

Пределные состояния

Из лекций проф. Жарницкого В.
И.

Тезаурус

- **Безопасность** -- состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.
- **Риск** -- вероятность причинения вреда с учетом тяжести этого вреда.
- **Техническое регулирование** -- правовое регулирование отношений в области требований к продукции и в области оценки соответствия.

Тезаурус*

- **Технический регламент** -- документ, который устанавливает обязательные требования к зданиям, строениям и сооружениям, или к процессам проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, утилизации.
- **Оценка соответствия** -- определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту

* Тезаурус -- словарь или свод данных, полностью охватывающий термины, понятия, какой-либо специальной сферы.

1.3. Федеральный закон
Технический регламент о безопасности
зданий и сооружений

подписан Президентом РФ
30.12.2009 №384-ФЗ

Основные понятия

- Используются следующие 28 терминов : аварийное освещение, авария, авторский надзор, воздействие, жизненный цикл, здание, инженерная защита, механическая безопасность, микроклимат помещения, нагрузка, нормальные условия эксплуатации, опасные природные процессы и явления, основание, помещение, помещение с постоянным пребыванием людей, расчетная ситуация, противоаварийная защита систем инженерно-технического обеспечения,

Основные понятия

предельное состояние строительных конструкций, реологическое свойство материалов, сеть (система) инженерно-технического обеспечения, сложные природные условия, строительная конструкция, сооружение, техногенное воздействие, уровень ответственности, усталостные явления в материале, характеристики безопасности.

Тезаурус

- **Авария** -- опасное техногенное происшествие...
- **Авторский надзор** -- контроль проектировщика за соблюдением требований проекта в процессе строительства.
- **Воздействие** -- явление, вызывающее изменение напряженно-деформированного состояния конструкций и (или) основания.
- **Жизненный цикл здания** -- период, начиная от изысканий и заканчивая сносом здания.
- **Здание** -- объемная строительная система, имеющая системы жизнеобеспечения и помещения для проживания и (или) деятельности людей.
- **Механическая безопасность** -- состояние конструкций и основания, при котором отсутствует недопустимый риск... разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части.

Тезаурус

- **Нагрузка** -- механическая сила, прилагаемая к строительным конструкциям и (или) основанию и определяющая напряженно-деформированное состояние.
- **Опасные природные процессы и явления** -- землетрясения, сели, оползни, лавины, подтопление территории, ураганы, смерчи, эрозия почвы и др.
- **Основание здания или сооружения** -- массив грунта, взаимодействующий со зданием и сооружением.
- **Предельное состояние строительных конструкций** -- состояние строительных конструкций здания или сооружения, за пределами которого дальнейшая эксплуатация здания или сооружения опасна, недопустима, затруднена или нецелесообразна либо восстановление работоспособного состояния здания или сооружения невозможно или нецелесообразно.
- **Расчетная ситуация** -- учитываемый в расчете комплекс возможных условий, определяющих расчетные требования к конструкциям...
- **Реологические свойства материалов** -- проявление необратимых остаточных деформаций и текучести или ползучести под влиянием

Тезаурус

- **Сооружение** -- результат строительства, представляющий объемную, плоскостную или линейную систему, состоящую из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих конструкций и предназначенную для выполнения производственных процессов...
- **Строительная конструкция** -- часть здания или сооружения, выполняющая определенные несущие, ограждающие и (или) эстетические функции.
- **Техногенное воздействие** -- опасное воздействие, являющееся следствием аварий... пожаров, взрывов..., а также воздействия, являющиеся следствием строительной деятельности...
- **Уровень ответственности** -- характеристика здания или сооружения, определяемая в соответствии с объемом экономических, социальных, и экологических последствий его разрушения.
- **Усталостные явления в материале** -- изменение механических и физических свойств материала под длительным действием циклически изменяющихся во времени напряжений и деформаций.
- **Характеристики безопасности** -- количественные и качественные показатели свойств конструкций и т. д., соблюдение которых обеспечивает соответствие здания и сооружения требованиям

Уровни ответственности

- 1) повышенный -- особо опасные, технически сложные, уникальные (в соответствии с Градостроительным кодексом РФ);
- 2) нормальный -- все здания и сооружения, кроме 1) и 3).
- 3) пониженный -- временного назначения, вспомогательного использования, индивидуального строительства.

Идентификационные признаки указываются застройщиком (заказчиком) и проектировщиком.

Общие требования безопасности

- **Механическая безопасность:** конструкции и основание должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы не произошло:
 - 1) разрушения отдельных конструкций или их частей;
 - 2) разрушения всего здания, сооружения или их части;
 - 3) деформации недопустимой величины конструкций, основания и геологических массивов...
 - 4) повреждения части здания, сетей или систем инженерно-технического обеспечения в результате деформаций, перемещений или потери устойчивости, в том числе отклонений от вертикальности.
- Требования **пожарной безопасности.**
- Требования безопасности при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях.

Обеспечение механической безопасности в проекте

- Должны быть учтены следующие расчетные ситуации
1)установившаяся; 2)переходная (малой продолжительности).
- Для объектов повышенного уровня ответственности следует учитывать мало вероятную аварийную ситуацию небольшой продолжительности, возникающую в связи со взрывом, столкновением, пожаром, а также после отказа одной из несущих конструкций.
- Расчетные значения усилий определяются с учетом коэффициента надежности по ответственности:
1) 1,1-повышенный уровень ответственности;
2) 1,0-нормальный уровень ответственности;
3) 0,8-пониженный уровень ответственности.

Пояснения -- устойчивость, нелинейность

ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ:

ФОРМЫ

ПОЛОЖЕНИЯ

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

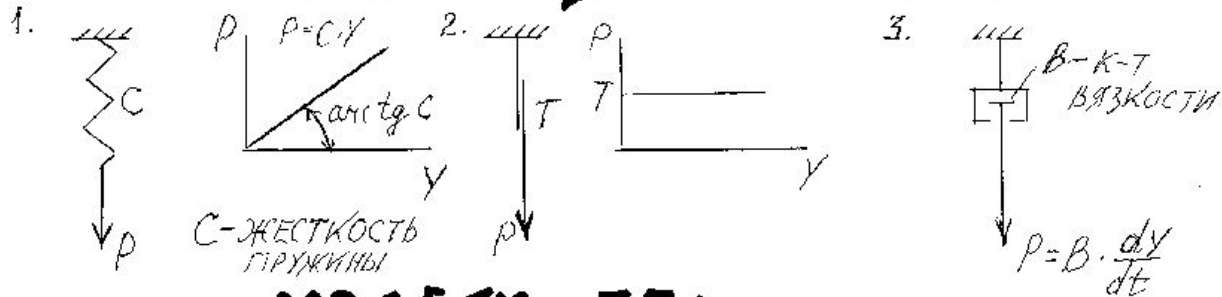
$$M\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{q l^2}{8} + N \cdot y\left(\frac{l}{2}\right)$$

ФИЗИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

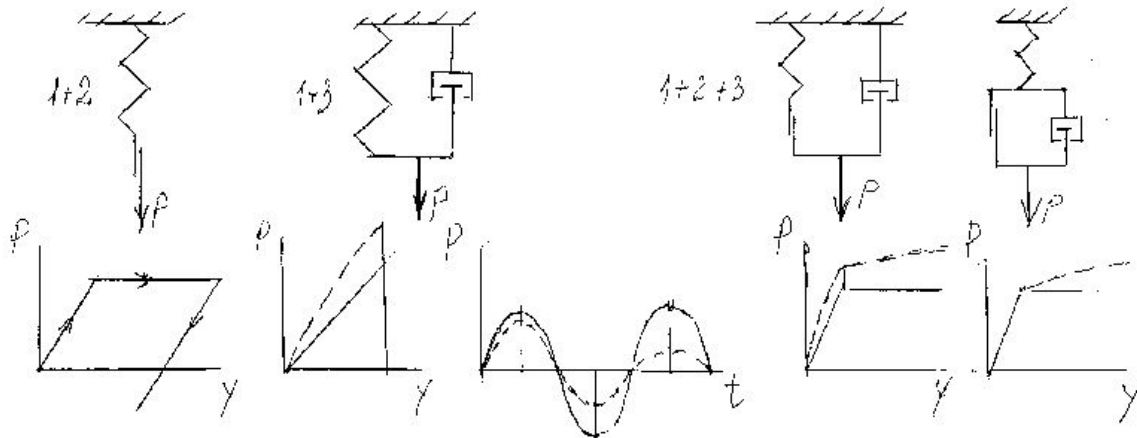
σ-ε
M-εe
γ-γ

Пояснения -- реологические модели

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ



МОДЕЛИ ТЕЛ



Жарницкий

61

Пояснения -- реологические свойства

- Реология (наука о течении) -- раздел механики сплошных сред, изучающий деформации (в том числе пластические). Использует феноменологический подход, не позволяющий понять физику явления, но дающий возможность его количественного описания. Например, для описания затухания колебаний конструкций вводятся силы внутреннего трения. Используются различные модели твердого тела, формируемые из трех простейших элементов и позволяющих адекватно описать поведение различных материалов. Эти простые элементы: 1)упругий, 2)сухого трения и 3)вязкого сопротивления.

Пояснения -- изменение сопротивления во времени

- Нарастание прочности бетона во времени.
- Повышение расчетных сопротивлений бетона и стали (до 40-50%) с увеличением скорости деформирования.
- Усталость материалов -- снижение прочности при очень большом количестве циклов нагружений (нагрузка-разгрузка).
- Ползучесть -- нарастание деформаций во времени при постоянном напряжении (см. рисунок на следующем слайде).
- Релаксация напряжений -- уменьшение напряжений во времени при постоянной деформации (см. рисунок на следующем слайде).

Пределные состояния

- **Расчеты строительных конструкций производятся по предельным состояниям. Предельным состоянием называется такое, при превышении которого сооружение перестает удовлетворять эксплуатационным требованиям. Прекращение эксплуатации может наступать ввиду исчерпания несущей способности (прочности) – состояние 1-й группы, либо по другим причинам – состояние 2-й группы.**
- **В конструкциях могут допускаться умеренные повреждения: трещины в растянутой зоне бетона и пластические деформации – в сжатой зоне бетона, пластические деформации стали и др.**

Метод предельных состояний начал применяться с 1955г. Ему предшествовал детерминированный метод расчета: по допускаемым напряжениям, использовавший общий коэффициент запаса, и разрушающих нагрузок.

Метод предельных состояний – полuverоятностный: на вероятностной основе определены нормативные значения нагрузок, характеристик материалов;

надежность обеспечивается частными коэффициентами запаса (коэффициенты надежности по нагрузкам, по материалам, условий работы, надежности по назначению и др.), позволяющими вычислить значения расчетных нагрузок и сопротивлений материалов;

с использованием этих данных расчет выполняется как детерминированный.

Обеспеченность нормативных значений сопротивлений материалов равна 0,95.

Особенность расчетов на сейсмические, взрывные и ударные воздействия – необходимость использования дополнительных данных по материалам (предельные деформации, коэффициент динамического упрочнения), по нагрузкам (коэффициент динамичности), по конструкции (предельная пластическая деформация).

Количественные критерии предельного состояния 1-й группы

Расчетные значения сопротивлений и деформаций материалов, нагрузок, деформаций конструкции являются предельно допустимыми. Все эти величины образуют комплекс количественных критериев предельного состояния 1 группы (по несущей способности). На следующих слайдах приведены некоторые формулы и значения перечисленных величин.

Их не превышение гарантирует, что предельное состояние 1 не будет достигнуто и эксплуатация конструкции не прекратится. Можно сказать, что в этом случае состояние конструкции является безопасным.

Конструкции должны быть обеспечены от возникновения всех видов предельных состояний: расчетом, выбором материалов, назначением размеров, конструированием и надлежащим качеством строительно-монтажных работ.

Конструктивные схемы должны обеспечивать: прочность, устойчивость, пространственную неизменяемость сооружения в целом и отдельных конструкций во все периоды возведения и эксплуатации.

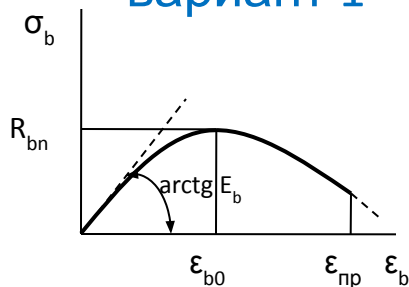
Следует учитывать температурные климатические воздействия, огнестойкость, монтажные нагрузки и др.

Примеры прочностных и деформационных характеристик материалов (СП52-101-2003)

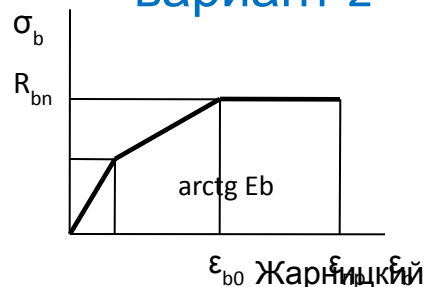
Нормативные сопротивления строительных материалов с вероятностью 0,95.

Бетон. Например, бетон класса В30. Нормативное сопротивление сжатию $R_{bn}=22,0$ (МПа). Расчетное сопротивление сжатию $R_b=R_{bn}/\gamma_b=22/1,3=17$ (МПа), где $\gamma_b=1,3$ – коэффициент надёжности по материалу. Принимаемое в расчёте сопротивление сжатию равно $R_b \cdot \gamma_{bi}$, где γ_{bi} – коэффициент условия работы: $\gamma_{b1}=0,9$ или $1,0$ – учёт длительности нагрузки; $\gamma_{b2}=0,9$ – для бетонных конструкций; $\gamma_{b3}=0,9$ при бетонировании в вертикальном положении; γ_{b4} – замораживание-оттаивание.

Диаграмма сопротивления и деформационные характеристики:
вариант 1



вариант 2



Начальный модуль
 $E_b=32,5 \cdot 10^3$ (МПа);
 $E_{b0}=0,002$;
 $E_{bпр}=0,004$.

Арматура. Например, арматура класса А500 ($\varnothing 10-40$ мм).

Нормативное сопротивление растяжению $R_{sn}=500$ (МПа).

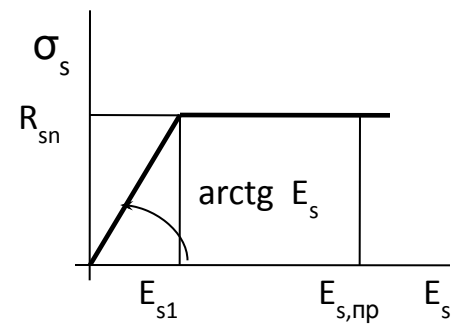
Классы по прочности отвечают гарантированному значению предела текучести с обеспеченностью 0,95.

Расчетные значения сопротивления: $R_s=R_{sn}/\gamma_s$ (γ_s – коэффициент надёжности по арматуре).

Для предельного состояния группы 1: продольная растянутая арматура $\gamma_s=1,15$ $R_s=435$ (МПа); продольная сжатая арматура $R_{sc}\leq 435$ (МПа) и ограничение деформацией сжатого бетона; поперечная арматура $R_{sw}=R_s\cdot\gamma_{si}=435\cdot 0,8\approx 300$ (МПа), $\gamma_{si}=0,8$ – к-т условия работы.

Для состояния группы 2: $\gamma_s=1,0$ и $R_s=500$ (МПа).

Диаграмма и деформационные характеристики



$$E_s=200000(\text{МПа}), \epsilon_{s1np}=0,025$$

Нагрузки и воздействия (СНиП 2.01.07.85)

- **Классификация:** постоянные и временные (длительные, кратковременные, особые).
- **Постоянные:** вес частей сооружения, вес и давление грунтов.
- **Длительные:** временные к-ции, оборудование, складироваемые материалы, люди, животные, от усадки и от ползучести, деформаций основания.
- **Кратковременные:** материалы, люди, животные, снеговые, гололедные, ветровые, температурно-климатические воздействия и др.
- **Особые:** сейсмические, взрывные, ударные, значительные деформации основания и др.

Нагрузки

Расчетное значение равно нормативному значению, умноженному на коэффициент надежности по нагрузке (больше 1.0).

Особые нагрузки определяются по специальным документам; например, сейсмические нагрузки определяются согласно СНиП «Строительство в сейсмических районах».

При действии нескольких нагрузок следует учитывать их сочетания: основное сочетание – постоянные, длительные и кратковременные; особое сочетание – добавляется одна из особых нагрузок. При этом расчетное значение каждой нагрузки (или вызванного ею усилия) следует умножать на коэффициент сочетаний (меньше или равен 1.0).

Нормативные значения нагрузок в СНиП "Нагрузки и воздействия" определены на вероятностной основе.

Учет степени ответственности зданий и сооружений по назначению в ТР -- уровни ответственности (см. слайд 53)

На коэффициент надежности по назначению следует умножать расчетные значения нагрузок (усилий).

Три класса ответственности и соответствующие им коэффициенты надежности:

Класс 1 (повышенный уровень) . Основные здания и сооружения особо важных объектов: главные корпуса ТЭС, АЭС, телевизионные башни, учебные заведения, кинотеатры и т.п.– коэффициент =1,1.

Класс 11 (нормальный уровень). Здания и сооружения важных народнохозяйственных и социальных объектов—коэффициент = 1,0.

Класс 111 (пониженный уровень).Здания и сооружения объектов, имеющих ограниченное значение : склады, теплицы, одноэтажные жилые дома и др.—коэффициент =0,8.

Тезаурус

- **Опасность сейсмическая** -- подверженность данной территории и расположенных в ее пределах объектов землетрясениям.
- **Потери материальные** – стоимость восстановления здания до предшествующего состояния или стоимость сноса и строительства нового идентичного.
- **Потери социальные** – гибель и травмирование людей.
- **Риск** – вероятность потерь в данный период времени.
- **Отказ конструкции** – превышение критериев предельных состояний (развитие недопустимых повреждений или разрушений).
- **Надежность** – вероятность безотказной работы за заданный срок эксплуатации.
- **Теория надежности** – научное направление по разработке методов и критериев количественной оценки безопасности на вероятностной основе.
- **Безопасность** – вероятность сохранения сооружением эксплуатационных качеств (выполнение всех критериев предельных состояний) за заданный срок эксплуатации.

Тезаурус

- Резерв прочности $S = D - F > 0$,

где: F – наибольшее значение усилия, выраженное через внешнюю нагрузку (например, для шарнирно опертой балки $F=M=q \cdot l^2/8$);

D – несущая способность в тех же единицах, отвечающая предельному состоянию по прочности,

$$D = Z \cdot A_s \cdot R_s,$$

где: Z – плечо внутренней пары сил, A_s – площадь продольной растянутой арматуры, R_s – ее расчетное сопротивление.

- Случайный коэффициент запаса $K=D/F>1.0$.

D и F считаются случайными величинами с заданными законами распределения.

- Прогрессирующее обрушение – обрушение вышерасположенных конструкций здания при разрушении одного из несущих элементов (например, колонны в результате террористического акта).

Практическое применение теории надёжности

Цитата: «Метод предельных состояний не сформулировал единые правила установления надёжностных требований. Надёжность сооружений одного и того же назначения (но из различных материалов), запроектированных по действующим нормам, оказывается различной; и вообще невозможно сказать, какой уровень надёжности требуют нормы. Существующие методы проектирования не позволяют оценить надёжность конструкций.

Принятая система обеспеченности расчетных величин нагрузок и сопротивлений материалов не обеспечивает единый уровень надёжности конструкции, который мы не можем предсказать. Анализ показывает, что при этом уровень надёжности конструкций одинаковой ответственности может отличаться в несколько десятков раз. Проектировщик не знает насколько успешно он выполнил главную задачу – обеспечение нормального функционирования конструкции.» В.Д. РАЙЗЕР

1.6. Безопасность в европейских нормах (Eurocode EN 1990)

Основные требования:

- **Требование безопасности** – конструкции должны выдерживать все возможные нагрузки и воздействия.
- **Требование эксплуатационной пригодности** – конструкции должны оставаться пригодными для эксплуатации.
- **Требование прочности** – конструкции не должны быть повреждены взрывом, ударом или в результате человеческой ошибки.
- **Требование к пожарной безопасности** – стойкость в заданный период времени.

Два предельных состояния

- 1) Критическое предельное состояние.
- 2) Предельное состояние эксплуатационной пригодности.

Условия: соответствующие предельные состояния не превышаются при использовании соответствующих значений нагрузок, характеристик материалов и размеров конструкций.

Используется метод коэффициентов безопасности.

Могут использоваться тесты и расчеты при обеспечении уровня надежности. Допускается проектирование, основанное на вероятностных методах.

• Проектные ситуации:

1. Постоянные нормальные.

2. Временные (например, при строительстве, ремонте).

3. Аварийные (особые условия: пожар, взрыв, удар, локальные разрушения).

4. Сейсмика.

Проверка предельных состояний

- Критические предельные состояния – связаны с коллапсом или другими формами разрушения. Проверяется:
 - EQU – потеря статического равновесия конструкции;
 - STR – внутреннее разрушение или избыточная деформация, когда прочность конструкции определяется прочностью материалов;
 - GEO – разрушение или избыточное деформирование основания;
 - FAT – усталостное разрушение.
- Комбинации проектных ситуаций:
 - постоянная или временная (базовая);
 - аварийная;
 - сейсмическая.
- Условия:
 - EQU – эффект от дестабилизирующих нагрузок меньше эффекта от стабилизирующих нагрузок;
 - STR, GEO – эффект от нагрузок меньше проектной величины сопротивления.

- **Предельные состояния пригодности к эксплуатации – функционирование конструкций при нормальном использовании, комфорте людей и внешнем виде.**

Внешний вид – отсутствие больших смещений и обширного растрескивания.

Критерии:

- деформации, влияющие на внешний вид, комфорт, функционирование;

- вибрации конструкции, вызывающие дискомфорт;

- повреждения, влияющие на внешний вид и функционирование.

Комбинации нагрузок:

- характерная;

- частая;

- квази-постоянная.

Литература

1. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М., АСВ. 1988г. 302с.
2. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. М. Стройиздат, 1986г., 193с.
3. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М. Стройиздат, 1978г., 239с.
4. Закон РФ “О техническом регулировании”.
5. Закон РФ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”.
6. Закон РФ “О саморегулируемых организациях”.