

*** Лекция № 20**

*** Надежность и безопасность железобетонных конструкций**

Риски в строительстве

По причинам происхождения:

ошибки проектирования	- 4%;
низкое качество материалов и изделий	- 17%;
низкое качество монтажа	- 42%;
неудовлетворительная эксплуатация	- 18%;
совокупность причин	- 19%.

По времени проявления:

в период строительства	- 48%;
построено, но не сдано в эксплуатацию	-20%;
в период эксплуатации	- 29%
(в том числе до 1 года	- 12%;
до 15 лет - 7%; >15 лет	- 10%);
после ремонта	- 3%.

По видам конструкций:

основания	- 3%;
стальные	- 6%;
деревянные	- 7%;
железобетонные	- 17%;
кирпичные	- 18%;
сочетания различных конструкций	- 49%.

Источники опасностей

Источники и характер опасностей (угроз)

Природного
характера

Грозы
Землетрясения
Наводнения
Ураганы
Иные явления

Техногенного
характера

Отказы
оборудования,
телекоммуника-
ций и связи

Регулярные
Случайные

Исходящие от
людей

Прогнозируемое
неправильное
использование
оборудования

обслуживающим
персоналом
пользователями, в
том числе
различных
категорий

Злонамеренные
действия:

Саботаж

Вторжение
Хищение
Диверсия
Нападение
Терроризм

Объект Защиты

Прилегающая территория

Объект

Здание, машины, оборудование

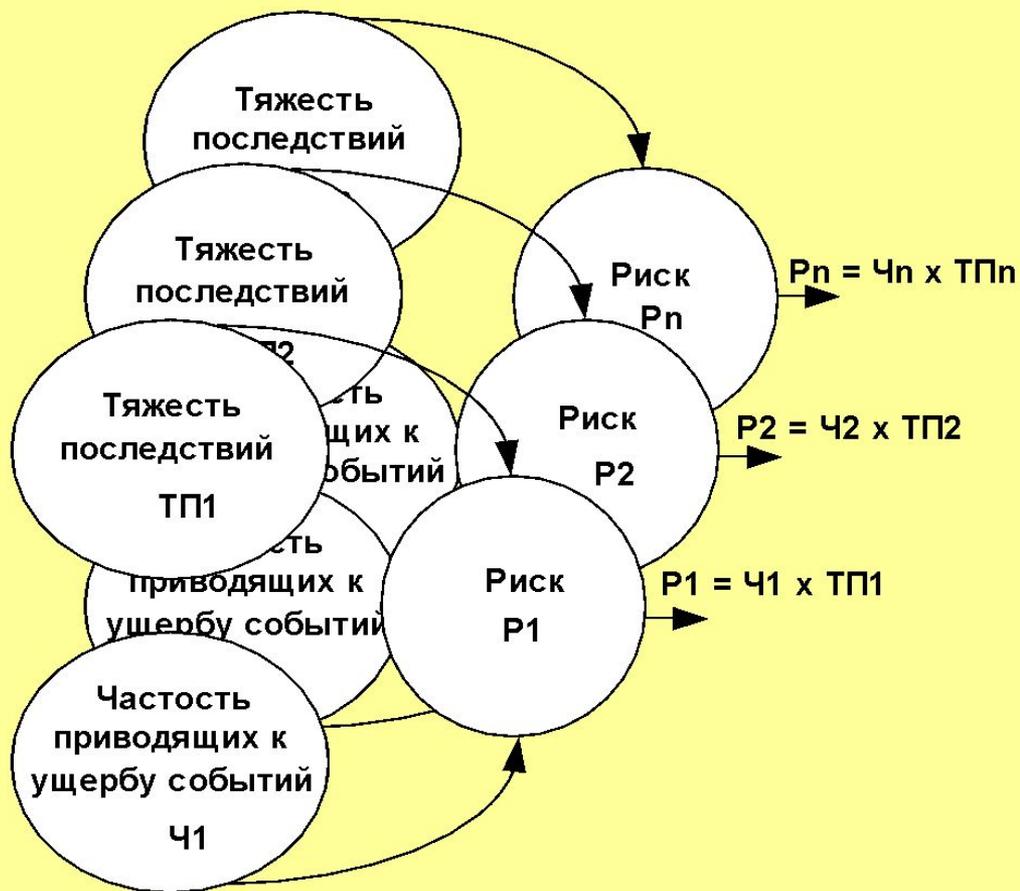
Люди, имущество,
животные, растения

Строение

Здание

Сооружение

Комплексная функциональная безопасность



Оценка комплексной безопасности объекта осуществляется на основе анализа рисков и *общей оценки риска* нанесения вреда от совокупности негативных событий.

Вероятности ошибок

Событие	Вероятность события	
	Западная Европа	Россия
А - ошибка архитектора	0,10	Не исследовано
В - ошибка проектировщика	0,40	0,15...0,20
С - ошибка производителя работ	0,50	0,50...0,60
Д - ошибка контролирующего лица	0,10	Не исследовано
Е - ошибка при эксплуатации	0,02	Около 0,05
Г - перегрузка	0,02	0,05...0,10
М - слабый материал	0,02	Около 0,20

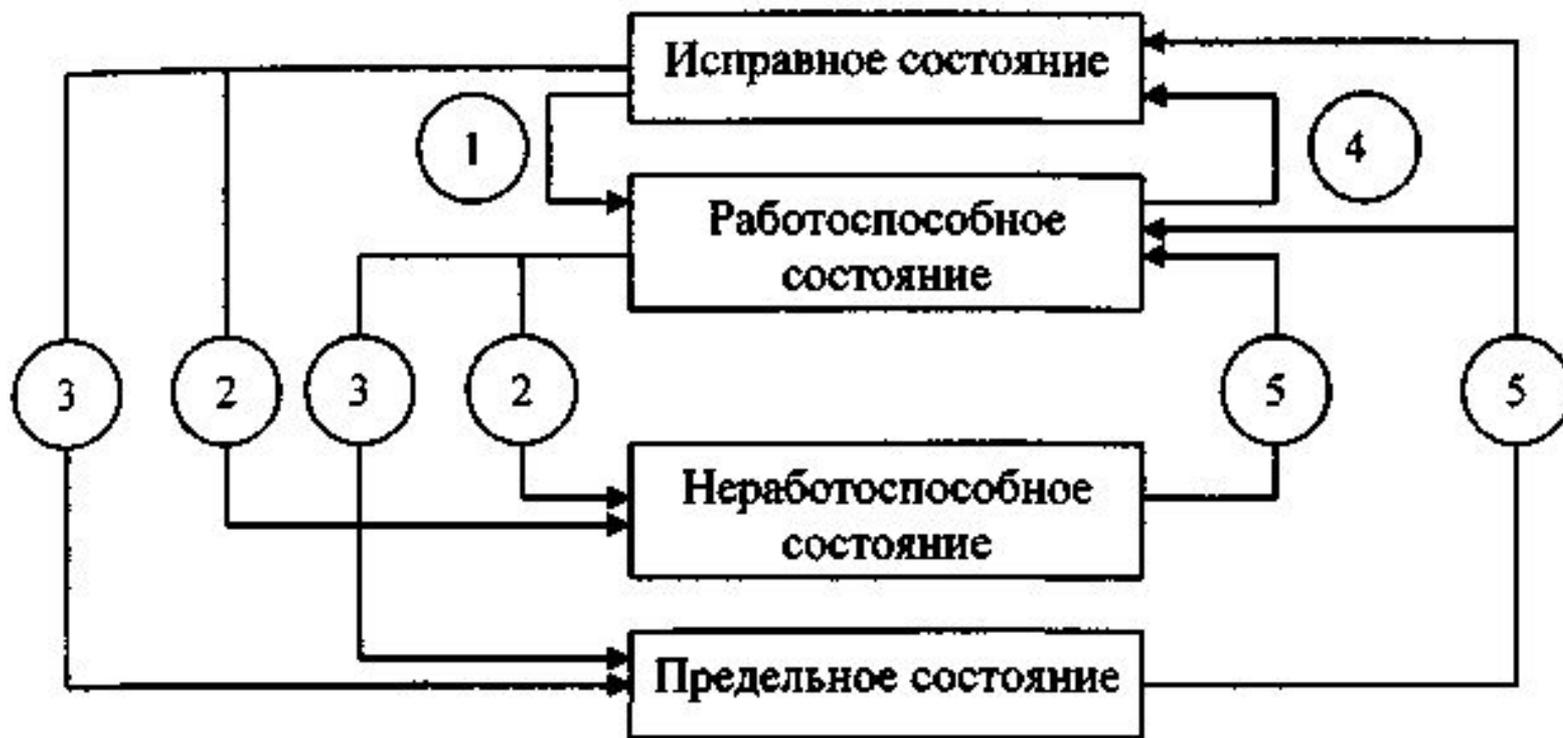
Взаимосвязь понятий эффективности, безопасности, надежности и безотказности



Характеристика методов анализа риска

Метод анализа риска	Характеристика метода
1. Предварительный анализ опасности	Определяет опасности и элементы - источники опасности для проведения полного анализа и построения дерева отказов.
2. Анализ видов отказов и последствий (АВОП)	Рассматривает все виды отказов по каждому элементу системы. Не учитывает сочетания отказов и человеческих ошибок.
3. Анализ критичности	Определяет и квалифицирует элементы по степени критичности отказов. Не учитывает отказы с общей причиной и взаимодействие элементов.
4. Анализ по дереву отказов	Начинается с инициирующего события, затем определяются отказы, которые его вызывают. Строится по обратной (дедуктивной) логике: «Каким образом может отказать...?» Большие деревья отказов математически неоднозначны и требуют сложной логики.
5. Анализ по дереву событий (причина - следствие)	Начинается с критического события и строится по прямой (индуктивной) логике: «Что случится, если...?» Применяется для последовательных цепей события.
6. Анализ опасностей и работоспособности	Недостатки те же, что у метода 4. Расширенный АВОП, включающий причины и последствия изменения основных параметров производства

Оценка риска аварии строительных конструкций в зависимости от вида технического состояния



Стратегические направления обеспечения надежности и безопасности строительных систем:

- 1) создание достаточного резерва (запаса) несущей способности конструкций, повышение их живучести;
- 2) ограничение размера ущерба при отказах;
- 3) исключение человеческих ошибок.

Три группы причин возникновения аварийных ситуаций

1. Редкие стихийные воздействия, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации зданий и сооружений;
2. Редкие сочетания природных и (или) эксплуатационных нагрузок и отказов;
3. Грубые ошибки людей при проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации конструкций.

Условие непревышения предельного состояния конструкции

$$Q_{\max} \leq R_{\min}$$

$$R(q_1, q_2, \dots, q_m) - Q(q_{m+1}, q_{m+2}, \dots, q_n) \geq 0$$

$$R(q_1, q_2, \dots, q_m)$$

обобщенная прочность конструкции;

$$Q(q_{m+1}, q_{m+2}, \dots, q_n)$$

обобщенная нагрузка.

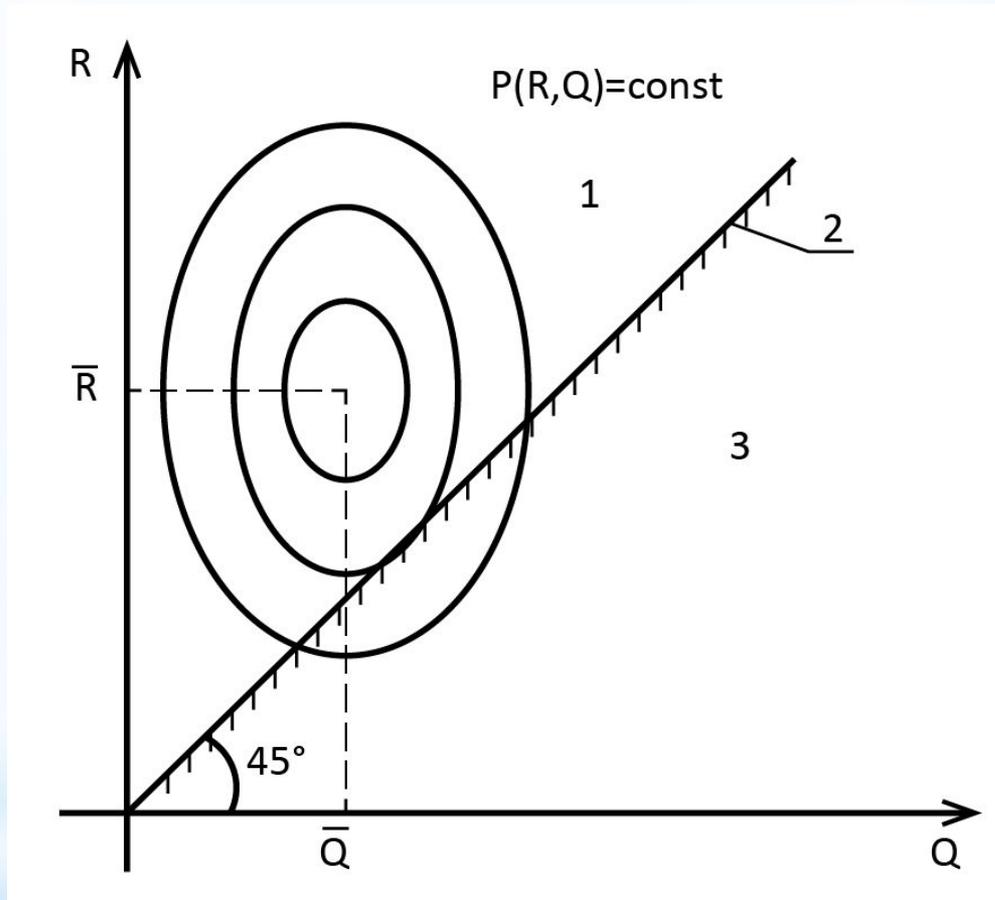
Резерв прочности

$$S = R - Q$$

Вероятность разрушения

$$V = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^Q p(R, Q) dR dQ,$$

Граница области допустимых состояний



- 1- область безотказной работы
- 2- граница области
- 3- область отказов

Характеристика безопасности

$$\beta = \frac{\bar{S}}{\sigma_s} = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_q^2}}.$$

Если R и Q подчиняются нормальному закону распределения

Вероятность разрушения

$$\Phi = \frac{1}{2} - (\beta)$$

где $\Phi(\beta)$ функция Лапласа

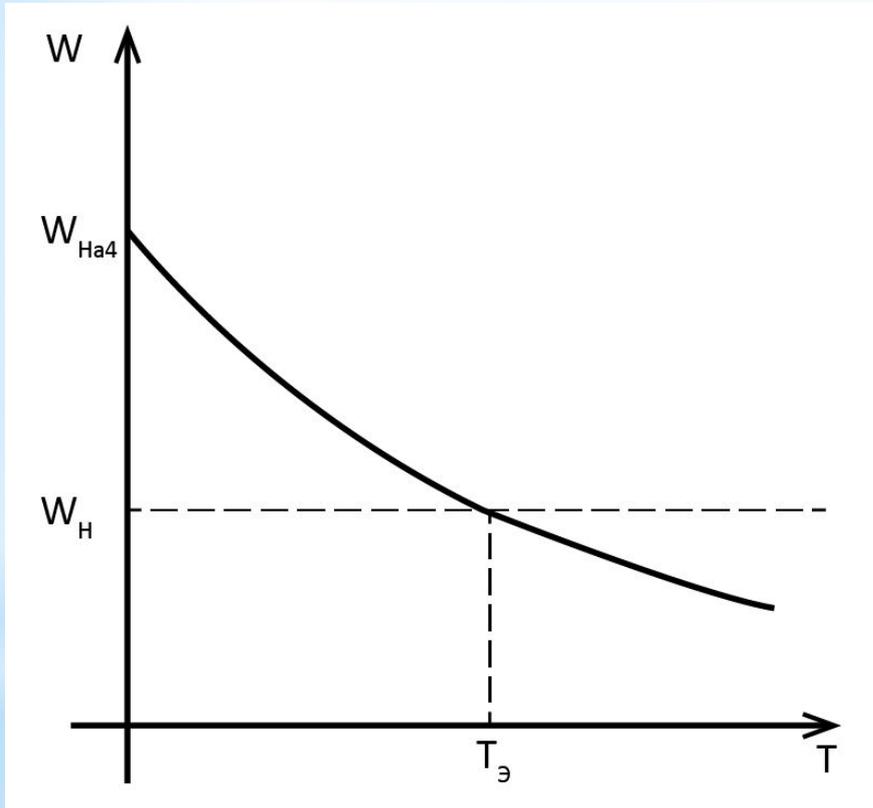
$$\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\beta} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du.$$

Нормирование надежности

Индекс надежности в	Уровень ответственности
3...4 (2,5...4,2)	3 - пониженный
4...5 (3,0...4,7)	2 - нормальный
5...6 (3,5...5,2)	1- повышенный

Надежность конструкции во времени

$$W(t) = \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right).$$

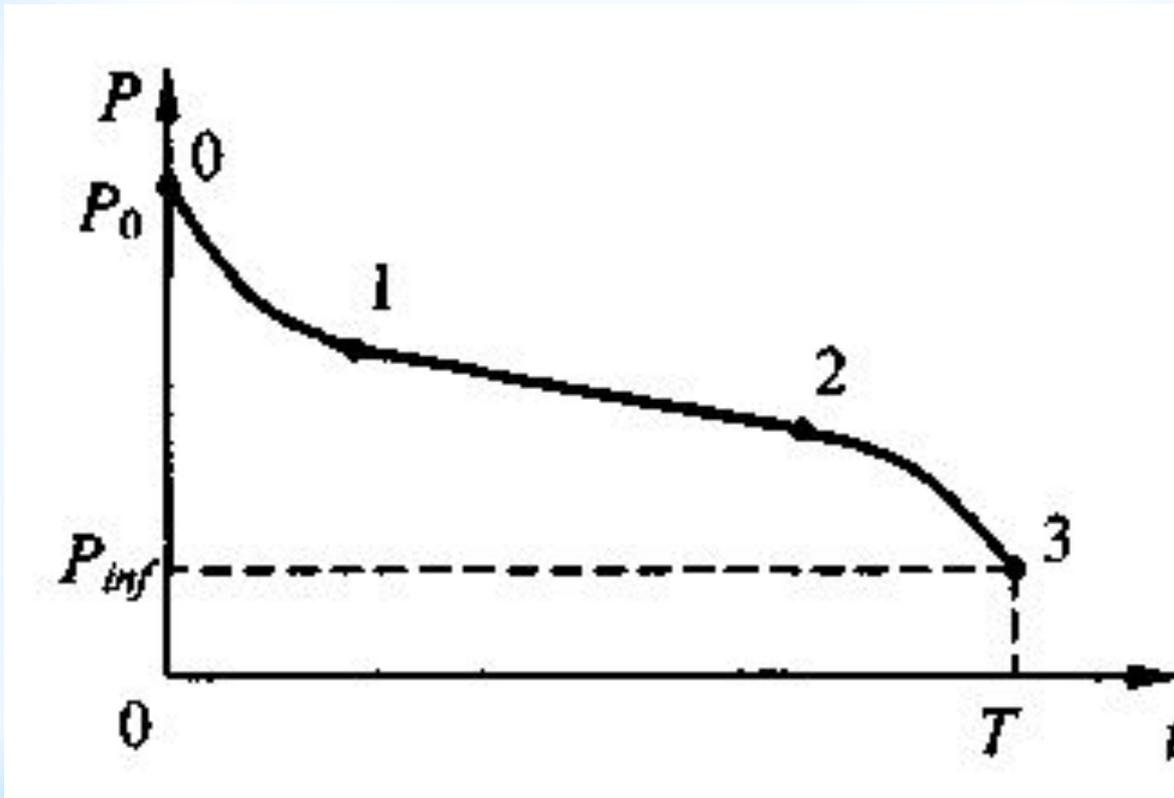


$$\tilde{S}(t) = \tilde{R}(t) - \tilde{Q}(t) \geq 0,$$

$$R(t) = R_d - \int_0^t v_R(\tau) d\tau,$$

$$Q(t) = Q_d + \int_0^t v_Q(\tau) d\tau$$

Эволюция надежности:



P_0 - начальный уровень надежности;

P_{inf} - предельный уровень надежности;

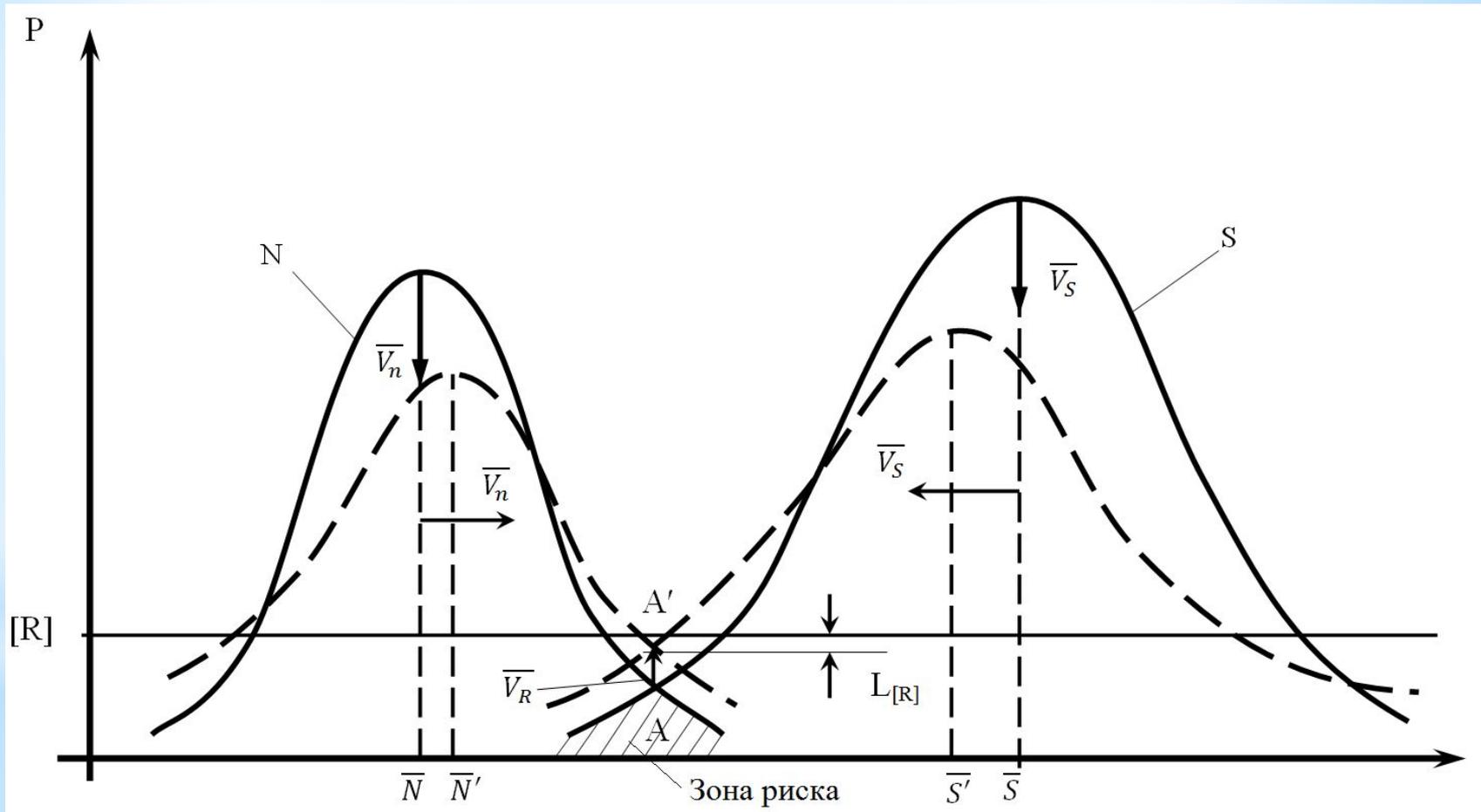
T - срок службы; 0-1 - период приработки; 1-2 - период нормальной эксплуатации; 2-3 - период износа

Оптимальная надежность

$$C = C_0 + \sum V_i \cdot Y_i$$

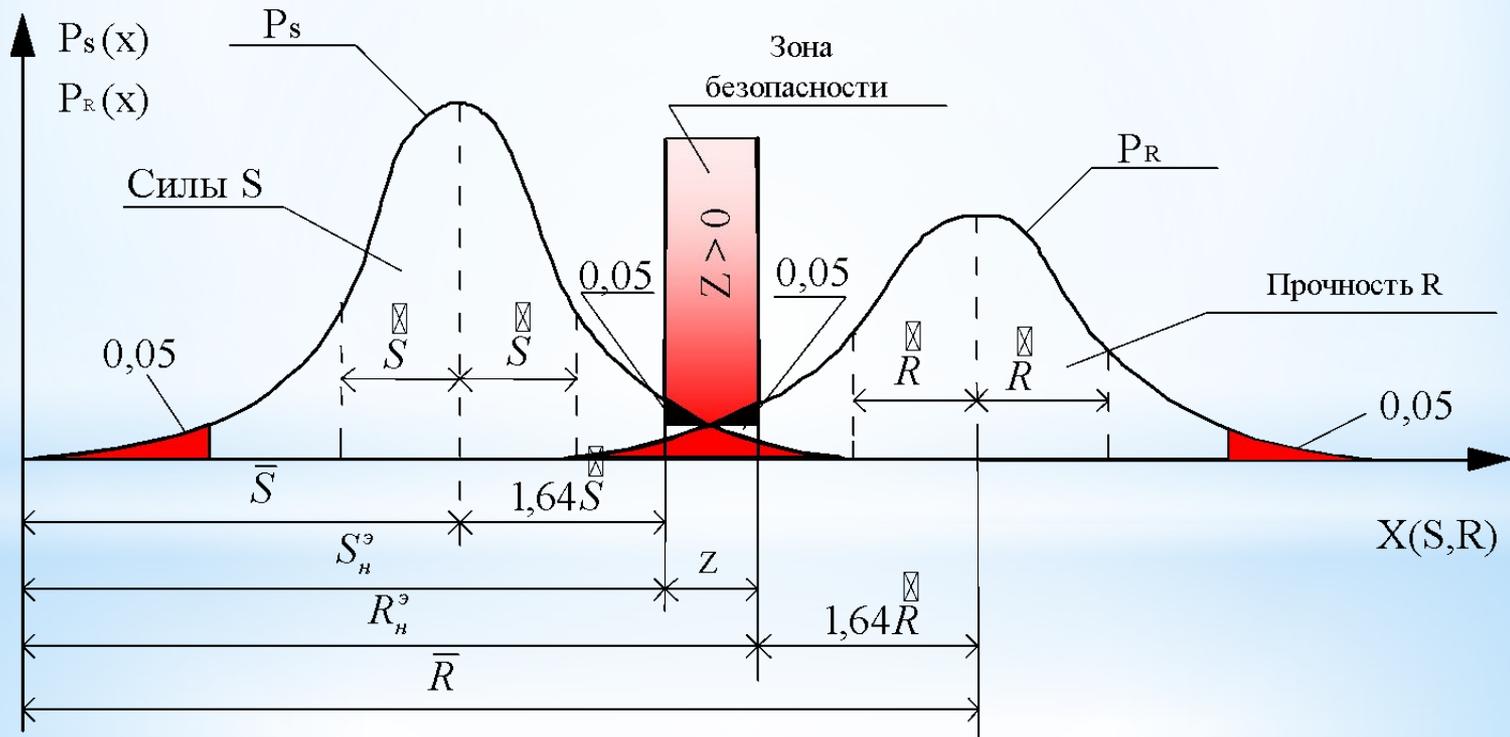
C - суммарные ожидаемые расходы на возведение сооружения и на возмещение ущерба от возможных повреждений и разрушений;
 C_0 - первоначальная стоимость возведения сооружения;
 V_i - вероятность отдельных повреждений;
 Y_i - ущерб, вызванный каждым повреждением.

Кривая плотности распределения фактических усилий N и несущей способности S здания



ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

$$R(t) = R_d - \int_0^t v_R(\tau) d\tau, \quad S(t) = S_d + \int_0^t v_s(\tau) d\tau, \quad Z = R_{\min} - S_{\max} < 0$$



Критерии техногенного риска:

1	КОЛИЧЕСТВЕННО ХАРАКТЕРИЗУЮТ ОПАСНОСТЬ
2	ОТРАЖАЮТ ЦЕЛЕВУЮ НАПРАВЛЕННОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ
3	ЧУВСТВИТЕЛЬНЫ К ИЗМЕНЕНИЮ УСЛОВИЙ
4	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ БАЗИРУЕТСЯ НА МОДЕЛЯХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ОПАСНОСТЬ И РЕАКЦИЮ ОБЪЕКТОВ НА ЭТУ ОПАСНОСТЬ
5	ОЦЕНИВАЕТСЯ ПО ДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИИ
6	ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ВЕРОЯТНОСТНЫМИ МЕТОДАМИ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА ПРОЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ РИСКА.

ОПТИМАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

$$P_f \leq P_f^{\text{зад}}$$

$$U = \Pi(T) - C_0 - \sum_{j=1}^m \int_0^T e^{-\epsilon t} \bar{U}_j(t) dt = C_0 + \sum_{j=1}^m L_j \rightarrow \max$$

$$C = C_0 + C_{\text{экспл}} \cdot P_f \rightarrow \min$$

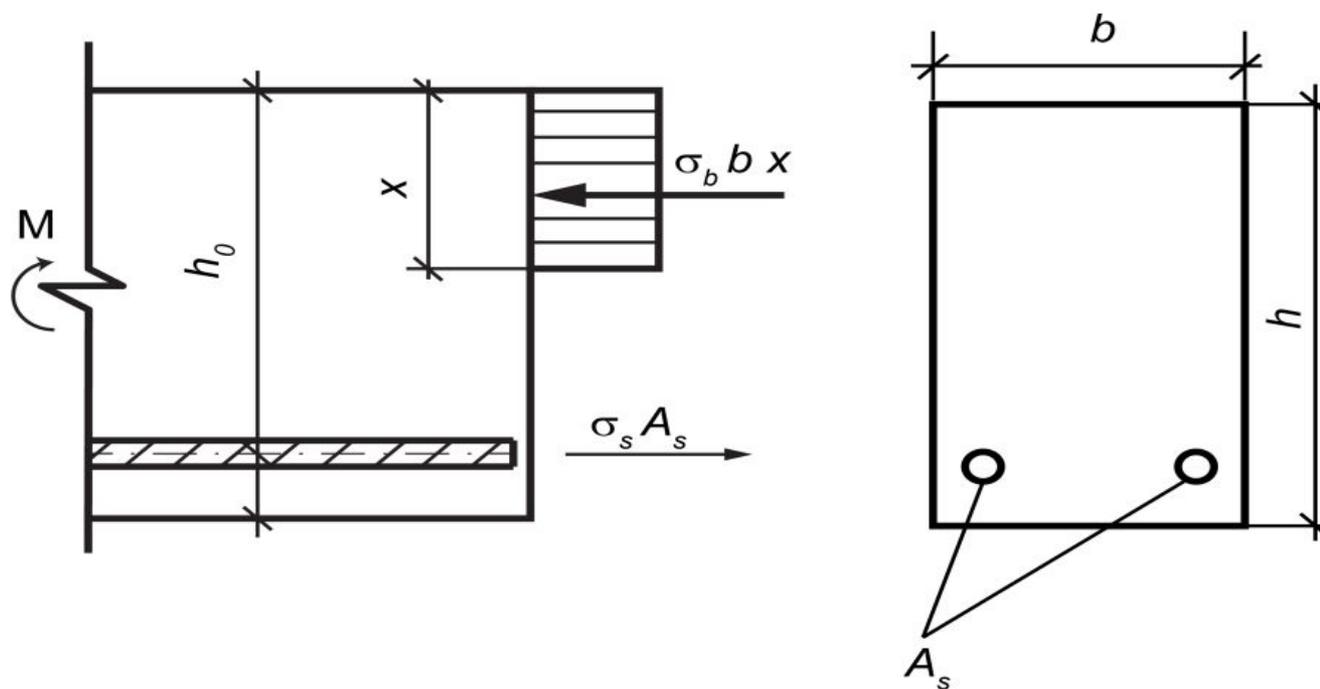
Целевая функция

$$C = C_0(1 + \alpha \cdot P_f)$$

* Коэффициент экономической ответственности конструкции.

$$\alpha = \frac{C_{\text{экспл}}}{C_0}$$

Оценка надежности изгибаемых железобетонных элементов



Железобетонный изгибаемый элемент с
одиночным армированием

Случайное значение предельного изгибающего момента

$$\tilde{M}_{ult} = f(\tilde{\sigma}_b, \tilde{\sigma}_s) = \tilde{\sigma}_s A_s (h_0 - 0,5\tilde{x}) \quad \tilde{x} = \frac{\tilde{\sigma}_s A_s}{\tilde{\sigma}_b b}$$

Математическое ожидание несущей способности:

$$\bar{M}_{ult} = \bar{\sigma}_s A_s h_0 - 0,5 \frac{(\bar{\sigma}_s A_s)^2}{\bar{\sigma}_b b}$$

Коэффициенты для стандарта предельного момента:

$$D_s = \frac{\partial M_{ult}}{\partial \sigma_s} = A_s h_0 - \frac{\sigma_s A_s^2}{\sigma_b b} = \frac{A_s}{\sigma_b b} (\sigma_b h_0 b - \sigma_s A_s)$$

$$D_b = \frac{\partial M_{ult}}{\partial \sigma_b} = \frac{0,5}{\sigma_b^2 b} (\sigma_s A_s)^2$$

Стандарт изгибающего момента

$$\hat{M}_{ult} = \sqrt{(D_b \hat{\sigma}_b)^2 + (D_s \hat{\sigma}_s)^2}$$

$$\beta = \frac{\bar{M}_{ult} - M_{cal}}{\hat{M}_{ult}} \quad \varrho(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta -\frac{\beta^2}{2} \beta$$

Пример. Балка имеет сечение размерами $b = 300$ мм, $h = 800$ мм, $a = 70$ мм; растянутая арматура А400 ($R_s = 355$ МПа); площадь её сечения $A_s = 29,45$ см² ($6\varnothing 25$); бетон класса В25 ($R_b = 14,5$ МПа); расчетный внешний изгибающий момент $M_{cal} = 650$ кНм.

По приведенным расчетным характеристикам материалов определяем их статистические характеристики:

бетон В25: $\bar{\sigma}_b = 1,282R_b = 1,282 \cdot 14,5 = 18,6$ МПа = $1,86$ кН/см²;

$\hat{\sigma}_b = 0,135 \bar{\sigma}_b = 0,135 \cdot 18,59 = 2,51$ МПа = $0,25$ кН/см²;

арматура А 400:

$\bar{\sigma}_s = 420$ МПа = $42,0$ кН/см², коэффициент вариации $v_s = 0,0833$

$\hat{\sigma}_s = 0,0833 \cdot 420 = 34,99$ МПа = $3,5$ кН/см².

$$\begin{aligned}\bar{M}_{ult} &= 42,0 \cdot 29,45 \cdot 73 - \frac{0,5}{1,86 \cdot 30} (42,0 \cdot 29,45)^2 = \\ &= 90293,7 - 13709,0 = 76584,7 \text{ kHcm} = 756,85 \text{ kHm}\end{aligned}$$

$$D_s = \frac{29,45}{1,86 \cdot 30} (1,86 \cdot 73 \cdot 30 - 42 \cdot 29,45) = 1497,0 \text{ cm}^3;$$

$$D_b = \frac{0,5}{1,86^2 \cdot 30} (42 \cdot 29,45)^2 = 7370,4 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ult} = \sqrt{(1497 \text{ kBLd})^2 + (7370,4 \cdot 0,25)^2} = 5554,06 = 55,54$$

$$\beta = \frac{765,85 - 650}{55,54} = 2,09. \quad Q(\beta) = 2,6 \cdot 10^{-2}.$$

ОЦЕНКА РИСКА ОБРУШЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

ВЕЛИЧИНА РИСКА:

$$P = P(H) \cdot P(S/H) \cdot P(T/H) \cdot P(D/H) \cdot C$$

где - $P(H)$ - вероятность возникновения опасности;
 $P(S/H)$ и $P(T/H)$ - вероятность встречи опасности с рассматриваемым объектом в пространстве и времени;

$P(D/H)$ - вероятность нанесения ущерба данного уровня разрушения, гибели людей и т.п.;

C - стоимость объекта, численность населения и другие общие показатели.

ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕР ЗАЩИТЫ

1. ПРИНЦИП ОБОСНОВАНИЯ
2. ПРИНЦИП ОПТИМИЗАЦИИ
3. ПРИНЦИП ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ
4. ПРИНЦИП ДОСТАТОЧНОСТИ
5. ПРИНЦИП ЭФФЕКТИВНОСТИ
6. ПРИНЦИП ОПРАВДАННОГО РИСКА

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

$$\eta_{\min} = \frac{C}{Q_0(\Delta t) - Q_0'(\Delta t)}$$

МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ

1. Принцип обоснования.

$W'(\Delta t) + C < W(\Delta t)$ или $\Delta M[W, \Delta t] - C > 0$,
где $\Delta M[W, \Delta t] = W(\Delta t) - W'(\Delta t)$ -
математическое ожидание
предотвращённого
благодаря приятным мерам защиты
ущерба ;
C - затраты на реализацию мер защиты,
 $W'(\Delta t)$ - потери в случае реализации мер
защиты.

2. Принцип оптимизации.

$$\Phi_{\max} = \Delta M[W, \Delta t,] / C,$$

где $\Delta M[W, \Delta t] = W(\Delta t) - W'(\Delta t)$.

3. Принцип избирательности.

$$\left. \frac{\partial M[W, \Delta t]}{\partial C} \right|_j \rightarrow \min.$$

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ

- 1) **Планирование управления рисками - выбор подходов и планирование деятельности по управлению рисками проекта.**
- 2) **Идентификация рисков - определение рисков, способных повлиять на проект, и документирование их характеристик.**
- 3) **Количественная оценка - количественный анализ вероятности возникновения и влияния последствий рисков на проект.**
- 4) **Мониторинг рисков -выявление и определение остающихся рисков.**

**Спасибо
за внимание!**

E-mail: gbk@mgsu.ru