

# Расчетный срок службы конструкции

Конструкции, спроектированные в соответствии с Еврокодами, должны обеспечивать неизменность своих эксплуатационных характеристик и сохранять пригодность на протяжении согласованного периода времени, при условии того, что клиент обеспечит разработку стратегии технического обслуживания (в том числе замены частей конструкции). При разработке указанной стратегии необходимо учесть следующие моменты:

- стоимость разработки проекта и строительства конструкции;
- расходы при невозможности использования конструкции;
- риски и последствия обрушения конструкции на протяжении срока службы и стоимость страхования данных рисков;
- запланированный частичный ремонт конструкции;
- стоимость проверок, технического обслуживания конструкций;
- эксплуатационные и управленческие расходы;
- снос конструкции;
- экологические аспекты.

# Необходимые факторы при расчете конструкций на долговечность

*«Запланированное и потенциальное использование конструкции».* Здесь следует рассмотреть один пример, связанный с истиранием полового покрытия промышленных помещений под нагрузкой от установленного оборудования. Изменение предназначения помещения влияет на долговечность конструкции и требует учета, если в результате произойдет изменение микроклимата в помещении (например, уровень влажности в помещении прачечной) или изменятся внешние условия.

*«Обязательные критерии проектирования».* Требования к расчетному сроку службы, указанные в *статье 2.3* стандарта EN 1990, являются основными требованиями, которые учитываются при разработке общей стратегии обеспечения долговечности; в частности, это касается решений об эксплуатационных характеристиках всех элементов конструкций, о необходимости замены отдельных элементов и о длительности срока службы элементов.

*«Ожидаемые воздействия окружающей среды».* Ухудшение свойств бетона и древесины, коррозия стали под воздействием окружающей среды свидетельствуют о необходимости определенных мер при разработке стратегии обеспечения долговечности конструкции. Кроме того, различные воздействия окружающей среды, например ветровые, снеговые и температурные воздействия, а также их влияние на долговечность конструкции являются важными темами для рассмотрения. Например, использование «средств наружного проектирования» в виде нанесения разного вида покрытий способствует обеспечению защиты уязвимых частей конструкции от воздействия окружающей среды, несмотря на то что долговечность останется основным вопросом для самого защитного покрытия.

*«Состав, свойства и эксплуатационные характеристики материалов».* Использование материалов, способствующих росту долговечности конструкции, следует рассматривать в рамках общей стратегии обеспечения долговечности, при помощи, например, пропитки древесины, эпоксидного покрытия арматурной стали, перевязки стен элементами из нержавеющей стали. Для конструкций складских зданий выбор материалов исключительно важен с точки зрения обеспечения долговечности, например для хранения коррозирующих веществ, таких как углекислый калий, клееная ламинированная древесина подходит лучше железобетона или конструкционной стали.



*«Выбор конструктивной системы».* Конструктивная форма, выбранная на этапе проектирования, должна обеспечивать живучесть; обеспечение избыточности показателей конструктивной системы следует рассмотреть при проектировании на предмет последствий известных видов опасностей. В проекте необходимо избегать таких конструктивных систем, которые являются уязвимыми для прогнозируемых видов разрушений и ухудшений свойств материалов, при этом конструктивная система должна быть достаточно приспособляемой, чтобы конструкция могла легко переносить изменение условий окружающей среды, а также смещения и прочее. Например, хороший дренаж может свести к минимуму риск коррозии армирования в конструкциях типа многоэтажных стоянок для машин. Еще один пример: исключение деформационных швов из проекта моста ликвидирует путь, по которому растаявшая соль может попасть с поверхности дорожного покрытия в элементы конструкции, что сократит коррозию армирования под воздействием хлоридов.

*«Форма элементов и проработка деталей».* Форма элементов и их детальная проработка влияют на долговечность конструкции, например стальной уголок или швеллер могут задерживать или пропускать воду в зависимости от их расположения. Что касается бетона, поперечное армирование может ограничить опасные последствия коррозии и кислотно-щелочных реакций.

*«Качество строительных работ и уровень контроля».* Контроль за строительными работами по ходу их выполнения может также оказывать влияние на долговечность конструкции. Например, низкое качество уплотнения может привести к пористости бетона, что сократит его долговечность. См. также раздел 2.5 настоящей главы.

*«Конкретные защитные мероприятия».* Для обеспечения роста долговечности элементы конструкции следует защищать от влияния вредных сред. Например, древесину необходимо пропитывать и/или покрывать защитными покрытиями, элементы из стали могут покрываться цинком или краской или слоем бетона. Другие меры, типа катодной защиты стали, также заслуживают внимания.

*«Техническое обслуживание в течение предположительного срока службы».* Техническое обслуживание должно рассчитываться на этапе проектирования, его стратегия, совместимая с концепцией проекта, также должна быть разработана. Необходимо учитывать необходимость проверок, техобслуживания и замены элементов, если это требуется для обеспечения эксплуатационных характеристик. По возможности конструкцию необходимо проектировать и детально прорабатывать таким образом, чтобы уязвимые, но важные элементы легко подлежали замене. Примером может служить замена тросов натяжения конструкций из преднапряженного бетона в агрессивных

# Для прогнозирования срока службы необходимо:

- использование знаний и результатов лабораторных и полевых испытаний для получения прогнозов;
- оценки на основе изменений свойств подобных материалов в подобных средах;
- использование методик ускоренных испытаний;
- моделирование процессов ухудшения свойств;
- сочетание указанных выше факторов.



# Контроль качества

В стандарте EN 1990 (*статья 2.5(1)*) выдвигается предположение о том, что надлежащая политика в области контроля качества должна применяться всеми сторонами, принимающими участие в управлении проектом на всех этапах его реализации, то есть на всех этапах строительных работ для выполнения фундаментальных требований согласно разделу 2.1. В состав мер, перечисленных в EN 1990, вошли следующие:

- установление требований к надежности;
- организационные меры;
- контрольные мероприятия на этапе проектирования, строительных работ и технического обслуживания.

# Управление качеством

## Конкретные аспекты политики в области качества строительных работ

Основной предмет беспокойства при реализации строительного проекта – это качество строительных работ, в частности надежность конструкции. В этом плане строительные работы должны:

- соответствовать четко сформулированным потребностям, целям и направлениям использования здания;
- соответствовать ожиданиям клиента;
- вестись в соответствии с применимыми нормами, стандартами и техническими условиями;
- соответствовать законным и другим требованиям общества.

Задача управления качеством – выполнение указанных выше требований.

# Процесс и качество строительных работ

Этап на схеме

обеспечения качества

Вид работ

Концепция

Установление необходимых уровней эксплуатационных характеристик для строительных работ

Технические условия для проектирования

Технические условия поставки материалов и конструкций

Предварительные технические условия для выполнения работ и технического обслуживания

Выбор контрактных сторон, обладающих достаточным уровнем квалификации с точки зрения персонала и организации

Проектирование

Определение эксплуатационных характеристик материалов, компонентов и узлов

Подтверждение допустимости и достижимости эксплуатационных характеристик

Определение способов испытаний

## Технические условия для материалов

Проведение  
конкурсных процедур

Проверка проектной документации, в том числе эксплуатационных характеристик

Согласование требований (подрядчик)

Согласование конкурсных предложений (клиент)

Выполнение работ

Надзор над выполнением работ и производством изделий

Отбор образцов и проведение испытаний

Корректировка при выявлении недостатков

Подтверждение качества работ на базе испытаний согласно проектной документации

Завершение  
строительства  
и передача объекта  
клиенту

Сдача-приемка объекта

Проверка эксплуатационных характеристик завершеного строительством здания (например, методом испытаний путем приложения эксплуатационных

Мониторинг эксплуатационных характеристик

Эксплуатация  
и текущий ремонт

Проверка на предмет ухудшений характеристик или появления трещин

Исследования проблем

Подтверждение качества работ

Реконструкция

См. выше

## **Политика в области качества**

Система управления качеством, выбранная для реализации политики в области качества, должна разрабатываться с учетом:

- вида и предназначения конструкции;
- последствий недостаточного соблюдения управления качеством (например, разрушение конструкции);
- управленческой культуры вовлеченных сторон.

В проекте конструкции надежность является наиболее важным аспектом, который необходимо учитывать для обеспечения качества.



# Предельное состояние по несущей способности

- потеря равновесия конструкцией или ее частью, которая считается твердым телом;
- разрушение конструкции или ее части в результате растрескивания, усталости или чрезмерной деформации<sup>1</sup>;
- неустойчивость конструкции или ее частей;
- преобразование конструкции или части конструкции в механизм;
- неожиданное изменение вида конструктивной системы.

Абсолютное предельное состояние статического равновесия в основном связано с несущей способностью конструкции, в его состав входят следующие предельные состояния:

- опрокидывание;
- выпучивание;
- соскальзывание с граничными эффектами (такими как трение).

# Этапы усталостного разрушения

- начальный этап – этап формирования трещины;
- этап развития трещины, в течение которого трещина стабильно разрастается при каждом цикле нагружения;
- этап разрушения, при котором трещина развивается нестабильно вследствие хрупкого разрушения или пластичного разрыва, на данном этапе поперечное сечение также разрушается из-за общей пластической деформации.

Предельные состояния по усталости отделены от предельных состояний по несущей способности и предельных состояний по эксплуатационной пригодности на основании следующего:

значение нагрузки в расчетах на усталость отличается от других видов нагрузок, поскольку зависит от величины и диапазона воздействий в рабочих условиях с учетом влияния времени (например, от количества циклов нагружения);

усталостные изменения представляют собой локальные ухудшения свойств материалов, которые могут иметь положительный эффект, когда трещины приводят к снижению усилий сжатия и прекращают развиваться, а могут и иметь разрушительный эффект, когда трещины приводят к возникновению более тяжелых условий нагруженности, ускоряющих процесс развития трещин;

при выполнении определенных условий (например, достаточной вязкости материала) развитие трещин можно отслеживать путем регулярных проверок, прежде чем возникнут пагубные последствия в виде недостаточной прочности или вязкости;

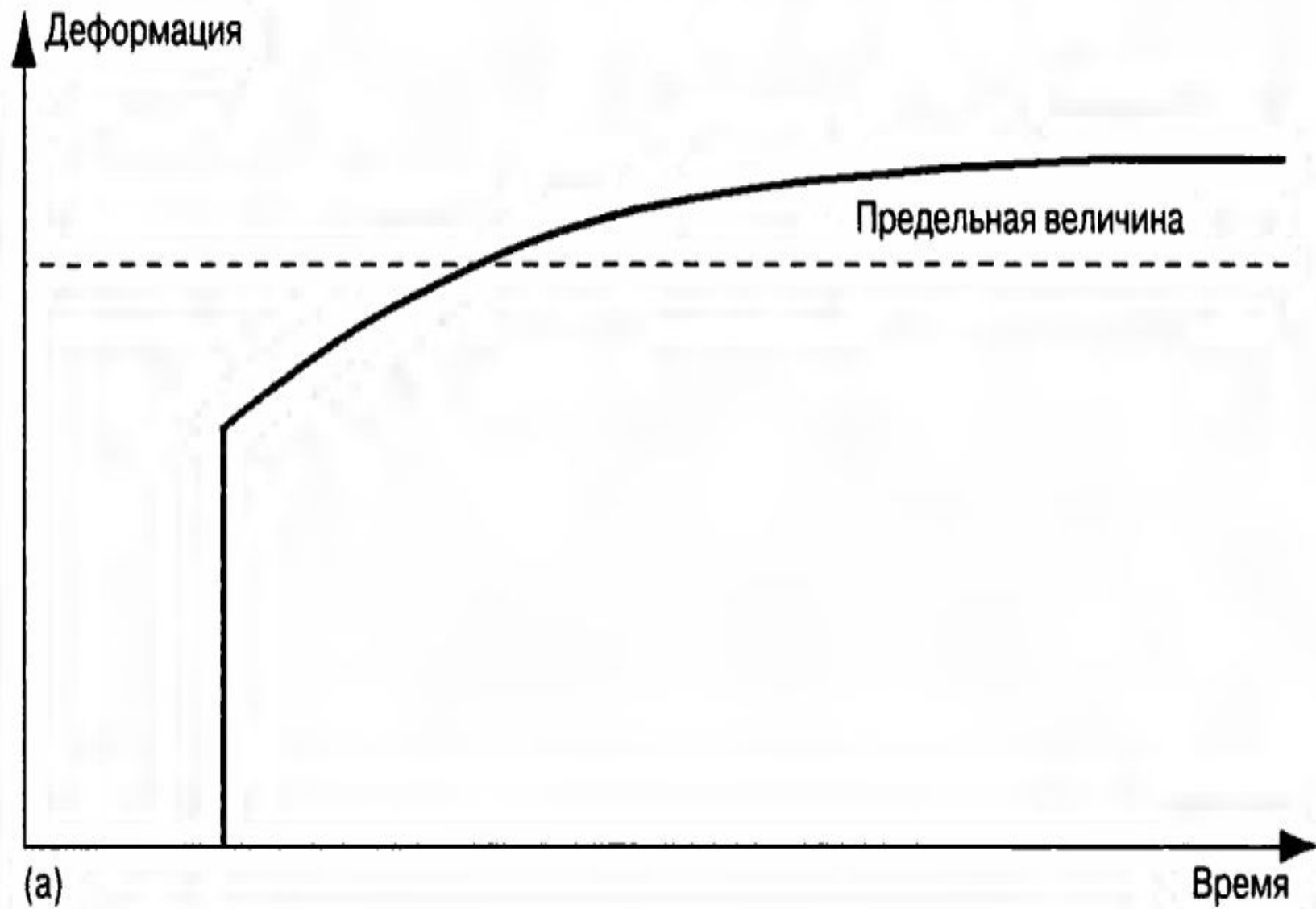
с учетом данной ситуации была разработана система обеспечения безопасности для усталостных предельных состояний, учитывающая возможность обеспечения предупредительных мер и последствия обрушения.

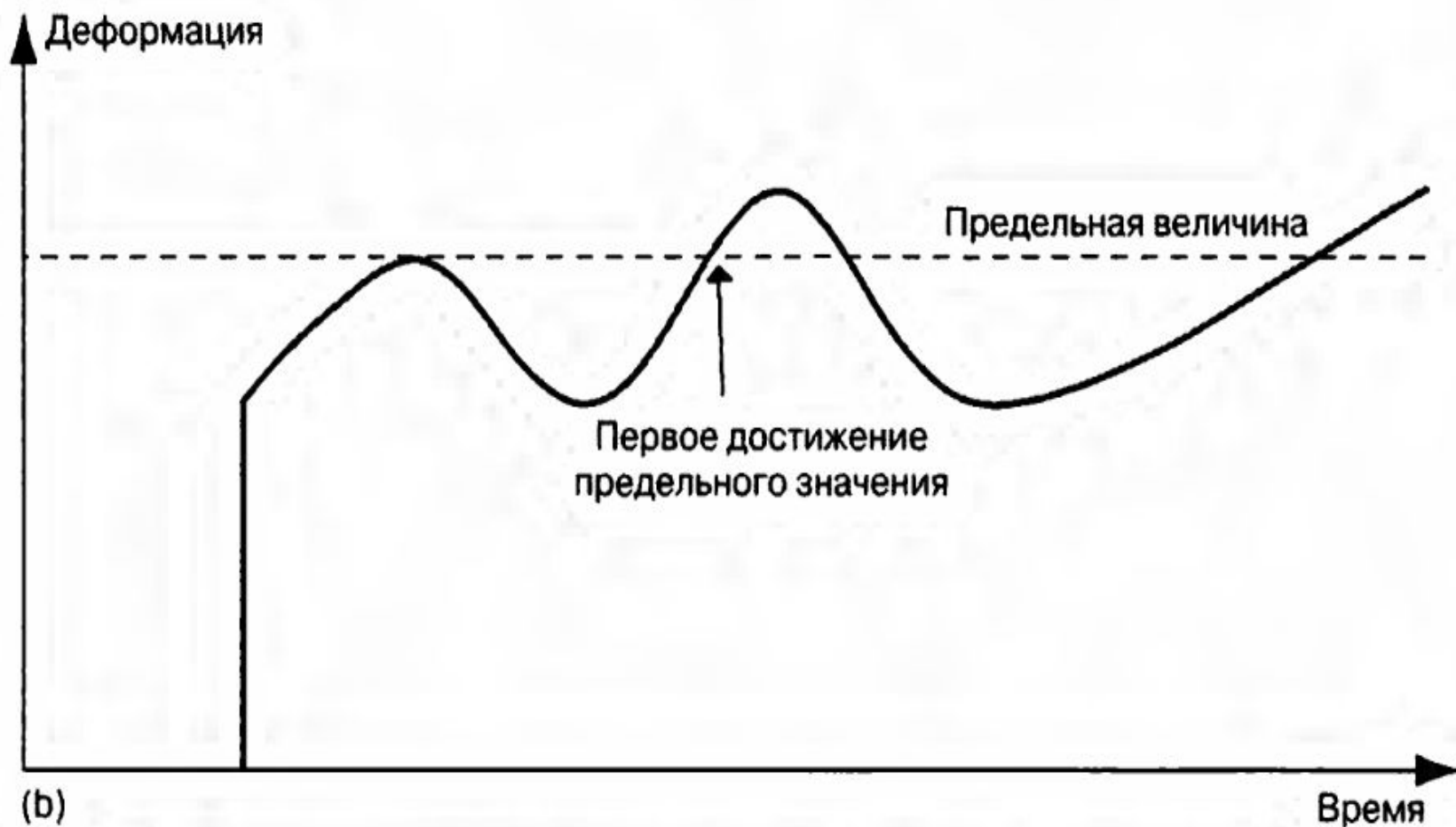
# Пределные состояния по эксплуатационной пригодности

С учетом зависимости нагрузок от времени имеет смысл выделить два вида предельных состояния по эксплуатационной пригодности, которые наглядно представлены на рис. 3.2 (*статья 3.4(2)Р*):

- необратимые предельные состояния по эксплуатационной пригодности (рис. 3.2а), которые представляют собой такие предельные состояния, которые развиваются после того, как те воздействия, которые их вызвали, прекратились (например, постоянное локальное повреждение или постоянные недопустимые деформации);
- обратимые предельные состояния по эксплуатационной пригодности (рис. 3.2б), которые представляют собой такие предельные состояния, которые не развиваются после того, как те воздействия, которые их вызвали, прекратились (например, трещины в преднапряженных компонентах, временные отклонения или чрезмерная вибрация).







**(a) Обратимые и (b) необратимые предельные состояния**

Различные требования к эксплуатационной пригодности должны формулироваться с учетом допустимости достижения предельных состояний, их частоты и длительности. Используют три обобщенных случая предельных состояний по эксплуатационной пригодности:

- предельное состояние недопустимо;
- допустимы предельные состояния определенной длительности и частоты;
- допустимы определенные длительные предельные состояния.

Список предельных состояний по эксплуатационной пригодности (*статья 3.3(3)*), которые могут отразиться на внешнем виде или эффективном использовании конструкции и требуют учета при проектировании, может быть кратко представлен следующим образом:

чрезмерная деформация, смещение, перекос и наклон, которые могут отразиться на, например, внешнем виде конструкции, удобстве в эксплуатации, функциях конструкции, а также могут привести к повреждению отделки и неконструктивных элементов;

чрезмерная вибрация (ускорение, амплитуда, частота), которая, например, может привести к неудобству для человека и к ограничению функций конструкции;

повреждение, которое с большой степенью вероятности отрицательно отразится на внешнем виде конструкции (локальные повреждения и трещины), долговечности и функциях конструкции.

## Расчет методом предельных состояний

Порядок проектирования на основании концепции предельного состояния подразумевает создание макетов конструкции и моделирование нагрузок для соответствующих абсолютных предельных состояний и предельных состояний по эксплуатационной пригодности, которые учитываются в различных расчетных ситуациях и нагрузках (*статья 3.5(1)P*). Цель проектирования методом предельных состояний – обеспечить непревышение никаких предельных состояний, когда в расчетных моделях используются соответствующие расчетные значения воздействий (см. определение в *статье 1.5.3.21*), свойств материалов или изделий (см. определение в *статье 1.5.4.2*) и геометрических параметров (см. определение *статье 1.5.5.2*).



# Моделирование свойств материала

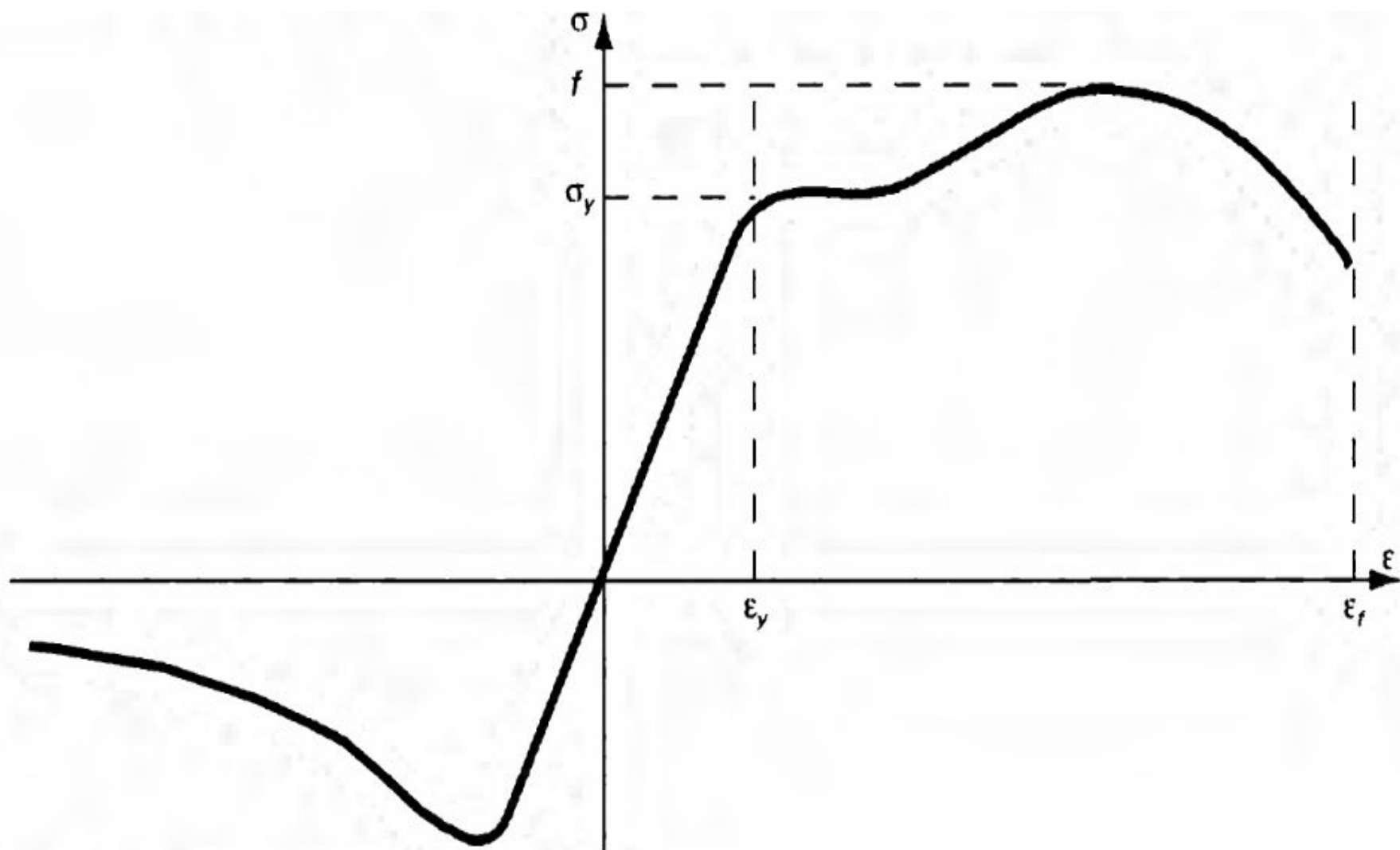
Свойства материалов, используемые в расчете конструкций и при проектировании, должны описываться измеряемыми физическими величинами, соответствующими свойствам в расчетных моделях. Как правило, данные физические величины зависят от времени, и, помимо этого, они могут зависеть от температуры, влажности, истории нагружения и воздействия со стороны окружающей среды. Данные величины также могут зависеть от особых условий, связанных с критериями изготовления, строительства, поставки и приемки.

## Основные свойства материалов

Наиболее важные характеристики материалов, введенные в расчеты при проектировании, описывают фундаментальные технические аспекты строительных материалов:

- (1) прочность  $f$ ;
- (2) модуль упругости  $E$ ;
- (3) предел текучести (если применимо)  $\sigma_y$ ;
- (4) предел пропорциональности  $\epsilon_y$ ;
- (5) деформация при разрыве  $\epsilon_f$ .

На рис. 4.6 представлен типичный пример одномерной диаграммы растяжения в координатах напряжение ( $\sigma$ ) – деформация ( $\epsilon$ ), на которой обозначены все вышеупомянутые фундаментальные характеристики.



**Одномерная  $\sigma$ - $\epsilon$  диаграмма**

В дополнение к базовым характеристикам материала, представленным выше на одномерной напряжении ( $\sigma$ ) – деформация ( $\epsilon$ ) диаграмме следует учитывать и прочие важные аспекты:

- (1) условия многоосного напряженного состояния (например, коэффициент Пуассона, поверхность текучести, условия текучести и упрочнения, возникновение и поведение трещин);
- (2) температурные эффекты (например, коэффициент расширения и его воздействие на характеристики материалов, включая экстремальные условия);
- (3) временной эффект (например, внутренние и внешние воздействия, ползучесть, разрушение при ползучести, затверждение грунтов, ухудшение характеристик при усталости);
- (4) динамические эффекты (например, массовая плотность и демпфирование в материале, а также влияние скорости нагружения);
- (5) влияние влажности (например, усадка, влияние на прочность, жесткость и пластичность);
- (6) воздействие надрезов и дефектов (например, нестабильный рост трещин, хрупкое разрушение, фактор интенсивности напряжения, влияние пластичности и геометрии трещин, ударная вязкость).

## Поведение при нагрузках, вызывающих усталость

Исключительно важным свойством материала является его поведение при нагрузках, вызывающих усталость элементов конструкции. Данный зависящий от времени эффект многократного нагружения элементов конструкции обычно исследуется упрощенными методами, когда элементы конструкции подвергаются воздействию переменной нагрузки постоянной амплитуды до тех пор, пока не будут достигнуты избыточные деформации или не произойдет разрушение вследствие распространения трещин. Таким образом, усталостная прочность определяется характеристическими  $\Delta\sigma - N$  кривыми, которые представляют собой 5% квантили разрушения. Оценочные испытания проводятся в соответствии с приложением D Еврокода EN 1990 и положениями Еврокодов EN 1992–EN 1999.

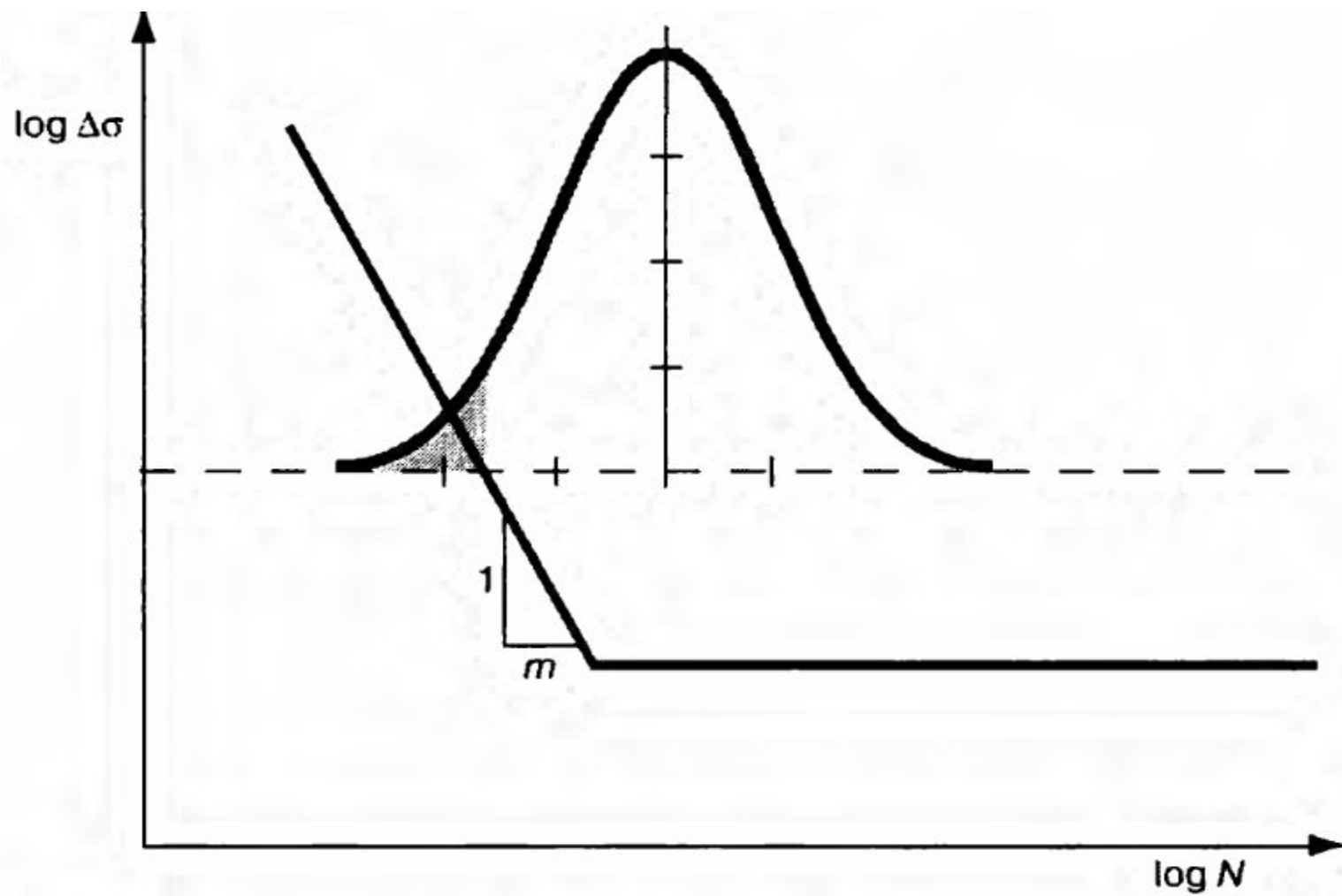
Характеристические  $\Delta\sigma - N$  кривые обычно представляют в двойной логарифмической шкале, как показано на рис. Соответствующие уравнения имеет следующий вид:

$$\Delta\sigma^m N = C = \text{constant},$$

где  $\Delta\sigma$  представляет собой изменение напряжения, рассчитанное из изменений нагрузки для определенного материала и из геометрических показателей, принимая во внимание фактор интенсивности напряжения, а  $N$  соответствует количеству циклов нагружения. В некоторых случаях факторы интенсивности напряжения вводятся в явной форме, как коэффициент изменения номинального напряжения.

В общем виде кривые  $\Delta\sigma - N$  зависят от геометрических показателей концентрации напряжения и металлургических аспектов. Дополнительная информация относительно характеристических кривых  $\Delta\sigma - N$  представлена в Еврокодах EN 1992–EN 1999.





**Характеристическая  $\Delta \sigma - N$  кривая**