнее или верхнее значение (например, при проверке потери устойчивости формы).

6.6.1.7 Характеристические значения свойств материалов и изделий, установленные с учетом статистической изменчивости, принимают согласно ТНПА.

6.6.2 Расчетное значение свойства материала и изделия

6.6.2.1 Расчетное значение характеристики свойства материала и изделия X_d определяют по формуле

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}, \quad (6.6)$$

где η — среднее значение коэффициента преобразования;

X_k — характеристическое значение свойства материала и изделия;

γ_m — частный коэффициент для характеристики свойства материала и изделия, учитывающий возможные неблагоприятные отклонения характеристики свойства материала или изделия от характеристического значения, а также случайную часть коэффициента преобразования η .

6.6.2.2 В отдельных случаях коэффициент η учитывают непосредственно в характеристическом значении X_k или при использовании значения γ_m вместо γ_m .

6.6.2.3 Расчетное значение X_d может быть установлено на основе прямого статистического анализа, результатов испытаний физических характеристик свойств материалов и изделий (см. приложение Г).

6.6.2.4 Для материалов и изделий, свойства которых зависят от продолжительности действия нагрузок, а также температурно-влажностных условий эксплуатации, расчетные значения X_d следует определять в соответствии с требованиями ТНПА для конкретных материалов и изделий.

6.7 Геометрические параметры

6.7.1 Характеристическое значение геометрического параметра

6.7.1.1 Геометрические параметры следует представлять их характеристическими значениями или расчетными значениями (например, при наличии дефектов или геометрических несовершенств).

6.7.1.2 Геометрические параметры, указанные в проектной документации, следует принимать как характеристические значения.

6.7.1.3 Для известного статистического закона распределения следует применять значения геометрических параметров, соответствующие установленному квантилю статистического распределения.

6.7.1.4 Геометрические несовершенства, которые следует учитывать при расчете элементов конструкций, принимают согласно ТНПА.

6.7.1.5 Допуски геометрических параметров соединяемых частей, выполненных из различных материалов, должны быть взаимно совместимыми в соответствии с требованиями ТНПА.

6.7.2 Расчетное значение геометрического параметра

6.7.2.1 Расчетное значение геометрического параметра a_d (например, размеры элемента конструкции), используемое при определении эффектов воздействий и (или) сопротивления конструкции, следует указывать в виде номинального значения a_{nom} : $a_d = a_{nom}$.

6.7.2.2 Если отклонения геометрических параметров (например, вследствие неточности места приложения нагрузок или расположения опор) оказывают влияние на эффекты воздействий и (или) сопротивление конструкции (например, с учетом эффектов второго порядка), расчетное значение геометрического параметра определяют по формуле

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a, \quad (6.7)$$

где Δa учитывает:

- вероятность неблагоприятных отклонений от характеристических или номинальных значений;
- суммарный эффект нескольких одновременных отклонений геометрических параметров.

Примечание — С помощью значения a_d определяют геометрические несовершенства при a_{nom} , равном нулю (т. е. $\Delta a \neq 0$).

6.8 Расчетное значение сопротивления

6.8.1 Расчетное значение сопротивления R_d в общем виде представляют выражением

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot R\{X_{di}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot R\left\{\eta_i \cdot \frac{X_{ki}}{\gamma_{mi}}; a_d\right\}; i \geq 1, \quad (6.8)$$

где γ_{Rd} — частный коэффициент, учитывающий неопределенность расчетной модели сопротивления, включая отклонения геометрических параметров (при необходимости);

X_{di} — расчетное значение i -й характеристики свойства материала и изделия.

6.8.2 Расчетное значение сопротивления R_d в упрощенном виде представляют выражением

$$R_d = R\left\{\eta_i \cdot \frac{X_{ki}}{\gamma_{mi}}; a_d\right\}; i \geq 1, \quad (6.9)$$

где $\gamma_{Mi} = \gamma_{Rd}\gamma_{mi}$. (6.10)

Примечание — Значение η_i может быть включено в γ_M .

6.8.3 Расчетное значение сопротивления R_d допускается определять непосредственно из характеристического значения сопротивления материала или изделия, без подробного определения расчетных значений для отдельных базисных переменных, по формуле

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}. \quad (6.11)$$

Примечания

1 Формулу (6.11), а также приложение Г применяют для расчета изделий или элементов конструкций, изготовленных из одного материала.

2 Для материалов и изделий, свойства которых зависят от продолжительности действия нагрузок, а также температурно-влажностных условий эксплуатации, расчетное значение R_d определяют в соответствии с требованиями ТНПА для конкретных материалов и изделий.

6.8.4 Для конструкций или элементов конструкций, рассчитываемых нелинейными методами и состоящих из разных материалов, работающих совместно (например, сталежелезобетонные конструкции), или если расчетное значение сопротивления зависит от свойств основания, для определения расчетного значения сопротивления следует применять следующее выражение:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{M1}} \cdot R\left\{\eta_1 X_{k1}; \eta_i X_{ki(i>1)} \cdot \frac{\gamma_{m1}}{\gamma_{mi}}; a_d\right\}. \quad (6.12)$$

Примечание — В отдельных случаях расчетное значение сопротивления может быть определено с применением к отдельным значениям сопротивления, зависящим от свойств материала, частного коэффициента γ_M .

6.9 Частные коэффициенты

Значения частных коэффициентов для воздействий (эффектов воздействий) следует принимать в соответствии с настоящими строительными нормами (см. приложения А и Б). Значения частных коэффициентов для материалов и изделий, а также глобальных коэффициентов сопротивления для конструкций, применяемых для нелинейных расчетов, следует устанавливать согласно соответствующим ТНПА на конкретные виды конструкций.

6.10 Сочетание воздействий для проверок предельных состояний несущей способности (ULS) (за исключением проверок на выносливость усталостную прочность)

6.10.1 Общие требования

6.10.1.1 Для каждого случая нагружения расчетное значение эффектов воздействий E_d следует определять, применяя сочетание воздействий, включающее доминирующее переменное воздействие или особое воздействие.

6.10.1.2 Если для нескольких эффектов одного воздействия (например, изгибающий момент и продольная сила, вызванные собственным весом конструкции) не установлена взаимная корреляция, то частный коэффициент, применяемый к любой благоприятно действующей составляющей части воздействия, следует уменьшать.

6.10.2.1 Расчетное значение эффектов воздействий E_d в общем виде представляют выражениями:

$$E_d = E\{\gamma_{Gi} \mathbf{G}_{ki}; \gamma_P \mathbf{P}; \gamma_{Qi} \mathbf{Q}_{k1}; \gamma_{Qi} \psi_{Qi} \mathbf{Q}_{ki}\}; j \geq 1; i > 1. \quad (6.14)$$

6.10.2.3 Для воздействий, приведенных в фигурных скобках в выражении (6.14), применяют следующее расчетное сочетание:

в качестве альтернативы для получения наиболее неблагоприятного результата также применяют одно из следующих расчетных сочетаний:

$$E_d = \sum_{i \geq 1} \xi_j \gamma_{Gj} \mathbf{G}_{kj} + \gamma_P \mathbf{P} + \gamma_{Q1} \mathbf{Q}_{k1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{0i} \mathbf{Q}_{ki}, \quad (6.17)$$

"+" — обозначает «следует учитывать в сочетании с».

6.10.2.4 Если зависимость между воздействиями и их эффектами нелинейная, следует применять выражения (6.13) и (6.14) с условием, что воздействия прирастают быстрее, чем эффекты воздействий или наоборот.

6.10.3.1 Расчетное значение эффектов воздействий E_d в общем виде представляют выражением

6.10.3.2 Для воздействий, приведенных в фигурных скобках в выражении (6.18), также применяют следующее расчетное сочетание:

6.10.3.3 Репрезентативные значения $\psi_{1,1} Q_{k1}$ и $\psi_{2,1} Q_{k1}$ следует выбирать в зависимости от особой расчетной ситуации (ударные воздействия транспортных средств в части зданий, пожар или оценка живучести конструктивной системы после наступления особой расчетной ситуации).

6.10.3.4 В сочетание воздействий в особых расчетных ситуациях необходимо включать доминирующее особое воздействие А (пожар или удар) и сопутствующие постоянные и переменные воздействия. После локального разрушения воздействие А принимают равным нулю.

6.10.3.5 В случае возникновения пожароопасных ситуаций кроме теплового влияния на свойства материалов и изделий определяют косвенное тепловое воздействие, вызванное пожаром, с помощью расчетного значения A_d .

6.10.4.1 Расчетное значение эффектов воздействий E_d в общем виде представляют выражением

6.10.4.2 Для воздействий, приведенных в фигурных скобках в выражении (6.20), также применяют следующее расчетное сочетание:

$$E_d = \sum_{i>1} G_{kj} + P + A_{Ed} + \sum_{i>1} \psi_{2i} Q_{ki}. \quad (6.21)$$

Значения частных коэффициентов γ и коэффициентов сочетания воздействий ψ , учитывающих комбинационное, частое и практически постоянное значения переменных воздействий, следует принимать в соответствии с требованиями приложения А настоящих строительных норм и иных ТНПА.

Частные коэффициенты для свойств материалов и изделий следует принимать в соответствии с требованиями ТНПА.

6.11.1 Сочетание воздействий

6.11.1.1 Сочетания воздействий, учитываемые в соответствующих расчетных ситуациях, должны соответствовать требованиям эксплуатационной пригодности и проверяемым критериям функциональности конструкций.

6.11.1.2 Для предельных состояний эксплуатационной пригодности следует применять следующие сочетания воздействий, в которых все частные коэффициенты равны 1 (см. приложение А):

— для необратимых предельных состояний — характеристическое сочетание:

— для обратимых предельных состояний — частое сочетание:

— для оценки длительных эффектов воздействий и внешнего вида конструкций — практически постоянное сочетание:

$$E_d = \sum_{i \geq 1} G_{k_j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{k_i}. \quad (6.24)$$

6.11.1.3 Репрезентативные значения усилия предварительного напряжения (P_k или P_m) следует принимать в соответствии с требованиями ТНПА.

Для предельных состояний эксплуатационной пригодности частный коэффициент γ_M для характеристик свойств материалов и изделий при отсутствии иных требований ТНПА следует принимать равным 1.

7.1 Моделирование конструкций

7.1.1 Расчетные модели конструкций должны соответствовать рассматриваемым предельным состояниям.

7.1.2 Расчетные модели, применяемые для проверок предельных состояний, должны включать все значимые базисные переменные, максимально отображать статические и геометрические граничные условия, а также условия передачи опорных реакций.

7.1.3 В случаях, оговоренных в соответствующих ТНПА, разработку (проверку) расчетных моделей конструкций следует выполнять на основе экспериментальных данных.

7.2.1 Расчетные модели, применяемые для определения эффектов статических воздействий, следует устанавливать на основе зависимости «усилие — деформация» элементов конструкций и их соединений, а также между элементами конструкций и основанием.

7.2.2 Граничные условия, принимаемые в расчетных моделях эффектов статических воздействий, должны соответствовать граничным условиям проектируемой конструкции.

Примечание — Методы учета эффектов второго порядка приведены в соответствующих ТНПА.

- в линейно-упругих расчетах — непосредственно или как эквивалентные усилия;
- в нелинейных расчетах — как прямые или эквивалентные деформации.

7.3.1 Расчетная модель для определения эффектов динамических воздействий должна учитывать массу конструкции, жесткостные характеристики и характеристики затухания колебаний.

7.3.3 Если динамические воздействия рассматривают как квазистатические, то динамическую составляющую такого воздействия следует учитывать включением ее в статическое значение или введением эквивалентных динамических повышающих коэффициентов, на которые умножают значение статического воздействия.

7.3.4 В отдельных случаях (например, при колебаниях, вызванных ветровыми или сейсмическими воздействиями) эффекты динамических воздействий следует определять на основе модального анализа, принимая линейно-упругое поведение материалов и геометрическую форму конструкции без учета эффектов второго порядка. Для конструкций, имеющих стабильную геометрическую форму, равномерное распределение масс и жесткостей, вместо точного модального расчета необходимо выполнять расчет эквивалентных статических воздействий при условии, что только фундаментальная (основная) форма колебаний является значимой.

7.4 Расчет огнестойкости

7.4.3 Поведение конструкций, находящихся в условиях пожара, следует оценивать, учитывая номинальные или параметрические температурные режимы пожара, а также сопутствующие воздействия согласно СН 2.01.03.

— расчетные модели нагрева конструкций (теплотехнический расчет) могут быть основаны на допущении о равномерном или неравномерном распределении температуры в поперечном сечении и по длине элемента конструкции, а также могут учитывать либо не учитывать теплообмен с примыкающими конструкциями;

7.4.5 Расчетные модели механического поведения элементов конструкций (статический расчет) следует применять нелинейными согласно ТНПА.

7.4.6 Теплофизические свойства огнезащитных материалов допускается определять на основании совместного анализа результатов испытаний при соответствующих температурных режимах и расчетных моделях нагрева (теплотехнического расчета).

Приложение А

Требования для зданий

А.1 Общие требования

Настоящее приложение устанавливает требования к определению сочетаний воздействий (эффектов воздействий) для зданий и критерии оценки эксплуатационной пригодности.

А.2 Коэффициенты сочетания воздействий ψ

Значения коэффициентов сочетания воздействий ψ для зданий следует принимать в соответствии с таблицей А.1 настоящих строительных норм, при производстве строительных работ — в соответствии с ТКП EN 1991-1-6 (приложение А.1).

Таблица А.1 — Значения коэффициентов ψ для зданий

Воздействия	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Функциональные нагрузки для зданий согласно СН 2.01.02 для категории использования:			
А — жилые помещения	0,7	0,5	0,3
В — офисные помещения	0,7	0,5	0,3
С — помещения с возможным скоплением людей	0,7	0,7	0,6
Д — торговые помещения	0,7	0,7	0,6
Е — складские и производственные помещения	1,0	0,9	0,8
Ф — парковочные зоны и зоны проезда транспортных средств общим весом до 30 кН включ.	0,7	0,7	0,6
Г — то же св. 30 до 160 кН включ.	0,7	0,5	0,3
Н — неэксплуатируемые кровли	0	0	0
Снеговые нагрузки согласно СН 2.01.04	0,6	0,5	0
Ветровые воздействия согласно СН 2.01.05	0,6	0,2	0
Температурные воздействия (за исключением пожаров) согласно СН 2.01.06	0,6	0,5	0

А.3 Предельные состояния несущей способности

А.3.1 Сочетание воздействий в постоянных и переходных расчетных ситуациях

А.3.1.1 Проверки предельных состояний несущей способности конструкций или элементов конструкций при потере статического равновесия (EQU, см. 5.3) следует выполнять с использованием расчетных значений воздействий, установленных в таблице А.2.

А.3.1.2 Проверки предельных состояний несущей способности конструкций или элементов конструкций STR (см. 5.3), при которых не учитывают геотехнические воздействия, следует выполнять с использованием расчетных значений воздействий, установленных в таблице А.3.

А.3.1.3 Проверки предельных состояний STR конструкций или элементов конструкций (фундаментов, свай, стен подвалов и т. д.), при которых учитывают геотехнические воздействия и сопротивление грунта (GEO, см. 5.3), следует выполнять, соблюдая следующее требование: для геотехнических и других воздействий, в том числе воздействий, создаваемых конструкцией, необходимо выполнять два отдельных расчета с применением расчетных значений воздействий, установленных в таблицах А.3 и А.4.

Примечание — В отдельных случаях применяют расчетные значения воздействий, установленные в других ТНПА.

Таблица А.2 — Расчетные значения воздействий при проверках предельных состояний EQU

Постоянная и переходная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Доминирующее переменное* воздействие	Сопутствующие переменные* воздействия	
	неблагоприятное	благоприятное		основное	другие
Формула (6.15)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$	—	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$
* Переменные воздействия указаны в таблице А.1.					
<p>Примечания</p> <p>1 Значения γ принимают:</p> <p>$\gamma_{Gj,sup}$ — 1,10;</p> <p>$\gamma_{Gj,inf}$ — 0,90;</p> <p>γ_{Q1}, γ_{Qi} — 1,50 при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях.</p> <p>2 В случаях когда в проверку статического равновесия также включают проверку сопротивления элементов конструкции, необходимо выполнить две проверки с использованием данных таблиц А.2 и А.3.</p>					

Таблица А.3 — Расчетные значения воздействий при проверках предельных состояний STR

Постоянная и переходная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Доминирующее переменное* воздействие	Сопутствующие переменные* воздействия	
	неблагоприятное	благоприятное		основное	другие
Формула (6.16)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	—	$\gamma_{Q1} \psi_{0,1} Q_{k1}$	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$
Формула (6.17)	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$	—	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$
* Переменные воздействия указаны в таблице А.1.					
<p>Примечания</p> <p>1 В общем случае для формул (6.16) и (6.17) значения γ и ξ принимают:</p> <p>$\gamma_{Gj,sup}$ — 1,35;</p> <p>$\gamma_{Gj,inf}$ — 1,00;</p> <p>γ_{Q1}, γ_{Qi} — 1,50 при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;</p> <p>ξ — 0,85; $\xi \gamma_{Gj,sup} = 0,85 \cdot 1,35 \cong 1,15$.</p> <p>Частные коэффициенты γ для вынужденных деформаций принимают согласно ТНПА.</p> <p>2 В отдельных случаях значения γ_G и γ_Q разделяют на коэффициенты γ_g и γ_q соответственно и коэффициент погрешности γ_{sd}. Значения коэффициента γ_{sd} принимают от 1,05 до 1,15.</p> <p>3 Для расчетов стальных и железобетонных конструкций в формулах (6.16) и (6.17) принимают следующие значения частных коэффициентов:</p> <p>— для постоянного воздействия:</p> <p> собственного веса стальных конструкций $\gamma_{G,sup}$ — 1,2;</p> <p> собственного веса железобетонных конструкций, выполняемых в заводских условиях, $\gamma_{G,sup}$ — 1,2;</p> <p> то же на строительной площадке, $\gamma_{G,sup}$ — 1,3;</p> <p>— для других постоянных воздействий $\gamma_{G,sup}$ — 1,30;</p> <p>— для неблагоприятного постоянного воздействия понижающий коэффициент ξ — 0,85;</p> <p>— для постоянного воздействия $\gamma_{G,inf}$ — 0,9;</p> <p>— для функциональной нагрузки γ_Q — 1,4;</p> <p>— для снеговой нагрузки γ_Q — 1,6 при отношении характеристического значения снеговой нагрузки к полной нагрузке на элемент конструкции, включая нагрузку от его собственного веса (более 0,5); 1,5 — в других случаях;</p> <p>— для ветрового воздействия γ_Q — 1,5.</p>					

Таблица А.4 — Расчетные значения воздействий при проверках предельных состояний GEO

Постоянная и переходная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Доминирующее переменное* воздействие	Сопутствующие переменные* воздействия	
	неблагоприятное	благоприятное		основное	другие
Формула (6.15)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$	—	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$
* Переменные воздействия указаны в таблице А.1.					
<p><i>Примечание</i> — Значения γ принимают:</p> <p>$\gamma_{Gj,sup}$ — 1,00;</p> <p>$\gamma_{Gj,inf}$ — 1,00;</p> <p>γ_{Q1}, γ_{Qi} — 1,30 при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях.</p>					

А.3.2 Сочетание воздействий в особых и сейсмических расчетных ситуациях

Проверки предельных состояний несущей способности конструкций или элементов конструкций в особых и сейсмических расчетных ситуациях необходимо выполнять с использованием расчетных значений воздействий, установленных в таблице А.5.

Значения частных коэффициентов для воздействий при проверках предельных состояний несущей способности в особых и сейсмических расчетных ситуациях (формулы (6.18)–(6.21)) следует принимать равными 1, значения коэффициентов ψ — в соответствии с таблицей А.1.

Таблица А.5 — Расчетные значения воздействий в особых и сейсмических расчетных ситуациях

Постоянная и переходная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Доминирующее переменное* особое или сейсмическое воздействие	Сопутствующие переменные воздействия	
	неблагоприятное	благоприятное		основное	другие
Формула (6.18) или (6.19) — для особой расчетной ситуации	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	A_d	$\psi_{1,1}Q_{k1}$ или $\psi_{2,1}Q_{k1}$	$\psi_{2i}Q_{ki}$
Формула (6.20) или (6.21) — для сейсми- ческой расчетной си- туации	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_{Ed} = \gamma_f A_{Ek}$	$\psi_{2i}Q_{ki}$	
* Для особых расчетных ситуаций доминирующее переменное воздействие учитывают с помощью часто встречающихся или практически постоянных значений (см. также СН 2.01.03).					

А.3.3 Дифференциация уровней надежности

Для дифференциации уровней надежности следует использовать коэффициент последствий k_{FI} , принимаемый в зависимости от класса последствий, связанного с отказом всей конструктивной системы или элементов конструкции (таблица А.6). Коэффициент k_{FI} следует применять только для неблагоприятных воздействий в основных расчетных сочетаниях при проверках предельных состояний в постоянных расчетных ситуациях.

Таблица А.6 — Значения коэффициента k_{FI}

Класс последствий	СС1	СС2	СС3
k_{FI}	0,9	1,0	1,1

А.4.1 Сочетание воздействий

A.4.1.2 Расчетные значения воздействий при проверках критериев оценки эксплуатационной пригодности принимают согласно таблице А.7.

Таблица А.7 — Расчетные значения воздействий при проверках критериев оценки эксплуатационной пригодности

Сочетание воздействий	Постоянные воздействия G_d		Переменные воздействия Q_d	
	неблагоприятное	благоприятное	доминирующее	другие
Характеристическое	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	Q_{k1}	$\Psi_{0i}Q_{ki}$
Частое	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{1,1}Q_{k1}$	$\Psi_{2i}Q_{ki}$
Практически постоянное	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{2,1}Q_{k1}$	$\Psi_{2i}Q_{ki}$

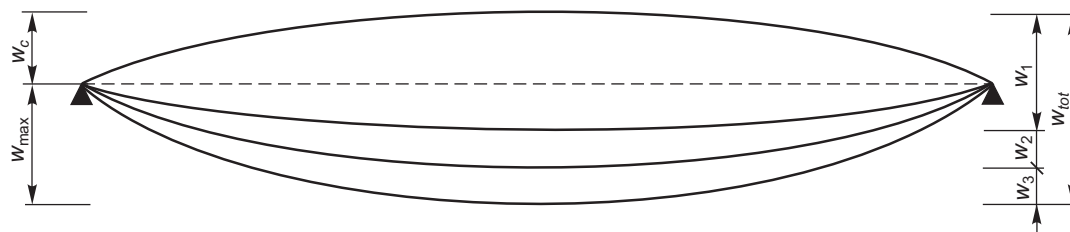
A.4.2.1 Проверки предельных состояний эксплуатационной пригодности строительных сооружений следует выполнять с использованием критериев оценки, устанавливающих ограничения вертикальных и горизонтальных перемещений, ограничения разницы перемещений, колебаний, ширины раскрытия трещин. При проверках следует учитывать все факторы, влияющие на значения критериев оценки, в том числе зависимость во времени и уровень нагружения (неупругие деформации материалов, образование трещин, деформированную схему, смежные элементы, податливость узлов сопряжения и оснований, усадку, релаксацию и ползучесть материалов конструкций и соединений элементов конструкций).

A.4.2.2 Предельно допустимые значения параметров критериев оценки при проверках предельных состояний эксплуатационной пригодности принимают в соответствии с требованиями ТНПА на отдельные виды конструкций. Для конкретного строительного сооружения предельно допустимые значения параметров (см. A.4.2.1) необходимо устанавливать в техническом задании на проектирование, утвержденном заказчиком.

A.4.3.1 Вертикальные и горизонтальные перемещения необходимо определять в соответствии с требованиями ТНПА.

A.4.3.2 Схему определения вертикального перемещения элемента конструкции принимают в соответствии с рисунком А.1.

A.4.3.3 Предельно допустимые значения вертикальных перемещений принимают в соответствии с таблицей А.8.



w_1 — начальная часть перемещения при характеристических значениях постоянных нагрузок;
 w_2 — долговременная часть перемещения при характеристических значениях постоянных нагрузок
 и практически постоянных значениях переменных нагрузок;
 w_3 — кратковременная часть перемещения при $(\psi_1 - \psi_2) \cdot Q_k$ или $(1 - \psi_2) \cdot Q_k$
 для соответствующего сочетания воздействий [формулы (6.22) и (6.23)];
 w_{tot} — полное перемещение, равное $w_1 + w_2 + w_3$;
 w_{max} — полное перемещение за вычетом выгиба

Рисунок А.1 — Схема определения вертикального перемещения элемента конструкции

Таблица А.8 — Предельно допустимые значения вертикальных перемещений

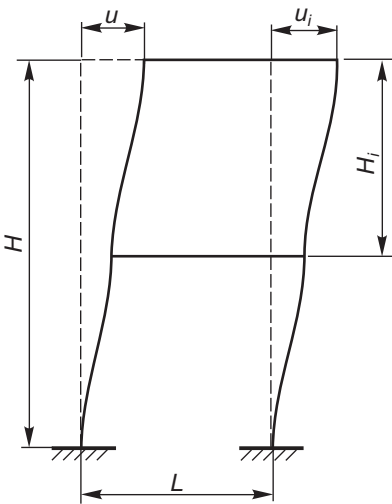
Наименование конструкций	Требования пригодности при нормальных условиях эксплуатации в зависимости от критерия оценки		
	Ограничение повреждений несущих, примыкающих и смежных элементов, отделки	Комфорт пользователя	Внешний вид
	Характеристическое сочетание воздействий	Частое сочетание воздействий	Практически постоянное сочетание воздействий
Неэксплуатируемые покрытия (кровля)	Кровельное покрытие: жесткое: $w_2 + w_3 \leq L/250$ гибкое: $w_2 + w_3 \leq L/125$	$w_2 + w_3 \leq L/300$	$w_1 + w_2 - w_c \leq L/250$
	Потолок: оштукатуренный: $w_2 + w_3 \leq L/350$ подвесной: $w_2 + w_3 \leq L/250$		
Перекрытия, эксплуатируемые покрытия	Внутренние разделительные перегородки: неармированные: из хрупкого материала или жесткие: $w_2 + w_3 \leq L/500$ из нехрупкого материала: $w_2 + w_3 \leq L/450$ армированные: $w_2 + w_3 \leq L/350$ трансформируемые: $w_2 + w_3 \leq L/250$	$w_2 + w_3 \leq L/300$	$w_1 + w_2 - w_c \leq L/250$
	Покрывтие пола: из жестко закрепленной плитки: $w_2 + w_3 \leq L/500$ из плитки малых размеров (с размером стороны менее 100 мм): $w_2 + w_3 \leq L/350$ гибкое: $w_2 + w_3 \leq L/250$		
	Оштукатуренный потолок: $w_2 + w_3 \leq L/350$		
Рамы и конструкции ограждений	Остекление: при отсутствии гибких узлов сопряжений (отсутствуют зазоры между стеклом и рамой): $w_2 + w_3 \leq L/1000$ с гибкими узлами сопряжений: $w_2 + w_3 \leq L/350$	Опоры моно-рельсов и кра- новых путей: $w_{\max} \leq L/600$ $w_{\max} \leq 25 \text{ мм}$	$w_1 + w_2 - w_c \leq L/250$

Окончание таблицы А.8

Примечания

- 1 Обозначения, принятые в таблице:
 $w_c, w_1, w_2, w_3, w_{tot}, w_{max}$ — определяют в соответствии с рисунком А.1;
 L — длина пролета.
2 Для консольных элементов L следует принимать равной двойному вылету консоли.

А.4.3.4 Горизонтальные перемещения конструктивной системы здания следует определять в соответствии с рисунком А.2.



u — полное горизонтальное перемещение на высоте конструктивной системы здания H ;
 u_i — горизонтальные перемещения на высоте отдельного этажа H_i

Рисунок А.2 — Схема для определения горизонтальных перемещений конструктивной системы здания

А.4.3.5 Предельно допустимые значения горизонтальных перемещений принимают в соответствии с таблицей А.9.

Таблица А.9 — Предельно допустимые значения горизонтальных перемещений

Наименование показателя	Предельно допустимые значения горизонтальных перемещений в зависимости от критерия оценки		
	Ограничение повреждений несущих, примыкающих и смежных элементов, отделки	Комфорт пользователя	Внешний вид
	Характеристическое сочетание воздействий	Частое сочетание воздействий	Практически постоянное сочетание воздействий
Полное горизонтальное перемещение u	Одноэтажные здания: $u \leq H/400$	$u \leq H/250$	$u_i \leq H_i/250$
	Многоэтажные здания: $u \leq H/500$		

Окончание таблицы А.9

Наименование показателя	Предельно допустимые значения горизонтальных перемещений в зависимости от критерия оценки		
	Ограничение повреждений несущих, примыкающих и смежных элементов, отделки	Комфорт пользователя	Внешний вид
	Характеристическое сочетание воздействий	Частое сочетание воздействий	Практически постоянное сочетание воздействий
Горизонтальное перемещение на высоте отдельного этажа u_i	Перегородки из хрупкого материала: $u_i \leq H_i/500$ $u_i \leq 6 \text{ мм}$	$u_i \leq H_i/250$ Опоры монорельсов и крановых путей: $u \leq L/800$ $u \leq 20 \text{ мм}$ $u_i \leq H_i/400$	$u_i \leq H_i/250$
	Перегородки из нехрупкого материала: $u_i \leq H_i/200$		
	Промышленные здания: $u_i \leq H_i/150$		
Примечание — Обозначения u_i , H_i , L определяют согласно рисунку А.2.			

А.4.4 Колебания

А.4.4.1 Собственная частота колебаний конструкции должна быть более предельных значений согласно таблице А.10.

Таблица А.10 — Предельные значения собственной частоты колебаний конструкции

Конструкции зданий (элементов зданий)	Предельное значение собственной частоты колебаний конструкции, Гц
Конструкции:	
больниц, лабораторий	10
гимнастических и спортивных залов	8
танцевальных залов	7
концертных залов:	
без стационарных сидений	7
со стационарными сидениями	5
перекрытий, лестниц и балконов	5

А.4.4.2 При собственной частоте колебаний конструкции менее предельных значений, установленных в таблице А.10, следует выполнять динамический расчет конструкции с учетом затухания колебаний. Дополнительные требования — в соответствии с СН 2.01.02, СН 2.01.05 и СТБ ISO 10137.

А.4.4.3 В качестве источников колебаний, воздействующих на конструкции, необходимо рассматривать передвижения людей, одновременное перемещение большого количества людей, вибрации от механического оборудования, ограниченные вибрации грунтового основания от движения транспорта и ветровые воздействия. Необходимые источники колебаний для каждого конкретного строительного сооружения следует устанавливать в техническом задании на проектирование.

А.4.5 Конструкции, воспринимающие воздействия кранов

А.4.5.1 Воздействия кранов на опорные конструкции следует принимать в соответствии с требованиями ТКП EN 1991-3. При сочетании группы нагрузок от кранов с другими воздействиями нагрузки от кранов следует рассматривать как одно воздействие.

A.4.5.3 Коэффициенты сочетания воздействий ψ для нагрузок от кранов принимают согласно таблице A.11.

Воздействие	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Один кран или совместная (взаимозависимая) работа двух и более кранов	1,0	0,9	Отношение постоянного воздействия крана к его полному воздействию

A.4.5.7 При проверках предельных состояний несущей способности STR и GEO значения частных коэффициентов γ следует принимать согласно таблице A.12.

Воздействия	Обозначение	Значения частных коэффициентов γ	
		для постоянной (переходной) расчетной ситуации	для особой расчетной ситуации
Постоянные воздействия крана:			
неблагоприятное	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,00
благоприятное	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00
Переменные воздействия крана:			
неблагоприятное	$\gamma_{Q,sup}$	1,35	1,00
благоприятное:	$\gamma_{Q,inf}$		
с краном		1,00	1,00
без крана		0,00	0,00
Другие переменные воздействия:	γ_Q		
неблагоприятное		1,50	1,00
благоприятное		0,00	0,00
Особое воздействие	γ_A	—	1,00

A.4.5.10 При проверках предельных состояний эксплуатационной пригодности частные коэффициенты γ для воздействий на опорные конструкции крана следует принимать равными 1, если не установлено иное.

Требования для мостов

Б.1.1 Настоящее приложение устанавливает требования к сочетанию воздействий для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности и несущей способности (за исключением проверок на выносливость) с применением расчетных значений постоянных, переменных и особых воздействий, а также коэффициентов ψ для автомобильных, железнодорожных и пешеходных мостов. Настоящее приложение также распространяется на определение воздействий при производстве строительных работ и устанавливает требования к проверкам предельных состояний эксплуатационной пригодности независимо от материала конструкций.

Б.1.2 Для мостов, на которые не распространяется область применения ТКП ЕН 1991-2 (мостов под взлетно-посадочными полосами, разводных, крытых, наплавных мостов и т. д.), мостов с совмещенным движением автомобильного и железнодорожного транспорта, других строительных сооружений при воздействии на них транспортных нагрузок (например, подпорных стен) следует применять дополнительные требования соответствующих ТНПА.

Б.2.1 Общие требования

Б.2.1.2 Сочетания воздействий, на которые не распространяется область применения СН 2.01.02 – СН 2.01.06 (например, осадки грунта в зонах влияния горных выработок; особые ветровые воздействия и воздействия, вызванные действием воды, дрейфующих материалов, наводнений, селевых и снежных лавин, пожаров и давлением льда), необходимо устанавливать для конкретного строительного сооружения.

Примечание — Формулы (6.13)–(6.21) не применяют для расчетов на выносливость конструкций. Расчет на выносливость производят в соответствии с требованиями ТНПА.

Б.2.1.5 При проектировании мостов необходимо учитывать расчетные ситуации, возникающие в процессе производства строительных работ, включающие процесс производства строительных работ, а также этапы ввода моста в эксплуатацию.

Б.2.1.7 Для любого сочетания переменных воздействий, вызванных транспортом, с другими переменными воздействиями, установленными в СН 2.01.02, любую группу транспортных нагрузок в соответствии с ТКП EN 1991-2 следует рассматривать как одно переменное воздействие.

Примечание — Для конкретного строительного сооружения может возникнуть необходимость согласования требований по одновременному учету снеговых и ветровых нагрузок в сочетании с другими воздействиями при производстве строительных работ (например, с нагрузками от тяжелого оборудования или кранов) в отдельных переходных расчетных ситуациях (см. СН 2.01.04, СН 2.01.05, ТКП EN 1991-1-6).

Б.2.1.9 В случае необходимости воздействия при производстве строительных работ учитывают в сочетании с температурными воздействиями и воздействиями, вызванными действием воды. При этом для определения соответствующих сочетаний с воздействиями при производстве строительных работ следует учитывать различные параметры воздействия воды и температуры.

Б.2.1.10 Воздействия, вызванные предварительным напряжением, учитывают в сочетании с воздействиями в соответствии с требованиями Б.3.1, а также иных ТНПА.

Б.2.1.11 Воздействия неравномерных деформаций (осадок) учитывают в том случае, если их эффекты существенны по сравнению с эффектами прямых воздействий. Если конструкция очень чувствительна к воздействию неравномерных деформаций (осадок), для их определения в расчетах следует учитывать прогнозируемую погрешность расчетных моделей.

Б.2.1.12 Эффекты воздействий, вызванные неравномерными деформациями конструкций вследствие осадок грунта, следует относить к эффектам постоянного воздействия G_{set} и включать в сочетания для проверок предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкций. Постоянное воздействие G_{set} следует определять значением разности между осадкой отдельного фундамента или части фундамента и исходным уровнем d_{seti} (где i — номер отдельного фундамента или части фундамента).

Б.2.1.13 Значение d_{seti} следует устанавливать как наиболее точное из прогнозируемых значений согласно требованиям ТНПА с учетом процесса строительства.

Примечание — Определение осадки фундамента осуществляют в соответствии с требованиями ТНПА.

При отсутствии контрольных мер значение G_{set} определяют с учетом следующих требований:

— прогнозируемые значения с наилучшей оценкой d_{seti} принимают для всех отдельных фундаментов или частей фундамента;

— осадке $d_{seti} \pm \Delta d_{seti}$ подвергают два отдельных фундамента или две части отдельного фундамента, выбранные с целью получения неблагоприятного эффекта воздействия, при этом значение Δd_{seti} учитывает неопределенность расчетной модели для определения осадки.

Б.2.2 Сочетание воздействий для автомобильных мостов

Б.2.2.1 Для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности железобетонных мостов расчетное значение эффектов воздействий E_d в общем виде представляют выражением

$$E_d = E \{ G_{kj}; P; \psi_{1infq} Q_{k1}; \psi_{1i} Q_{ki} \}, \quad j \geq 1, i > 1, \quad (Б.1)$$

при этом для воздействий, приведенных в фигурных скобках, применяют следующее расчетное сочетание:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{1infq} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{1i} Q_{ki}. \quad (Б.2)$$

Б.2.2.2 Модель нагрузки от транспортных средств LM2 (или группу нагрузок gr1b) и сосредоточенную нагрузку на пешеходные тротуары Q_{fwk} (согласно ТКП EN 1991-2, 5.3.2.2) не учитывают в сочетании с другими переменными воздействиями, не относящимися к воздействиям от транспорта.

Б.2.2.3 Эффекты воздействий от снеговых и ветровых нагрузок не учитывают в сочетании с:

- усилиями торможения и ускорения, или центробежными силами, или с группой нагрузок gr2;
- эффектами воздействий от нагрузок на пешеходные тротуары и велосипедные дорожки или с группой нагрузок gr3;
- эффектами воздействий от нагрузок от скопления людей (модель нагрузки LM4) или с группой нагрузок gr4.

Примечание — Сочетания нагрузок от специальных транспортных средств (см. ТКП EN 1991-2) при нормальном транспортном потоке (модели нагрузок LM1 и LM2) с другими переменными нагрузками принимают для конкретного строительного сооружения.

Б.2.2.4 Эффекты воздействий от снеговых нагрузок не учитывают одновременно в сочетании с эффектами воздействий, соответствующими моделям нагрузок LM1 и LM2 или с соответствующими группами нагрузок gr1a и gr1b.

Б.2.2.5 Ветровые воздействия, превышающие меньшее из значений F_w^* или $\psi_0 F_{wk}$, не учитывают в сочетании с моделью нагрузки LM1 или с соответствующей группой нагрузок gr1.

Б.2.2.6 Температурные и ветровые воздействия не учитывают одновременно в одном сочетании.

Б.2.3 Сочетание воздействий для пешеходных мостов

Б.2.3.1 Сосредоточенную нагрузку Q_{fwk} не учитывают в сочетании с другими переменными воздействиями, не относящимися к транспортным нагрузкам.

Б.2.3.2 Температурные и ветровые воздействия не учитывают одновременно в одном сочетании.

Б.2.3.3 Снеговые нагрузки не учитывают в сочетании с группами нагрузок $gr1$ и $gr2$ при условии, что в задании на проектирование не установлены иные требования для пешеходных мостов.

Б.2.3.4 Для пешеходных мостов, которые оборудованы специальными средствами защиты пешеходного и велосипедного движения от неблагоприятных погодных-климатических условий, применяют специальное сочетание воздействий.

Примечание — Данное специальное сочетание воздействий принимают для конкретного строительного сооружения. Применяют сочетание воздействий согласно приложению А, заменяя функциональные нагрузки основной группой транспортных нагрузок и применяя для транспортных нагрузок коэффициенты ψ согласно Б.2.6.

Б.2.4 Сочетание воздействий для железнодорожных мостов

Б.2.4.1 В сочетании воздействий для постоянных или переходных расчетных ситуаций, возникающих после возведения железнодорожных мостов, снеговые нагрузки не учитывают.

Б.2.4.2 При одновременном действии транспортных нагрузок и ветровых воздействий в сочетании воздействий необходимо включать следующие нагрузки:

— вертикальные нагрузки от железнодорожного транспорта с учетом динамического коэффициента, горизонтальные нагрузки от железнодорожного транспорта и ветровые воздействия, при этом каждое из воздействий в соответствующих сочетаниях считают доминирующим поочередно;

— вертикальные нагрузки от железнодорожного транспорта без учета динамического коэффициента и горизонтальную поперечную силу от железнодорожного транспорта (действующую перпендикулярно пролету) с моделью нагрузки «ненагруженный поезд» согласно ТКП EN 1991-2 (6.3.4 и 6.5) и ветровыми воздействиями для проверки устойчивости моста.

Б.2.4.3 Ветровые воздействия не учитывают в сочетании с:

— группой нагрузок $gr13$ или $gr23$;

— группами нагрузок $gr16$, $gr17$, $gr26$, $gr27$ и моделью нагрузки SW/2 (см. ТКП EN 1991-2, 6.3.3).

Ветровые воздействия, превышающие меньшее из значений F_w^{**} или $\psi_0 F_{wk}$, не учитывают в сочетании с транспортными нагрузками.

Примечание — Для определения F_w^{**} принимают предельные значения максимальной скорости ветра, при которой возможно движение железнодорожного транспорта (см. также СН 2.01.05).

Б.2.4.4 Аэродинамические воздействия от железнодорожного транспорта (см. ТКП EN 1991-2, 6.6) и ветровые воздействия учитывают совместно в одном сочетании. Каждое из данных воздействий в соответствующих сочетаниях считают доминирующим.

Б.2.4.5 Если несущий элемент конструкции не подвержен прямому ветровому воздействию, то величину нормативной вертикальной распределенной нагрузки на полосе загрузки моста q_{ik} вследствие воздействия аэродинамических сил определяют как сумму скоростей поезда и ветра согласно ТКП EN 1991-2.

Б.2.4.6 В случае если группы нагрузок от железнодорожного транспорта в расчетах не используют, общее воздействие принимают как одно многокомпонентное переменное воздействие, для которого в зависимости от расчетной ситуации применяют максимальные неблагоприятные или минимальные благоприятные значения отдельных составляющих воздействий.

Б.2.5 Сочетание воздействий в особых (несейсмических) расчетных ситуациях

Б.2.5.1 Особые транспортные воздействия не учитывают в сочетании с другими особыми воздействиями, а также ветровыми или снеговыми нагрузками.

Б.2.5.2 В особой расчетной ситуации при столкновении транспортных средств под мостом (на дороге или рельсах) транспортные нагрузки, действующие на мост, учитывают как сопутствующие воздействия, применяя их часто встречающееся значение.

Примечания

1 Особые воздействия, вызванные ударами транспортных средств, — согласно ТКП EN 1991-1-7.

2 Дополнительные сочетания воздействий для других расчетных ситуаций (например, транспортные нагрузки с учетом лавин, наводнений или подмывов) для конкретного строительного сооружения согласовывают с заказчиком.

Примечания

- 2 В расчетные ситуации, связанные с особыми воздействиями вследствие столкновения транспортных средств на мосту, включают воздействия, вызванные сходом поезда с рельсов, согласно ТКП EN 1991-2.

Б.2.6 Значения коэффициентов сочетания воздействий ψ

— для автомобильных мостов — в соответствии с таблицей Б.1;

- для пешеходных мостов — в соответствии с таблицей Б.2;

Таблица Б.1 — Значения коэффициентов ψ для автомобильных мостов

Воздействия	Обозначение		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Транспортные нагрузки согласно ТКП EN 1991-2 (таблицы 4.4a, 4.4b)	gr1a (LM1 + нагрузки на пешеходные или велосипедные дорожки) ¹⁾	На две оси (TS)	0,75	0,75	0
		Равномерно распределенная нагрузка (UDL)	0,40	0,40	0
		Нагрузки от пешеходов или велосипедного движения ²⁾	0,40	0,40	0
	gr1b (на одну ось)		0	0,75	0
	gr2 (горизонтальные нагрузки)		0	0	0
	gr3 (нагрузка от пешеходов)		0	0,40	0
	gr4 (LM4 — нагрузка от скопления людей)		0	—	0
	gr5 (LM3 — нагрузка от движения специальных транспортных средств)		0	—	0
Ветровые воздействия	F_{wk} : для постоянных расчетных ситуаций для производства строительных работ		0,6 0,8	0,2 —	0 0
	F_w^*		1,0	—	—
	Температурные воздействия		T_k	0,6 ³⁾	0,6
Снеговые нагрузки	$Q_{sn,k}$ (при производстве строительных работ)		0,8	—	—
Нагрузки при производстве строительных работ	Q_c		1,0	—	1,0

¹⁾ Значения ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 для групп нагрузок gr1a и gr1b применяют с поправочными коэффициентами α_{Q1} , α_{qi} , α_{qr} и β_Q , равными 1.

Значения ψ для UDL соответствуют дорожным ситуациям с нормальным транспортным потоком, при котором возможно редкое скопление грузовых транспортных средств. В других случаях допускается применять другие значения ψ с коэффициентом α . Например, для UDL для модели нагрузки LM1 значение ψ_2 применяют согласно ТНПА при условии, что на мост действует постоянная нагрузка от непрерывного потока тяжелых транспортных средств.

Окончание таблицы Б.1

2) Для сочетания воздействий, вызванных нагрузками от пешеходов и велосипедного движения, согласно ТКП EN 1991-2 (таблица 4.4а) принимают меньшее значение с коэффициентами ψ_0 и ψ_1 .
3) Для предельных состояний несущей способности EQU, STR и GEO для температурных воздействий значение ψ_0 , как правило, принимают равным нулю.

Таблица Б.2 — Значения коэффициентов ψ для пешеходных мостов

Воздействия	Обозначение	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Транспортные нагрузки	gr1	0,4	0,4	0
	Q_{fwk}	0	0	0
	gr2	0	0	0
Ветровые воздействия	F_{wk}	0,3	0,2	0
Температурные воздействия	T_k	0,6 ¹⁾	0,6	0,5
Снеговые нагрузки	$Q_{sn,k}$ (при производстве строительных работ)	0,8	—	0
Нагрузки при производстве строительных работ	Q_c	1,0	—	1,0
1) Для предельных состояний несущей способности EQU, STR и GEO для температурных воздействий значение ψ_0 , как правило, принимают равным нулю.				

Б.2.6.2 При сочетании воздействий для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности железобетонных мостов необходимо принимать следующие значения ψ_{1infq} :

- 0,80 — для gr1a (LM1), gr1b (LM2), gr3 (нагрузок от пешеходов), gr4 (LM4, нагрузок от скопления людей) и T (температурных воздействий);
- 0,60 — для F_w при постоянных расчетных ситуациях;
- 1,00 — в других случаях.

Б.2.6.3 Характеристические значения для ветровых и снеговых нагрузок при производстве строительных работ принимают в соответствии с требованиями ТКП EN 1991-1-6. В отдельных случаях для конкретного строительного сооружения принимают характеристическое значение гидравлических воздействий F_{wa} .

Б.2.6.4 Для пешеходных мостов редкое сочетание переменных воздействий не применяют.

Б.2.6.5 Для специальных расчетных ситуаций (например, расчет строительного подъема моста согласно архитектурным требованиям или с целью удаления воды или обеспечения габарита в свету и т. д.) требования к необходимым сочетаниям воздействий устанавливают для конкретного строительного сооружения.

Б.2.6.6 Для железнодорожных мостов к одной группе транспортных нагрузок в соответствии с требованиями ТКП EN 1991-2 следует применять единый коэффициент ψ , равный значению ψ для доминирующего воздействия, входящего в группу нагрузок.

Б.2.6.7 Для железнодорожных мостов, для определения расчетных параметров которых применяют группы нагрузок, следует использовать группы нагрузок, установленные в ТКП EN 1991-2 (таблица 6.11).

Таблица Б.3 — Значения коэффициентов ψ для железнодорожных мостов

Воздействия			ψ_0	ψ_1	$\psi_2^{1)}$
Составляющие транспортной нагрузки ²⁾	LM71		0,80	3)	0
	SW/0		0,80	3)	0
	SW/2		0	1,00	0
	Нагрузка «ненагруженный поезд»		1,00	—	—
	HSLM		1,00	1,00	0
	Сила тяги и торможения, центробежная сила моста, силы взаимодействия от деформаций при действии вертикальных транспортных нагрузок		Для отдельных составляющих транспортной нагрузки, применяемых вместо групп нагрузок в качестве доминирующего воздействия, применяют коэффициенты ψ для вертикальных нагрузок		
	Горизонтальная поперечная нагрузка от удара транспортного средства		1,00	0,80	0
	Нагрузки на служебные проходы		0,80	0,50	0
	Нагрузка «стандартный поезд»		1,00	1,00	0
	Горизонтальное давление (боковое) грунта от подвижного состава на призме обрушения		0,80	3)	0
	Аэродинамическое воздействие		0,80	0,50	0
Основные воздействия транспорта (группы нагрузок)	gr11 (LM71 + SW/0)	Максимальная вертикальная нагрузка LM1 с максимальной продольной силой	0,80	0,80	0
	gr12 (LM71 + SW/0)	Максимальная вертикальная нагрузка LM2 с максимальной поперечной силой			
	gr13 (сила тяги и торможения)	Максимальная продольная сила			
	gr14 (центробежная сила)	Максимальная поперечная сила			
	gr15 (нагрузка «ненагруженный поезд»)	Боковая устойчивость при нагрузке «ненагруженный поезд»			
	gr16 (SW/2)	SW/2 с максимальной продольной силой			
	gr17 (SW/2)	SW/2 с максимальной поперечной силой			

Окончание таблицы Б.3

Воздействия			ψ_0	ψ_1	$\psi_2^{1)}$
Основные воздействия транспорта (группы нагрузок)	gr21 (LM71 + SW/0)	Максимальная вертикальная нагрузка LM1 с максимальной продольной силой	0,80	0,70	0
	gr22 (LM71 + SW/0)	Максимальная вертикальная нагрузка LM2 с максимальной поперечной силой			
	gr23 (сила тяги и торможения)	Максимальная продольная сила			
	gr24 (центробежная сила моста)	Максимальная поперечная сила			
	gr26 (SW/2)	SW/2 с максимальной продольной силой			
	gr27 (SW/2)	SW/2 с максимальной поперечной силой			
		gr31 (LM71 +SW/0)	Особое воздействие	0,80	0,60
Другие эксплуатационные воздействия	Аэродинамическое воздействие		0,80	0,50	0
	Общие нагрузки от ремонтных работ на служебных проходах и тротуарах		0,80	0,50	0
Ветровые воздействия ⁴⁾	F_{wk}		0,75	0,50	0
	F_w^{**}		1,00	0	0
Температурные воздействия ⁵⁾	T_k		0,60	0,60	0,50
Снеговые нагрузки	$Q_{sn,k}$ (при производстве строительных работ)		0,8	—	0
Нагрузки при производстве строительных работ	Q_c		1,0	—	1,0

¹⁾ В случае учета деформаций при постоянных и переходных расчетных ситуациях для нагрузок от железнодорожного транспорта применяют значение ψ_2 , равное 1.

²⁾ Минимальная вертикальная нагрузка, действующая одновременно с отдельными составляющими транспортной нагрузки (например, центробежной силой, силой тяги или торможения), составляет 0,5LM71 и т. д.

³⁾ 0,8 — при нагрузке только на один путь;
0,7 — при одновременной нагрузке на два пути;
0,6 — то же на три рельса и более.

⁴⁾ При одновременном воздействии ветра и транспортных нагрузок применяют значение ветровых нагрузок $\psi_0 F_{wk}$ не более F_w^{**} согласно требованиям СН 2.01.05, а также Б.2.4 настоящих строительных норм.

⁵⁾ Согласно СН 2.01.06.

Б.2.6.8 В соответствующих случаях для железнодорожных мостов следует учитывать сочетание воздействий, связанных с транспортными нагрузками (в том числе отдельных составляющих транспортной нагрузки). Воздействия, связанные с транспортными нагрузками, следует учитывать, например, при проектировании несущих элементов конструкций, для расчета максимальной горизонтальной силы и минимальной вертикальной нагрузки от транспортных средств, максимальных опрокидывающих нагрузок на опоры при стесненной деформации (в частности, для многопролетных мостов) и т. д. (см. таблицу Б.3).

Б.3 Проверки предельных состояний несущей способности (за исключением проверок на усталостную прочность)

Б.3.1 Сочетание воздействий в постоянных и переходных расчетных ситуациях

Б.3.1.1 Расчетные значения воздействий для проверок предельных состояний несущей способности в постоянных и переходных расчетных ситуациях (выражения (6.13)–(6.17)) должны соответствовать указанным в таблицах Б.4–Б.6.

Таблица Б.4 — Расчетные значения воздействий при проверках предельных состояний EQU

Постоянная и переходная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Предварительное напряжение	Доминирующее переменное ¹⁾ воздействие	Сопутствующие переменные ¹⁾ воздействия	
	неблагоприятное	благоприятное			основное	другие
Формула (6.15)	$\gamma_{G,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$	—	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$
<p><i>Примечание</i> — Принимают следующие значения γ:</p> <p>— для постоянных расчетных ситуаций:</p> <p>$\gamma_{G,sup}$ — 1,05;</p> <p>$\gamma_{G,inf}$ — 0,95²⁾;</p> <p>γ_Q:</p> <p>— при нагрузках от автомобильного транспорта и пешеходов: 1,35 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;</p> <p>— при нагрузках от железнодорожного транспорта: 1,45 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;</p> <p>— при других переменных воздействиях: 1,50 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;</p> <p>γ_P — в соответствии с ТНПА;</p> <p>— для производства строительных работ:</p> <p>$\gamma_{G,sup}$ — 1,05;</p> <p>$\gamma_{G,inf}$ — 0,95²⁾;</p> <p>γ_Q:</p> <p>— при нагрузках при производстве строительных работ: 1,35 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;</p> <p>— при других переменных воздействиях: 1,50 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях.</p>						
<p>¹⁾ Переменные воздействия указаны в таблицах Б.1–Б.3.</p> <p>²⁾ Параметры усилий от противовесов допускается учитывать посредством:</p> <p>— применения частного коэффициента $\gamma_{G,inf}$, равного 0,8, если собственный вес конструкции определен неточно (например, для контейнеров);</p> <p>— учета изменения проектного положения, устанавливаемого в соответствии с размерами моста, если масса противовеса определена точно. При надвижке стальных мостов изменение положения противовеса принимают равным ± 1 м.</p>						

Таблица Б.5 — Расчетные значения воздействий при проверках предельных состояний STR или GEO

Постоянная и переходная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Предварительное напряжение	Доминирующее переменное ¹⁾ воздействие	Сопутствующие переменные ¹⁾ воздействия	
	неблагоприятное	благоприятное			основное	другие
Формула (6.16)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	—	$\gamma_{Q1} \psi_{0,1} Q_{k1}$	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$
Формула (6.17)	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$	—	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$

Примечания

1 Принимают следующие значения γ и ξ :

$\gamma_{G,sup}$ — 1,35²⁾;
 $\gamma_{G,inf}$ — 1,00;
 γ_Q — при нагрузках от автомобильного транспорта и пешеходов: 1,35 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;
— при нагрузках от железнодорожного транспорта для групп нагрузок gr11–gr31 (за исключением gr16, gr17, gr26³⁾ и gr27³⁾), моделей нагрузок LM71, SW/0 и HSLM и «реальный поезд», рассматриваемых как доминирующее воздействие, вызванное движением транспорта: 1,45 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;
— при нагрузках от железнодорожного транспорта для групп нагрузок gr16, gr17 и модели нагрузок SW/2: 1,20 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;
— при других воздействиях транспорта и переменных воздействиях — 1,50⁴⁾;

ξ — 0,85; $\xi \gamma_{G,sup} = 0,85 \cdot 1,35 \cong 1,15$;

$\gamma_{G,set}$ — 1,20 при линейно-упругом расчете; 1,35 — при нелинейно-упругом расчете для расчетных ситуаций, в которых воздействия, вызванные неравномерной осадкой, могут быть неблагоприятными. Благоприятные воздействия, вызванные неравномерной осадкой, не учитывают;

γ_P — согласно ТНПА.

2 Характеристические значения всех постоянных воздействий одного происхождения умножают на: $\gamma_{G,sup}$ — при неблагоприятных воздействиях; $\gamma_{G,inf}$ — при благоприятных воздействиях. Например, все нагрузки от собственного веса конструкции возможно рассматривать как воздействия одного происхождения; а также в случае применения материалов разных видов (см. Б.3.1).

3 При определенных проверках значения γ_G и γ_Q определяют как произведение γ_g и γ_q на коэффициент γ_{sd} . Значение γ_{sd} принимают от 1,0 до 1,15.

4 Для воздействий, вызванных действием воды, не установленных в ТНПА (например, текущие воды), сочетание воздействий устанавливают для конкретного строительного сооружения.

¹⁾ Переменные воздействия указаны в таблицах Б.1–Б.3.

²⁾ Данное значение применяют для собственного веса конструктивных и неконструктивных элементов, балласта, грунта, грунтовых вод и свободной воды, переменных воздействий и т. д.

³⁾ При нагрузках от железнодорожного транспорта для групп нагрузок gr26 и gr27 значение γ_Q применяют равным: 1,20 — для отдельных составляющих транспортной нагрузки SW/2; 1,45 — для отдельных составляющих транспортной нагрузки LM71, SW/0, HSLM и т. д.

⁴⁾ Данное значение применяют для переменного горизонтального давления грунта; воздействия грунтовых вод; свободной воды и балласта; добавочной транспортной нагрузки на грунт; аэродинамического воздействия, вызванного движением транспорта, ветровых и температурных воздействий и т. д.

Постоянная и переходная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Предварительное напряжение	Доминирующее переменное* воздействие	Сопутствующие переменные* воздействия	
	неблагоприятное	благоприятное			основное	другие
Формула (6.15)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$	—	$\gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$

* Переменные воздействия указаны в таблицах Б.1–Б.3.

Примечание — Принимают следующие значения γ :

$\gamma_{G,sup}$ — 1,00;

$\gamma_{G,inf}$ — 1,00;

γ_Q :

- при нагрузках от автомобильного транспорта и пешеходов: 1,15 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;
- при нагрузках от железнодорожного транспорта: 1,25 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;
- при переменных составляющих горизонтального давления грунта, грунтовых вод, свободной воды и балласта, при дополнительной нагрузке от транспорта, увеличивающей горизонтальное давление грунта: 1,30 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;
- при других переменных воздействиях: 1,30 — при неблагоприятных воздействиях; 0 — при благоприятных воздействиях;

$\gamma_{G,set}$ — 1,00 при линейно-упругом или нелинейно-упругом расчете для расчетных ситуаций, в которых воздействия, вызванные неравномерной осадкой, могут быть неблагоприятными. Благоприятные воздействия, вызванные неравномерной осадкой, не учитывают;

γ_P — в соответствии с ТНПА.

Расчетные значения воздействий при производстве строительных работ принимают в соответствии с требованиями EN 1991-1-6.

Б.3.2.1 Значения частных коэффициентов для воздействий при проверках предельных состояний второй группы в особых и сейсмических расчетных ситуациях (выражения (6.18)–(6.21)) принимают в соответствии с таблицей Б.7, значения коэффициентов сочетаний ψ — в соответствии с таблицами Б.1–Б.3.

Таблица Б.7 — Расчетные значения воздействий в особых и сейсмических расчетных ситуациях

1) Переменные воздействия указаны в таблицах Б.1–Б.3.
2) Для особой расчетной ситуации значение сопутствующего переменного воздействия принимают как α , для сейсмической расчетной ситуации — как практически постоянное.
3) Для конкретного строительного сооружения могут быть установлены специальные сейсмические расчетные ситуации. Для железнодорожных мостов принимают нагрузку только на один рельсовый путь, при этом нагрузку SW/2 допускается не учитывать.

Примечание — Для всех статических воздействий принимают значения γ , равные 1.

Б.3.2.2 В случаях когда в сочетании с особыми воздействиями одновременно учитывают одно или несколько переменных воздействий, также следует устанавливать их характеристические значения для конкретного строительного сооружения.

Примечание — Например, для мостов из сборных элементов воздействия при производстве строительных работ учитывают в сочетании с особыми воздействиями, вызывающими обрушения сборных элементов.

Б.3.2.3 С целью исключения потери устойчивости конструкции или части конструкции при производстве строительных работ принимают следующее сочетание воздействий:

$$E_d = \sum_{i \geq 1} G_{kj, sup} + \sum_{i \geq 1} G_{kj, inf} + P + A_d + \psi_2 Q_{c,k}, \quad (B.3)$$

где $Q_{c,k}$ — характеристическое значение нагрузки при производстве строительных работ согласно ТКП EN 1991-1-6 (например, характеристическое значение сочетания основных нагрузок Q_{ca} , Q_{cb} , Q_{cc} , Q_{cd} , Q_{ce} и Q_{cf}).

Б.4 Предельные состояния эксплуатационной пригодности и другие специальные предельные состояния

Б.4.1 Общие требования

Б.4.1.1 Для предельных состояний эксплуатационной пригодности следует применять расчетные значения воздействий согласно таблице Б.8, если в других ТНПА не установлено иное.

Примечание — Для предельных состояний эксплуатационной пригодности коэффициенты γ для транспортных нагрузок и других воздействий принимают равными 1.

Таблица Б.8 — Расчетные значения воздействий при проверках критериев оценки эксплуатационной пригодности

Сочетание воздействий	Постоянные воздействия G_d		Предварительное напряжение	Переменные воздействия Q_d	
	неблагоприятное	благоприятное		основное	другие
Характеристическое	$G_{kj, sup}$	$G_{kj, inf}$	P	Q_{k1}	$\Psi_{0i} Q_{ki}$
Частое				$\Psi_{1,1} Q_{k1}$	$\Psi_{2i} Q_{ki}$
Практически постоянное				$\Psi_{2,1} Q_{k1}$	$\Psi_{2i} Q_{ki}$

Б.4.1.2 Критерии оценки эксплуатационной пригодности следует устанавливать в соответствии с 5.4, а также требованиями других ТНПА. Деформации следует рассчитывать в соответствии с требованиями ТНПА, применяя сочетания воздействий, приведенные в формулах (6.22)–(6.24) (см. таблицу Б.8), с учетом требований, предъявляемых к эксплуатационной пригодности, и различий между обратимыми и необратимыми предельными состояниями.

Примечание — Требования к критериям оценки эксплуатационной пригодности устанавливают для конкретного строительного сооружения.

Б.4.2 Критерии оценки эксплуатационной пригодности для проверки деформаций и колебаний автомобильных мостов

Б.4.2.1 Для автомобильных мостов установлены критерии, касающиеся пролетного строения моста на опорах, повреждения опор, деформаций и колебаний. Для проверок деформаций следует применять частое сочетание воздействий.

Б.4.2.2 Предельные состояния эксплуатационной пригодности при производстве строительных работ устанавливают в соответствии с требованиями ТНПА.

Б.4.3 Проверка колебаний пешеходных мостов при нагрузках от пешеходов

Б.4.3.1 В зависимости от площади моста или его части для постоянной расчетной ситуации следует принимать нагрузку от свободного движения группы пешеходов, состоящей из 8–15 чел.

Б.4.3.2 Другие постоянные, переходные или особые расчетные ситуации следует устанавливать в зависимости от площади моста или применяемых элементов конструкции с учетом потока пешеходов (более 15 чел.), а также скопления людей при проведении праздничных или спортивных мероприятий.

Данные расчетные ситуации следует принимать для конкретного строительного сооружения (для мостов, расположенных во внутригородской зоне, вблизи вокзалов, школ, общественных зданий и других общественных мест).

Б.4.3.3 В качестве критериев комфорта для пешеходов при проверках предельных состояний эксплуатационной пригодности следует определять максимально допустимые ускорения в наиболее неблагоприятной части пролетного строения моста. Критерии комфорта устанавливают для конкретного строительного сооружения.

Для мостов следует применять следующие значения максимально допустимого ускорения, м/с^2 :

- 0,7 — при вертикальных колебаниях моста;
- 0,2 — при горизонтальных колебаниях и нормальной эксплуатации моста;
- 0,4 — при большом скоплении людей на мосту.

Колебания мостов при ветровых воздействиях принимают в соответствии с СН 2.01.05.

Б.4.3.4 Проверку критериев комфорта следует производить в случаях, когда основная собственная частота колебаний пролетного строения моста, Гц, менее:

- 5,0 — при вертикальных колебаниях;
- 2,5 — при горизонтальных (поперечных) колебаниях и колебаниях кручения.

При невозможности выполнения основных критериев комфорта на стадии разработки проектной документации следует предусматривать устройство амортизаторов (демпферов) с возможностью их установки после изготовления конструкции моста и проведения контрольных испытаний.

Б.4.4 Проверка деформаций и колебаний железнодорожных мостов

Б.4.4.1 Общие требования

При проектировании железнодорожных мостов следует учитывать предельные деформации и колебания, которые могут быть выражены в виде предельных значений или критериев, приведенных ниже.

Проверки деформаций и колебаний железнодорожных мостов с целью обеспечения безопасности эксплуатации производят по следующим критериям безопасности:

— вертикальное ускорение пролетного строения моста: для предотвращения неустойчивости щебеночного балласта и недопустимого снижения контактных усилий между колесом и рельсом согласно Б.4.4.2;

— скручивание (поворот) пролетного строения моста относительно оси пути между началом и серединой моста для снижения риска схода поезда с рельсов согласно Б.4.4.3.

Критерии, соответствующие требованиям, предъявляемым к безопасности эксплуатации и комфорту пассажиров, — согласно Б.4.4.3;

— вертикальное перемещение пролетного строения моста для отдельных пролетов: для обеспечения требуемых вертикальных радиусов рельсового пути и общей жесткости конструкции согласно Б.4.4.4;

— беспрепятственный подъем на опорах: для предотвращения преждевременного разрушения опор;

— вертикальное перемещение в конце пролетного строения моста, выступающего за опоры: для предотвращения дестабилизации рельсовых путей и ограничения усилий подъема на креплениях рельсов, а также дополнительных напряжений в рельсах согласно Б.4.4.4 настоящих строительных норм и ТКП EN 1991-2 (6.5.4.5.2);

— поворот концов пролетного строения моста вокруг поперечной оси в конце моста или общий поворот между двумя примыкающими друг к другу концами пролетного строения моста: для ограничения дополнительных напряжений в рельсах согласно ТКП EN 1991-2 (6.5.4), усилий подъема на креплениях рельсов и угловых отклонений на стяжках рельсов и элементах стрелочного перевода согласно Б.4.4.4;

— горизонтальное поперечное перемещение пролетного строения моста: для обеспечения требуемого горизонтального радиуса закругления рельсов согласно Б.4.4.5 (таблица Б.10);

— горизонтальный поворот концов пролетного строения моста вокруг вертикальной оси: для обеспечения горизонтальной геометрии рельсов и комфорта пассажиров согласно Б.4.4.5 (таблица Б.11);

— ограничение первой собственной частоты поперечных колебаний пролетного строения моста: для исключения резонанса между боковыми перемещениями железнодорожного транспорта в зоне его подвесок и перемещением моста согласно Б.4.4.5;

— продольные перемещения верхней кромки концов пролетного строения моста вследствие деформаций в продольном направлении и поворота конца пролетного строения моста: для ограничения дополнительных напряжений в рельсах и сведения до минимума нарушений щебеночного балласта и положения рельсов согласно Б.4.4.6.

Примечание — Другие критерии безопасности эксплуатации частично учитывают при ограничении собственной частоты колебаний мостов согласно ТКП EN 1991-2 (6.4.4), определении динамических коэффициентов в расчетной модели нагрузки мостов согласно ТКП EN 1991-2 (6.4.6.4).

Проверку деформаций мостов необходимо производить для обеспечения комфорта пассажиров в соответствии с требованиями Б.4.4.7–Б.4.4.9.

Предельные значения, установленные в Б.4.4.2–Б.4.4.9, указаны с учетом деформаций, возникающих в результате ремонта путей (например, осадки оснований, ползучести материалов конструкций и соединений элементов и т. д.).

Б.4.4.2 Вертикальное ускорение пролетного строения моста

Для подтверждения безопасности движения следует производить расчет пикового значения ускорения колебаний пролетного строения моста вследствие воздействий железнодорожного транспорта.

Необходимость проведения расчета на динамическую нагрузку устанавливают в соответствии с требованиями ТКП EN 1991-2 (6.4.4). Расчет на динамическую нагрузку производят в соответствии с требованиями ТКП EN 1991-2 (6.4.6).

Примечание — Для расчета применяют только характеристические значения воздействий железнодорожного транспорта согласно ТКП EN 1991-2 (6.4.6.1).

γ_{bt} — при расположении верхнего строения рельсового пути на щебеночном балласте;
 γ_{df} — для непосредственно закрепленного рельсового пути и элементов конструкций при высокоскоростном движении.

Примечание — Применяют следующие значения: γ_{bt} — 3,5 м/с²; γ_{df} — 5 м/с².

Скручивание пролетного строения моста следует рассчитывать, применяя характеристические значения модели нагрузки LM71 (при необходимости, также SW/0 или SW/2), динамические коэффициенты Φ и α , а также значения модели нагрузки HSLM, с учетом центробежной силы согласно ТКП EN 1991-2 (раздел 6). Контроль скручивания осуществляют на подходе к мосту, на протяжении моста и в конце моста согласно Б.4.4.1.

Размеры в метрах

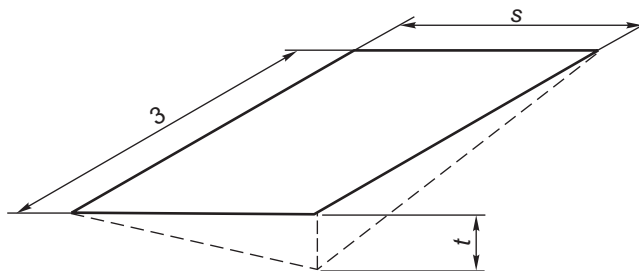


Рисунок Б.1 — Определение перемещения при скручивании пролетного строения моста

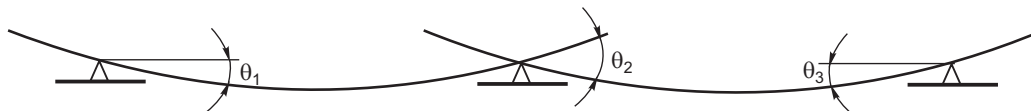
Таблица Б.9 — Максимальные значения перемещения при скручивании пролетного строения моста

Скорость v , км/ч	Максимальное значение перемещения t , мм, измеренное на длине 3 м рельсового пути, не более
До 120 включ.	t_1
Св. 120 “ 200 “	t_2
“ 200	t_3
Примечание — Принимают следующие значения t : t_1 — 4,5; t_2 — 3,0; t_3 — 1,5.	

Общее скручивание рельсовых путей, соответствующее скручиванию без учета воздействия железнодорожного транспорта (например, на переходной кривой) и скручиванию рельсовых путей вследствие деформаций моста от движения железнодорожного транспорта не должно превышать t_T , равного 7,5 мм, измеренного на длине 3 м рельсового пути.

Для всех конструктивных систем, на которые действуют вертикальные нагрузки согласно ТКП EN 1991-2 (6.3.2) (для моделей нагрузки SW/0 и SW/2 в соответствии с ТКП EN 1991-2 (6.3.3)), общая максимальная вертикальная деформация пролетного строения моста вследствие воздействий железнодорожного транспорта, измеренная вдоль любого рельсового пути, не должна превышать $L/600$ (где L — длина пролета моста, м).

Ограничения поворота концов пролетных строений моста со щебеночным балластом следует принимать в соответствии с ТКП EN 1991-2 (6.5.4). Углы поворота пролетных строений моста определяют согласно рисунку Б.2.



Вблизи стяжек рельсов, стрелочных переводов, скрещиваний и т. д. следует устанавливать дополнительные предельные значения углов поворота для конкретного строительного сооружения.

Ограничения вертикальных перемещений на концах пролетного строения моста, выступающих за рельсовые опоры, следует принимать в соответствии с ТКП EN 1991-2 (6.5.4.5.2).

Поперечные деформации и колебания пролетного строения моста необходимо определять, применяя характеристические значения моделей нагрузок LM71 и SW/0 (при необходимости), соответствующие динамические коэффициенты Φ и α (или для реального поезда — соответствующий динамический коэффициент, в случае необходимости), с учетом ветровых воздействий, сил бокового давления колес и центробежной силы в соответствии с ТКП EN 1991-2 (раздел 6), а также усилий от влияний разницы температур в поперечном направлении моста.

Поперечную деформацию δ_h верхней поверхности пролетного строения моста следует ограничивать для обеспечения следующих требований:

- горизонтальный угол поворота концов пролетного строения моста вокруг вертикальной оси не должен превышать значений, установленных в таблице Б.10;
- изменение радиуса закругления рельса моста не должно превышать значений, установленных в таблице Б.10;
- в конце пролетного строения моста максимальная разница между поперечными деформациями пролетного строения моста и примыкающей колеи или деформациями между смежными пролетными строениями моста не должна превышать значения, установленные для конкретного строительного сооружения.

Собственная частота первой формы поперечных колебаний пролетного строения моста должна быть не менее 1,2 Гц.

Скорость v , км/ч	Максимальное значение горизонтального угла поворота, рад	Наибольшее изменение радиуса закругления рельсов, м	
		для однопролетного моста	для многопролетного моста
До 120 включ.	α_1	r_1	r_4
Св. 120 “ 200 “	α_2	r_2	r_5
“ 200	α_3	r_3	r_6

Окончание таблицы Б.10

Примечания

1 Изменение радиуса закругления рельсов определяют по формуле:

$$r = \frac{L^2}{8\delta_n}.$$

2 Поперечные деформации включают деформации пролетного строения моста и рельсовых опор (с учетом деформаций оснований и фундаментов).

3 Принимают следующие значения α и r : α_1 — 0,0035; α_2 — 0,0020; α_3 — 0,0015; r_1 — 1700; r_2 — 6000; r_3 — 14 000; r_4 — 3500; r_5 — 9500; r_6 — 17 500.

Б.4.4.6 Продольные перемещения пролетного строения моста

Ограничения продольных перемещений концов пролетного строения моста принимают в соответствии с требованиями ТКП EN 1991-2 (6.5.4.5.2), а также Б.4.4.4 настоящих строительных норм.

Б.4.4.7 Требования к комфорту пассажиров

Комфорт пассажиров зависит от вертикального ускорения b_v , возникающего в вагоне на подходе к мосту при проезде через мост и при съезде с моста.

Уровни комфорта и соответствующие предельные значения вертикального ускорения следует устанавливать для конкретного строительного сооружения. Уровни комфорта установлены в таблице Б.11.

Таблица Б.11 — Уровни комфорта в зависимости от вертикального ускорения

Уровень комфорта	Значение вертикального ускорения b_v , м/с ²
Очень хороший	1,0
Хороший	1,3
Удовлетворительный	2,0

Б.4.4.8 Требования к ограничению деформаций для подтверждения комфорта пассажиров

С целью ограничения вертикальных ускорений для железнодорожного транспорта до значений, установленных в таблице Б.11, следует определять максимально допустимое значение вертикальной деформации δ вдоль оси рельса, которая зависит от длины пролета моста L , скорости поезда v , количества пролетов моста, статической расчетной модели моста (однопролетные разрезные балки, неразрезные балки).

Вертикальное ускорение b_v также возможно определять с помощью динамического расчета с учетом взаимодействия железнодорожного транспорта и моста согласно Б.4.4.9.

Значение δ следует определять в соответствии с ТКП EN 1991-2 (раздел 6) с применением модели нагрузки LM71, динамических коэффициентов Φ и α (где α равно 1).

В мостах с двумя и более рельсовыми путями следует учитывать нагрузку только на один рельсовый путь.

Для отдельных конструкций, например, неразрезных балок со значительным различием длины пролета или для пролетов мостов со значительным различием жесткости, следует выполнять динамический расчет.

Предельные значения отношения L/δ , указанные на рисунке Б.3, применяют в случае, если b_v равно 1 м/с², что соответствует очень хорошему уровню комфорта. Для других уровней комфорта и соответствующих максимально допустимых вертикальных ускорений b'_v значения отношения L/δ , указанные на рисунке Б.3, следует делить на b'_v .

Текст открыт: 03.04.2024
3@34
При копировании или воспроизведении на бумажном носителе является копией официального электронного издания.
Период доступа: 04.01.2024 - 29.12.2024. Пользователь:

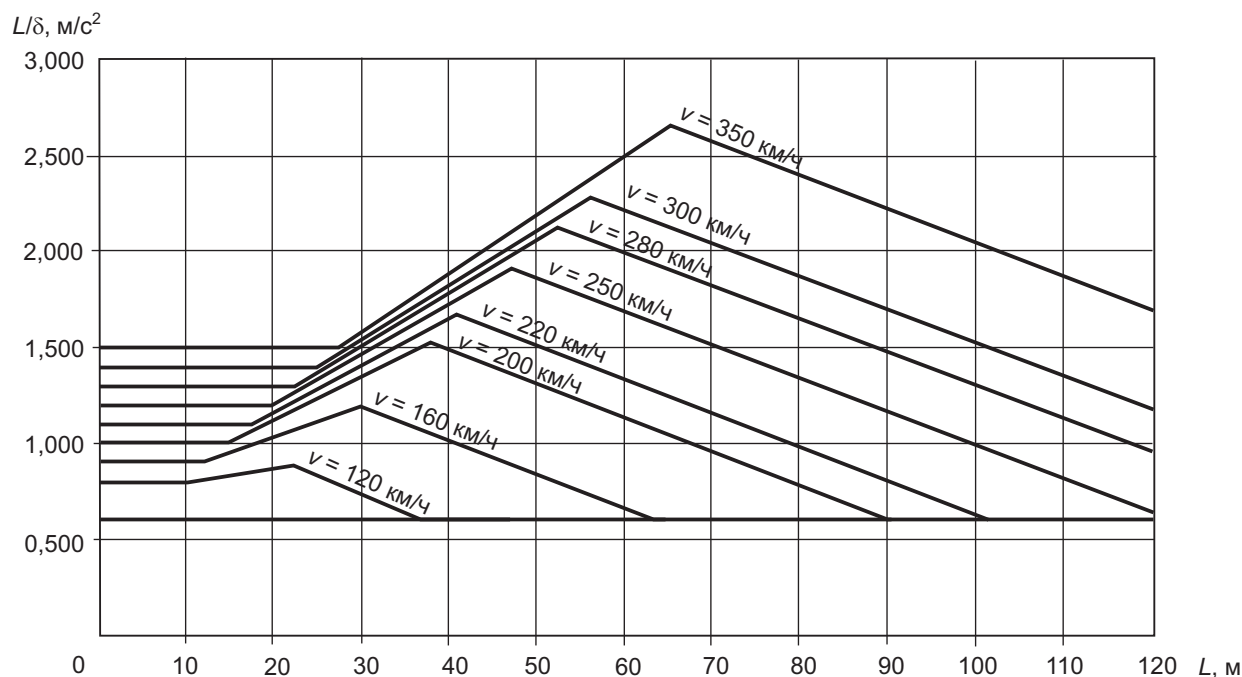


Рисунок Б.3 — Максимально допустимая вертикальная деформация δ для железнодорожных мостов с тремя или более последовательно расположенными однопролетными балками при b_v , равном 1 м/с^2

Предельные значения отношения L/δ , указанные на рисунке Б.3, следует применять для мостов с тремя или более последовательно расположенными однопролетными балками. Для мостов с одной однопролетной балкой, или двумя последовательно расположенными однопролетными балками, или двухпролетной неразрезной балкой значения отношения L/δ , указанные на рисунке Б.3, следует умножать на 0,7. Для мостов с неразрезными балками, имеющими три и более пролетов, значения отношения L/δ , указанные на рисунке Б.3, следует умножать на 0,9.

Значения отношения L/δ , указанные на рисунке Б.3, следует применять для пролетов мостов не более 120 м. Для пролетов более 120 м следует производить специальный расчет.

Для временных мостов требования к комфорту пассажиров следует устанавливать для конкретного строительного сооружения.

Б.4.4.9 Требования к динамическим расчетам для проверки комфорта пассажиров с учетом взаимодействия железнодорожного транспорта и моста

При динамическом расчете с учетом взаимодействия железнодорожного транспорта и моста необходимо учитывать следующее:

- требуемый диапазон скоростей до установленной максимальной скорости;
- характеристическое значение нагрузки для реального поезда, установленное для конкретного строительного сооружения, в соответствии с ТКП ЕН 1991-2 (6.4.6.1.1);
- динамическое взаимодействие масс между реальным поездом и конструкцией моста;
- показатели амортизации и жесткости подвесок железнодорожного транспорта;
- необходимое количество железнодорожного транспорта для создания максимального эффекта от нагрузки на самый длинный пролет моста;
- необходимое количество пролетов в многопролетном сооружении для развития любых резонансных эффектов в подвесках железнодорожного транспорта.

Примечание — Требования к шероховатости рельса при динамическом расчете с учетом взаимодействия железнодорожного транспорта и моста устанавливают для конкретного строительного сооружения.

Определение частных коэффициентов и анализ надежности

В.1.1 В настоящем приложении установлены метод определения частных коэффициентов и анализ надежности (см. раздел 6). Настоящее приложение следует рассматривать совместно с 4.2 и приложением Г.

В.1.3 Значения частных коэффициентов и коэффициентов ψ необходимо определять одним из следующих методов:

- на основании экспертной оценки;
- на основании существующей практики проектирования;
- с помощью статистического анализа, исходя из установленного квантиля расчетного значения базисной переменной;
- с помощью вероятностного метода, исходя из требуемого уровня надежности, с учетом неопределенности и изменчивости базисных переменных;
- на основании экономической оптимизации рисков.

B.1.4 Частные коэффициенты для различных видов воздействий и материалов при проверках предельных состояний должны быть откалиброваны с условием, чтобы уровни надежности наиболее типовых строительных конструкций были приближены к целевому значению индекса надежности (требуемому уровню надежности).

В.2 Определение частных коэффициентов с помощью вероятностного метода, исходя из требуемого уровня надежности элемента конструкции

В.2.1.1 Определение значений частных коэффициентов с помощью вероятностного метода основано на построении вероятностной функции состояния $g(X)$ и расчете условной вероятности превышения предельного состояния.

В.2.1.2 С помощью вероятностных моделей базисных переменных X посредством методов теории надежности следует определять вероятность отказа конструкции за установленный период времени. Значение вероятности отказа следует сравнить с требуемым уровнем надежности. При неудовлетворительном результате следует устанавливать новые значения частных коэффициентов и производить расчет до достижения требуемого уровня надежности.

B.2.1.3 В качестве исходных данных для проверок предельных состояний следует применять вероятностные модели базисных переменных, в качестве контролируемых параметров — вероятность отказа (целевое значение индекса надежности). Необходимо использовать вероятностные модели базисных переменных и вероятности отказа, полученные на основе сопоставимых предположений.

В.2.2.1 В качестве критерия надежности следует определять вероятность безотказной работы конструкции или элемента конструкции по формуле

$$P_s = (1 - P_f), \quad (\text{B.1})$$

где P_f — вероятность отказа для рассматриваемого вида отказа за соответствующий период времени.

Если рассчитанное значение P_f превышает требуемое значение P_o , конструкцию следует рассматривать как небезопасную.

B.2.2.2 Вероятность отказа связана с индексом надежности посредством формулы

$$P_f = \Phi(-\beta), \quad (\text{B.2})$$

Зависимость между P_f и β установлена в таблице В.1.

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Класс надежности	Минимальное целевое значение индекса надежности β	
	для периода отнесения 1 год	для периода отнесения 50 лет
Предельные состояния несущей способности		
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3
Необратимые предельные состояния эксплуатационной пригодности		
RC3	—	—
RC2	2,9	1,5
RC1	—	—
Проверки на усталостную прочность		
RC3	—	—
RC2	—	1,5–3,8 ¹⁾
RC1	—	—

— нормальное распределение принято для собственного веса конструкции, переменных воздействий, за исключением расчетов на усталостную прочность.

B.2.4 Вероятностные модели базисных переменных

B.2.4.2 С помощью статистического анализа доступных экспериментальных и теоретических данных физического процесса устанавливают статический закон распределения.

В.2.4.4 Вероятностные модели базисных переменных следует разрабатывать и актуализировать с учетом последних статистических данных для рассматриваемой территории. В качестве исходных данных для периода отнесения 50 лет применяют данные, установленные в таблице В.3, где вероятностные модели и статистические параметры указаны для годовых максимумов переменных воздействий.

Базисные переменные	Статистическое распределение	μ/X_k	V_X
Сопротивление обобщенного стального элемента	Логарифмически нормальное	1,1–1,2	0,05–0,08
Погрешность расчетной модели сопротивления стального элемента		1,0–1,15	0,05–0,10
Сопротивление обобщенного железобетонного элемента		1,15–1,25	0,10–0,15
Погрешность расчетной модели сопротивления железобетонного элемента		1,0–1,15	0,05–0,10
Собственный вес конструкции	Нормальное	1,0	0,03–0,06
Постоянная нагрузка		1,0–1,05	0,07–0,10
Функциональная нагрузка	Гумбеля	0,45–0,6	0,35–0,40
Погрешность расчетной модели функциональной нагрузки	Нормальное	1,0	0,10
Снеговая нагрузка	Гумбеля	0,9–1,1	0,19–0,23
Погрешность расчетной модели снеговой нагрузки	Нормальное	1,0	0,15
Ветровая нагрузка	Гумбеля	1,0–1,1	0,17–0,20
Погрешность расчетной модели ветровой нагрузки	Нормальное	0,8	0,30
Погрешность расчетной модели эффектов воздействий	Логарифмически нормальное	1,0	0,05–0,10

Примечание — Обозначения, приведенные в таблице: μ — среднее значение базисной переменной; V_X — коэффициент вариации базисной переменной; X_k — характеристическое или номинальное значение базисной переменной.

В.3.1 Определение расчетного значения как установленного квантиля

$$P(E > E_d) = \Phi(+\alpha_E \beta). \quad (\text{B.3})$$
$$P(R \leq R_d) = \Phi(-\alpha_R \beta). \quad (\text{B.4})$$

β — целевое значение индекса надежности; принимают согласно таблице В.2;

α_E, α_R — коэффициенты чувствительности для расчетов соответственно воздействий (эффектов воздействий) и сопротивления в соответствии с методом теории надежности первого порядка. Значение α принимают отрицательным для неблагоприятных воздействий (эффектов воздействий), положительным — для сопротивления.

Принимают $\alpha_E = -0,7$ и $\alpha_R = 0,8$, исходя из условия

$$0,16 < \sigma_F/\sigma_R < 7,6, \quad (\text{B.5})$$

где σ_E и σ_R — соответственно стандартные отклонения эффектов воздействий E и сопротивления R , применяемые в условиях (В.3) и (В.4).

Таким образом, расчетные значения определяют из следующих условий:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,7\beta), \quad (\text{B.6})$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-0,8\beta). \quad (\text{B.7})$$

В.3.1.2 Если условие (В.5) не выполняется, следует применять следующие значения α :

$\pm 1,0$ — для базисной переменной с наибольшим стандартным отклонением;

$\pm 0,4$ — то же с наименьшим стандартным отклонением.

В.3.1.3 Если в расчетную модель включают несколько базисных переменных, условие (В.6) следует применять только для доминирующих переменных воздействий. Для сопутствующих переменных воздействий расчетные значения определяют из следующего условия:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,4 \cdot 0,7\beta) = \Phi(-0,28\beta). \quad (\text{B.8})$$

Примечание — При β , равном 3,8, значения, определяемые из условия (B.7), соответствуют примерно 90 %-ному квантилю.

В.3.1.4 Формулы для определения расчетных значений базисных переменных для различных функций статического распределения установлены в таблице В.4.

Таблица В.4 — Формулы для определения расчетных значений базисных переменных для различных функций статического распределения

Статистическое распределение	Формулы для определения расчетных значений
Нормальное	$\mu - \alpha\beta\sigma$
Логарифмически нормальное	$\mu \exp(-\alpha\beta V)$ при $V = \sigma/\mu < 0,2$
Гумбеля	$u - \frac{1}{\alpha} \ln \{-\ln \Phi(-\alpha\beta)\},$ <p>где $u = \mu - \frac{0,577}{\alpha}$; $\alpha = \frac{\pi}{\sigma \cdot \sqrt{6}}$</p>
<p><i>Примечание</i> — Обозначения, принятые в таблице:</p> <p>μ — среднее значение базисной переменной; σ — стандартное отклонение базисной переменной; V_X — коэффициент вариации базисной переменной.</p> <p>Для переменных воздействий данные величины должны относиться к такому же периоду отнесения, что и β.</p>	

В.3.2 Определение коэффициента ψ_0

B.3.2.1 Формулы для определения коэффициента ψ_0 (см. раздел 6) при сочетании двух переменных воздействий установлены в таблице В.5.

В.3.2.2 Формулы согласно таблице В.5 основываются на следующих допущениях и условиях:

- оба сочетаемых воздействия независимы друг от друга;
- единичный период отнесения (T_1 или T_2) для каждого воздействия является постоянным (где T_1 — наибольший из единичных периодов отнесения);
- значения воздействий в течение единичных периодов отнесения являются постоянными;
- интенсивности воздействий в течение единичных периодов отнесения являются некоррелированными;
- оба воздействия относятся к эргодическим процессам.

В.3.2.3 Функции статического распределения, указанные в таблице В.5, соответствуют максимальным значениям для периода отнесения T и учитывают вероятность того, что значение отдельного воздействия может быть равным нулю в течение определенных периодов времени.

Таблица В.5 — Формулы для определения коэффициента ψ_0 при сочетании двух переменных воздействий

Статическое распределение	Формулы для определения коэффициента ψ_0
Общее	$\psi_0 = \frac{F_s^{-1}\{\Phi(0,4\beta')^{N_1}\}}{F_s^{-1}\{\Phi(0,7\beta)^{N_1}\}}, \text{ где } \beta' = -\Phi^{-1}\{\Phi(-0,7\beta)/N_1\}$
Аппроксимация для наибольших значений N_1	$\psi_0 = \frac{F_s^{-1}\{\exp[-N_1\Phi(-0,4\beta')]\}}{F_s^{-1}\{\Phi(0,7\beta)\}}, \text{ где } \beta' = -\Phi^{-1}\{\Phi(-0,7\beta)/N_1\}$
Нормальное (аппроксимация)	$\psi_0 = \frac{1 + (0,28\beta - 0,7\ln N_1) \cdot V}{1 + 0,7\beta V}$
Гумбеля (аппроксимация)	$\psi_0 = \frac{1 - 0,78V \cdot [0,577 + \ln(-\ln \Phi(0,28\beta)) + \ln N_1]}{1 - 0,78V \cdot [0,577 + \ln(-\ln \Phi(0,7\beta))]}$
<p>Примечания</p> <p>1 Обозначения, принятые в таблице:</p> <p>$F_s(.)$ — функция распределения вероятностей для экстремальных значений сопутствующего воздействия в течение периода отнесения T;</p> <p>$\Phi(.)$ — функция стандартного нормального распределения;</p> <p>T — период отнесения;</p> <p>T_1 — наибольший из единичных периодов отнесения для сочетаемых воздействий;</p> <p>N_1 — значение отношения T/T_1, равное ближайшему целому числу;</p> <p>β — целевое значение индекса надежности;</p> <p>V — коэффициент вариации сопутствующего воздействия для рассматриваемого периода отнесения.</p> <p>2 В числителе указаны сопутствующие воздействия, в знаменателе — доминирующие воздействия.</p>	

Приложение Г

Требования к проверкам предельных состояний на основе результатов испытаний

Г.1 Общие требования

Г.1.1 Настоящее приложение устанавливает требования к проверкам в соответствии с 5.2, 5.4 и 5.7.

Г.1.2 Настоящее приложение не отменяет правила приемки, установленные техническими требованиями к изделиям в других стандартах на изделия и ТНПА на производство работ.

Г.2 Виды испытаний

Г.2.1 Для проверок на основе результатов испытаний установлены следующие виды испытаний:

а) испытания для определения сопротивления или показателей эксплуатационной пригодности конструкций или элементов конструкций при заданных условиях нагружения, например, для пожарных, циклических или ударных нагрузок;

б) испытания для определения отдельных характеристик свойств материалов с применением установленного метода испытаний (например, испытания грунтов на строительной площадке или в лаборатории или испытания новых материалов);

в) испытания для уменьшения неопределенностей параметров, используемых в расчетных моделях воздействий или эффектов воздействий (например, испытания в аэродинамической трубе или испытания по определению волновых нагрузок или нагрузок от потоков);

г) испытания для уменьшения неопределенностей параметров, используемых в расчетных моделях сопротивления (например, испытания отдельных элементов конструкции или элементов конструкции в сборе — конструкции покрытий или перекрытий);

д) контрольные испытания для проверки идентичности или качества поставляемых изделий или соответствия показателей качества изделий требованиям ТНПА (например, испытания канатов для мостов или кубиков бетона);

е) испытания, проводимые в процессе производства работ, для подтверждения показателей качества изделий требованиям ТНПА после монтажа (например, испытания опор или проверка усилий в канатах);

ж) контрольные испытания для проверки поведения конструкции после ее возведения или частей конструкции после их изготовления (например, для определения упругой деформации, частот собственных колебаний или демпфирования).

Г.2.2 При необходимости определения расчетных значений по результатам испытаний согласно Г.2.1, перечисления а) – г), следует применять статистические методы согласно Г.4–Г.7.

Г.2.3 В случае отсутствия перед началом проверки доступных достоверных данных по результатам испытаний в качестве приемочных испытаний следует рассматривать испытания согласно Г.2.1, перечисления д) – ж). При этом расчетные значения должны быть консервативными оценками.

Г.3 План испытаний

Г.3.1 План испытаний необходимо разрабатывать с учетом мнения организации, проводящей испытания. План испытаний должен содержать следующие данные:

- цели и область применения испытаний;
- прогноз результатов испытаний;
- требования к испытываемым образцам и их отбору;
- условия нагружения;
- перечень испытательного оборудования и порядок проведения испытаний;
- порядок измерений;
- результаты испытаний и отчеты по проведению испытаний.

Г.3.2 Цель и область применения испытаний

Следует определить цель испытаний, варьируемые в процессе проведения испытаний параметры, а также область применения испытаний, ограничения и требуемые преобразования (например, масштабный фактор).

Следует учитывать все условия, оказывающие влияние на прогноз результатов испытаний, например: геометрические параметры и их изменчивость; геометрические несовершенства; характеристики свойств материалов и изделий; параметры, зависящие от методов изготовления конструкций и возведения строительного сооружения; условия окружающей среды (при необходимости).

Г.3.4 Требования к испытываемым образцам и их отбору

- размеры и допуски;
- материалы и способ изготовления образцов-прототипов;
- количество испытываемых образцов;
- методы отбора образцов;
- расположение связей и опор.

Г.3.5 Условия нагружения

- места нагружения нагрузки;
- изменение нагружения во времени;
- расположение связей и опор;
- температуру и относительную влажность воздуха;
- контроль нагружения (нагрузки или вынужденные деформации).

Г.3.6 Перечень испытательного оборудования и порядок проведения испытаний

Г.3.7 Порядок измерений

Г.3.8 Анализ результатов испытаний с составлением отчетов

Г.4 Определение расчетных значений

— метод Б — определение расчетного значения с учетом общих требований обеспечения надежности (Г.6.3, Г.7.3).

- диапазон результатов испытаний;
- статистическую неопределенность количества результатов испытаний;
- предварительные статистические данные.

Г.4.4 Если реакция конструкции (элемента конструкции) или ее сопротивление зависит от факторов, которые недостаточно учтены при испытаниях (например, временные или длительные процессы; масштабный фактор; различные условия эксплуатации; условия нагружения; граничные условия), то эти факторы необходимо учитывать в расчетных моделях.

- соответствующее предельное состояние;
- требуемый уровень надежности;
- соблюдение условия (B.6) для воздействий;
- проектный срок эксплуатации (при необходимости);
- предварительные статистические данные.

Г.5.1 При оценке результатов испытаний изначально следует сравнить поведение и виды отказов образцов с прогнозируемыми результатами. При выявлении значительных отклонений их необходимо обосновать, что может потребовать проведения дополнительных испытаний, возможно, в других условиях или с учетом модификации теоретической модели.

Методы, изложенные в настоящем приложении, следует применять при выполнении следующих условий:

- статистические данные (в том числе предварительные данные) получены из установленных генеральных совокупностей и являются достаточно однородными;
- имеется необходимое количество результатов измерений (испытаний).

— если проводят одно или несколько испытаний, статистический анализ не допускается. Только при наличии подробных предварительных статистических данных, связанных с гипотезами об относительной степени значимости этих данных, и результатов испытаний имеется возможность сделать статистические выводы (методы Байеса);

- если проводят серию испытаний, статистический анализ допускается (в разделе Г.6 приведены наиболее общие случаи). При таком анализе также необходимо использовать предварительные статистические данные об определяемой характеристике свойства материала, но менее подробные, чем указано выше для одного или нескольких испытаний;
- если проводят серию испытаний для определения расчетной модели (в виде функции) и одного или более связанных с ней параметров, статистический анализ допускается.

Г.5.3 Результаты испытаний действительны только для условий и характеристик нагружения, применяемых при испытаниях. При использовании результатов испытаний для других расчетных параметров и нагрузок необходимо использовать дополнительные, теоретически обоснованные данные или данные, полученные в результате предыдущих испытаний.

Г.6.1 Общие требования

Примечание — Использование метода Байеса с неопределенными предварительными распределениями приводит примерно к таким же результатам, что и применение методов математической статистики при доверительном уровне 75 %.

Г.6.1.2 Отдельная характеристика может представлять сопротивление изделия или свойство материала, влияющее на сопротивление изделия.

Для определения сопротивления изделия расчет характеристического или расчетного значения или значений частных коэффициентов осуществляют согласно Г.6.2 и Г.6.3. Для определения свойства материала, влияющего на сопротивление изделия, следует учитывать влияния других свойств, неопределенности расчетной модели, другие факторы (масштабный, объемный и т. д.).

Г.6.1.3 При использовании таблиц и формул согласно Г.6.2 и Г.6.3 следует учитывать следующее:

- все переменные подчиняются нормальному или логарифмически нормальному статическому распределению;
- отсутствуют предварительные статистические данные о среднем значении;
- для « V_X неизвестно» предварительные статистические данные о коэффициенте вариации отсутствуют;
- для « V_X известно» предварительные статистические данные о коэффициенте вариации имеются.

Г.6.2 Определение расчетного значения на основании характеристического значения

Г.6.2.1 Расчетное значение X_d характеристики свойства материала и изделия определяют по формуле

$$X_d = \eta_d \cdot \frac{X_{k(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \cdot m_X \cdot \{1 - k_n V_X\}, \tag{Г.1}$$

- где η_d — расчетное значение коэффициента преобразования;
- $X_{k(n)}$ — характеристическое значение, включающее статистическую неопределенность для выборки n , но без учета коэффициента преобразования η ;
- m_X — среднее значение базисной переменной X ;
- k_n — коэффициент, соответствующий квантилю для характеристических значений; принимают в соответствии с таблицей Г.1;
- V_X — коэффициент вариации для базисной переменной X .

Примечание — Определение соответствующего значения коэффициента преобразования η_d зависит от видов испытаний и материалов.

Таблица Г.1 — Значения k_n для характеристических значений (5 %-ный квантиль)

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_X известно	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
V_X неизвестно	—	—	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Примечания

1 Значения коэффициента, приведенные в настоящей таблице, применяют для нормального распределения для формулы (Г.1).

2 Для логарифмически нормального распределения формула (Г.1) имеет вид:

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \cdot \exp[m_y - k_n s_y],$$

где

$$m_y = \frac{1}{n} \cdot \sum \ln(x_i),$$

здесь n — количество результатов измерений (испытаний).

Если « V_X известно» на основании предварительных статистических данных,

$$s_y = \sqrt{\ln(V_X^2 + 1)} \approx V_X.$$

Если « V_X неизвестно» на основании предварительных статистических данных,

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum (\ln x_i - m_y)^2}.$$

Г.6.2.2 При применении таблицы Г.1 следует рассматривать один из случаев:

— значения, приведенные в строке « V_X известно», принимают в случае наличия предварительных статистических данных о коэффициенте вариации или его верхнем оценочном значении.

Примечание — Предварительные статистические данные получают на основе оценки результатов предыдущих испытаний, проведенных в аналогичных условиях;

— значения, приведенные в строке « V_X неизвестно», принимают в случае отсутствия предварительных статистических данных о коэффициенте вариации и его определении на основании репрезентативной выборки с применением следующих формул:

$$s_X^2 = \frac{1}{n-1} \cdot (x_i - m_X)^2, \quad (\text{Г.2})$$

$$V_X = \frac{s_X}{m_X}. \quad (\text{Г.3})$$

Г.6.2.3 Частный коэффициент γ_m следует устанавливать в зависимости от области применения, на которую распространяются результаты испытаний.

Г.6.3 Определение расчетного значения при проверках предельных состояний несущей способности

Расчетное значение X_d характеристики свойства материала и изделия определяют по формуле

$$X_d = \eta_d m_X \cdot \{1 - k_{d,n} V_X\}, \quad (\text{Г.4})$$

где $k_{d,n}$ — коэффициент, соответствующий квантилю для расчетных значений; определяют согласно таблице Г.2.

Таблица Г.2 — Значения $k_{d,n}$ для расчетных значений

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_X известно	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,04
V_X неизвестно	—	—	—	11,40	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,04

Примечания

1 Расчетное значение соответствует произведению $\alpha_R \beta = 0,8 \cdot 3,8 = 3,04$, и базисная переменная X имеет нормальное распределение. При этом вероятность более низких значений составляет приблизительно 0,1 %.

2 Для логарифмически нормального распределения формула (Г.4) имеет вид:

$$X_d = \eta_d \exp[m_Y - k_{d,n} s_Y].$$

Г.7 Статистический анализ расчетного значения

Г.7.1 Общие требования

Г.7.1.1 В настоящем разделе установлены стандартные процедуры оценки, применяемые для определения расчетных моделей сопротивления и расчетных значений, полученных на основе результатов испытаний согласно Г.2.1, перечисление г). При этом следует применять предварительные статистические данные.

Г.7.1.2 Точность расчетной модели сопротивления должна быть проверена с помощью статистического анализа всех имеющихся результатов испытаний. При необходимости расчетную модель сопротивления следует выверить для получения достаточной статистической зависимости между прогнозируемыми значениями и значениями, полученными на основе результатов испытаний.

Г.7.1.3 Отклонения от предварительных результатов, полученных на основе расчетной модели сопротивления, следует определять посредством испытаний. Данные отклонения необходимо сочетать с отклонениями других базисных переменных в расчетной модели сопротивления для получения общего значения отклонения. В качестве других базисных переменных определяют:

- отклонения прочностных и жесткостных характеристик материалов;
- отклонения геометрических параметров.

Г.7.1.4 Характеристическое значение сопротивления следует определять с учетом отклонений всех базисных переменных.

Г.7.1.5 Определение расчетных значений на основе результатов испытаний методами А и Б согласно Г.4.1 следует осуществлять с помощью стандартных процедур оценки в соответствии с Г.7.2 и Г.7.3, с учетом упрощений согласно Г.7.4.

Г.7.2 Стандартная процедура оценки для метода А

Г.7.2.1 Стандартную процедуру оценки для метода А следует осуществлять при выполнении следующих допущений:

- расчетная модель сопротивления является функцией совокупности базисных переменных \underline{X} ;
- наличие необходимого количества результатов испытаний;
- измерение необходимых геометрических параметров и характеристик свойств материалов и изделий;
- отсутствие статистической зависимости между базисными переменными в расчетной модели сопротивления;
- распределение базисных переменных соответствует нормальному или логарифмически нормальному статистическому распределению.

Стандартную процедуру оценки для метода А следует осуществлять в семь этапов.

Г.7.2.2 Этап 1. Разработка расчетной модели сопротивления

Следует определить прогнозируемое значение сопротивления r_t по формуле

$$r_t = g_{\pi}(\underline{X}), \quad (\text{Г.5})$$

где $g_{\pi}(\underline{X})$ — функция сопротивления (функция совокупности базисных переменных \underline{X}), используемая в качестве расчетной модели сопротивления.

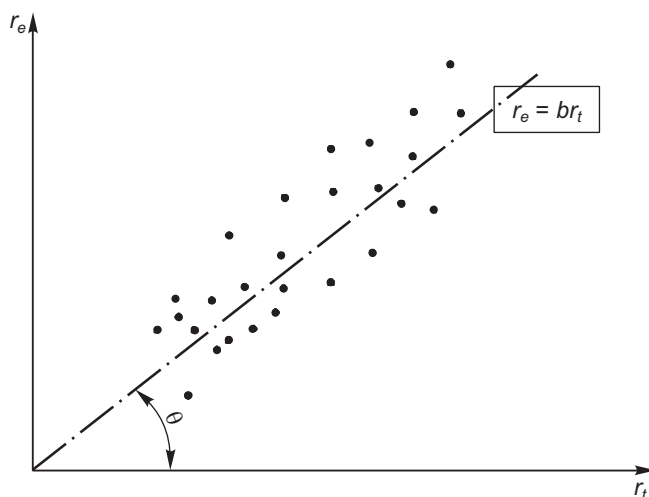
Функция сопротивления должна содержать все базисные переменные (X_1-X_j), оказывающие влияние на сопротивление и проверяемое предельное состояние.

Следует измерить все базисные переменные каждого испытываемого образца i .

Г.7.2.3 Этап 2. Сравнение экспериментальных и прогнозируемых значений

Для получения прогнозируемых значений сопротивления r_{ti} следует использовать фактические (измеренные) значения базисных переменных в функции сопротивления.

Зависимость значений r_{ti} и r_{ei} следует определять по диаграмме согласно рисунку Г.1.



θ — угол систематического отклонения; r_e — экспериментальное значение сопротивления;

b — поправочный коэффициент;

r_t — прогнозируемое значение сопротивления, определенное по функции сопротивления $g_{\pi}(\underline{X})$

Рисунок Г.1 — Диаграмма $r_e - r_t$

При наличии систематического отклонения следует выполнять оценку полученного результата для установления причин систематического отклонения.

Г.7.2.4 Этап 3. Определение поправочного коэффициента b

Для вероятностной модели сопротивления следует определять значение сопротивления r по формуле

$$r = br_i \delta, \quad (\Gamma.6)$$

где δ — вектор ошибки;

b — поправочный коэффициент; определяют по формуле

$$b = \frac{\sum r_e r_t}{\sum r_t^2}. \quad (\Gamma.7)$$

Среднее значение сопротивления r_m определяют из выражения

$$r_m = br_t(X_m) \cdot \delta = bq_{rt}(X_m) \cdot \delta, \quad (\Gamma.8)$$

где X_m — совокупность средних значений базисных переменных.

Г.7.2.5 Этап 4. Определение коэффициента вариации V_δ для вектора ошибок δ

Значение вектора ошибки δ_i для каждого испытанного i -го образца определяют по формуле

$$\delta_l = \frac{r_{ei}}{br_i}, \quad (\Gamma.9)$$

где r_{ei} — экспериментальное значение сопротивления i -го образца;

r_{ti} — прогнозируемое значение сопротивления, определенное с использованием измеренных значений базисных переменных X для каждого испытанного i -го образца.

С помощью значений δ_i следует вычислить оценочное значение коэффициента вариации путем определения логарифма вектора ошибки Δ_i по формуле

$$\Delta_i = \ln(\delta_i). \quad (\Gamma.10)$$

Оценочное значение $\bar{\Delta}$ для $E(\Delta)$ определяют по формуле

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_i. \quad (\Gamma.11)$$

Оценочное значение s_{λ}^2 для σ_{λ}^2 (где σ — стандартное отклонение) определяют по формуле

$$s_{\Delta}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2. \quad (\Gamma.12)$$

Коэффициент вариации V_{δ} для вектора ошибок δ определяют по формуле

$$V_{\hat{s}} = \sqrt{\exp(s_{\wedge}^2) - 1}. \quad (\Gamma.13)$$

Г.7.2.6 Этап 5. Проверка соответствия результатов испытаний принятым допущениям

Следует провести оценку результатов испытаний на соответствие принятым для функции сопротивления допущениям.

Разброс значений r_{ei} и r_{ti} следует уменьшать одним из следующих способов:

— с помощью корректировки расчетной модели путем учета параметров, которые ранее в расчетной модели не использовались;

— с помощью изменения значений b и V_δ в результате деления генеральной совокупности результатов испытаний на соответствующие подгруппы, для которых влияние таких дополнительных параметров считают постоянным.

Результаты испытаний делят на соответствующие подгруппы с целью уточнения функции сопротивления посредством оценки по каждой подгруппе, с использованием стандартной процедуры оценки.

Значения коэффициентов k_n , соответствующие квантилю (см. этап 7), для подгрупп определяют по результатам общей серии испытаний.

Г.7.2.7 Этап 6. Определение коэффициента вариации для базисных переменных V_{X_i}

Коэффициент вариации для базисных переменных V_{x_i} следует определять по результатам испытаний или на основании предварительных статистических данных.

Г.7.2.8 Этап 7. Определение характеристического значения сопротивления r_k

Для функции сопротивления, представляющей собой функцию произведения базисных переменных j в виде: $r = br_i \delta = b\{X_1 \cdot X_2 \dots X_j\} \delta$:

— среднее значение сопротивления $E(r)$ определяют из выражения

$$E(r) = b \cdot \{E(X_1) \cdot E(X_2) \dots E(X_j)\} = bg_{rt}(\underline{X}_m); \quad (\text{Г.14})$$

— коэффициент вариации V_r определяют по формуле

$$V_r^2 = (V_\delta^2 + 1) \cdot \left[\prod_{i=1}^j (V_{X_i}^2 + 1) \right] - 1. \quad (\text{Г.15})$$

При небольших значениях V_δ^2 и $V_{X_i}^2$ применяют следующую формулу:

$$V_r^2 = V_\delta^2 + V_{rt}^2, \quad (\text{Г.16})$$

где V_{rt} — коэффициент вариации; определяют по формуле

$$V_{rt}^2 = \sum_{i=1}^j V_{X_i}^2. \quad (\text{Г.17})$$

Для функции сопротивления, представляющей собой более сложную функцию в виде: $r = br_i \delta = bg_{rt} \cdot \{X_1, \dots, X_j\} \cdot \delta$:

— среднее значение сопротивления $E(r)$ определяют из выражения

$$E(r) = bg_{rt}(E(X_1), \dots, E(X_j)) = bg_{rt}(\underline{X}_m); \quad (\text{Г.18})$$

— коэффициент вариации V_{rt} определяют по формуле

$$V_{rt}^2 = \frac{\text{VAR}[g_{rt}(\underline{X})]}{g_{rt}^2(\underline{X}_m)} \cong \frac{1}{g_{rt}^2(\underline{X}_m)} \cdot \sum_{i=1}^j \left(\frac{\partial g_{rt}}{\partial X_i} \cdot \sigma_i \right)^2. \quad (\text{Г.19})$$

При ограниченном количестве испытаний ($n < 100$) следует учитывать поправку на статистические неопределенности в распределении Δ . Данное распределение считают распределением Стюдента (t -распределение) с параметрами $\bar{\Delta}$, V_Δ и n .

При ограниченном количестве испытаний характеристическое значение сопротивления r_k определяют по формуле

$$r_k = bg_{rt}(\underline{X}_m) \cdot \exp(-k_\infty \alpha_{rt} Q_{rt} - k_n \alpha_\delta Q_\delta - 0,5Q^2), \quad (\text{Г.20})$$

где

$$Q_{rt} = \sigma_{\ln(rt)} = \sqrt{\ln(V_{rt}^2 + 1)}, \quad (\text{Г.21})$$

$$Q_\delta = \sigma_{\ln(\delta)} = \sqrt{\ln(V_\delta^2 + 1)}, \quad (\text{Г.22})$$

$$Q = \sigma_{\ln(r)} = \sqrt{\ln(V_r^2 + 1)}, \quad (\text{Г.23})$$

$$\alpha_{rt} = \frac{Q_{rt}}{Q}, \quad (\text{Г.24})$$

$$\alpha_\delta = \frac{Q_\delta}{Q}. \quad (\text{Г.25})$$

Обозначения в формулах (Г.20)–(Г.22):

k_∞ — коэффициент k_n при $n \rightarrow \infty$; принимают равным 1,64;

k_n — коэффициент, соответствующий квантилю для характеристического значения; принимают согласно таблице Г.1 для « V_X неизвестно»;

α_{rt} — весовой коэффициент для Q_{rt} ;

α_δ — весовой коэффициент для Q_δ .

Примечание — Значение V_δ определяют для принятой выборки испытаний.

При большом количестве испытаний ($n \geq 100$) характеристическое значение сопротивления r_k определяют по формуле

$$r_k = bg_{rt}(\underline{X}_m) \cdot \exp(-k_\infty Q - 0,5Q^2). \quad (\text{Г.26})$$

Г.7.3 Стандартная процедура оценки для метода Б

Г.7.3.1 Стандартную процедуру оценки для метода Б осуществляют согласно Г.7.2, за исключением этапа 7, где коэффициент k_n заменяют на коэффициент $k_{d,n}$, соответствующий квантилю для расчетных значений.

В общем случае коэффициент $k_{d,n}$ применяют для определения расчетного значения сопротивления r_d (см. приложение В) и принимают равным 3,04 (см. таблицу Г.2).

Г.7.3.2 При ограниченном количестве испытаний ($n < 100$) расчетное значение сопротивления r_d определяют по формуле

$$r_d = bg_{rt}(X_m) \cdot \exp(-k_{d,\infty}\alpha_{rt}Q_{rt} - k_{d,n}\alpha_{\delta}Q_{\delta} - 0,5Q^2), \quad (\text{Г.27})$$

где $k_{d,n}$ — коэффициент; принимают согласно таблице Г.2 для « V_X неизвестно»;

$k_{d,\infty}$ — коэффициент $k_{d,n}$ при $n \rightarrow \infty$; принимают равным 3,04.

Примечание — Значение V_{δ} определяют для принятой выборки испытаний.

Г.7.3.3 При большом количестве испытаний ($n \geq 100$) расчетное значение сопротивления r_d определяют по формуле

$$r_d = bg_{rt}(X_m) \cdot \exp(-k_{d,\infty}Q - 0,5Q^2). \quad (\text{Г.28})$$

Г.7.4 Учет дополнительных предварительных статистических данных

Г.7.4.1 При наличии данных о достоверности прогнозируемого значения сопротивления r_t и верхней границы (консервативной оценки) коэффициента вариации V_r при проведении дальнейших испытаний следует применять упрощенную процедуру.

Г.7.4.2 При проведении только одного испытания характеристическое значение сопротивления r_k следует определять по результату данного испытания с использованием экспериментального значения сопротивления r_e по формуле

$$r_k = \eta_k r_e, \quad (\text{Г.29})$$

где η_k — понижающий коэффициент, применяемый для учета предварительных статистических данных; определяют по формуле

$$\eta_k = 0,9 \exp(-2,31V_r - 0,5V_r^2). \quad (\text{Г.30})$$

Г.7.4.3 При проведении двух или трех испытаний характеристическое значение сопротивления r_k следует определять по результатам данных испытаний с использованием среднего экспериментального значения сопротивления r_{em} по формуле

$$r_k = \eta_k r_{em}, \quad (\text{Г.31})$$

где η_k — понижающий коэффициент; определяют по формуле

$$\eta_k = \exp(-2,0V_r - 0,5V_r^2). \quad (\text{Г.32})$$

При этом экстремальное (максимальное или минимальное) значение экспериментально определенного сопротивления (т. е. значение r_e с максимальным отклонением от среднего значения r_{em}) r_{ee} должно удовлетворять условию

$$|r_{ee} - r_{em}| \leq 0,10r_{em}. \quad (\text{Г.33})$$

Г.7.4.4 Значения понижающего коэффициента η_k для коэффициентов вариации V_r установлены в таблице Г.3.

Таблица Г.3 — Понижающий коэффициент η_k

Коэффициент вариации V_r	Значения понижающего коэффициента η_k	
	для одного испытания	для двух (трех) испытаний
0,05	0,80	0,90
0,11	0,70	0,80
0,17	0,60	0,70

Библиография

- [1] Кодекс Республики Беларусь о культуре от 20 июня 2016 г. № 413-З

Официальное издание
МИНИСТЕРСТВО АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

СН 2.01.01-2022
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ответственный за выпуск	Е. П. Желунович
Редактор	Н. П. Бузуй
Технический редактор	О. В. Мазаник
Художественный редактор	Н. П. Бузуй
Корректор	Н. В. Леончик

Сдано в набор 19.01.2022.	Подписано в печать 23.09.2022.	Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная.	Гарнитура Ариал.	Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,44.	Уч.-изд. л. 6,02.	Тираж экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
республиканское унитарное предприятие «СТРОЙТЕХНОРМ».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/536 от 08.11.2018.
Ул. Кропоткина, 89, 220002, г. Минск.