*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:

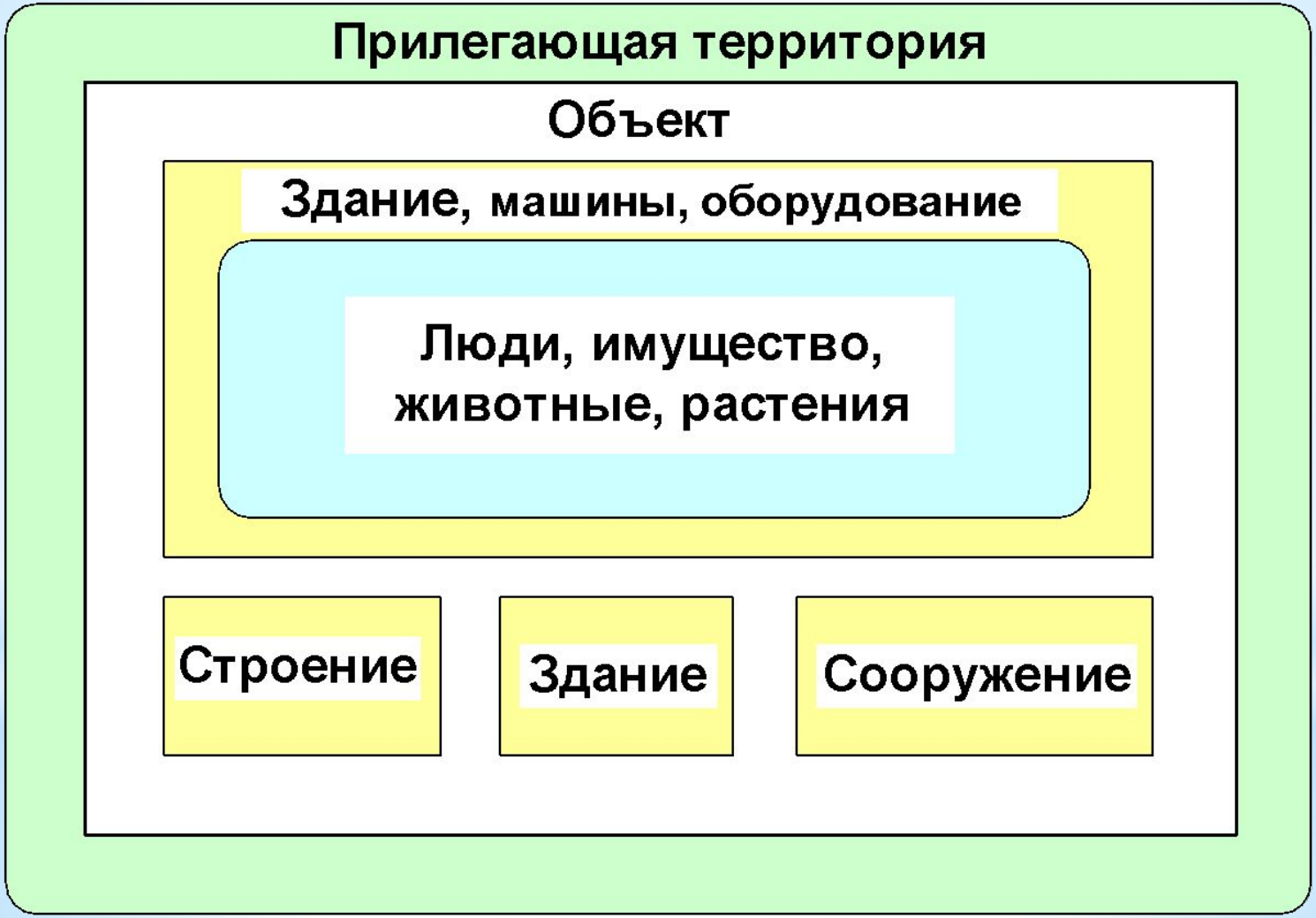
в период строительства - 48%;
построено, но не сдано в эксплуатацию -20%;
в период эксплуатации - 29%
(в том числе до 1 года - 12%;
до 15 лет - 7%; >15 лет - 10%);
после ремонта - 3%.

По видам конструкций:

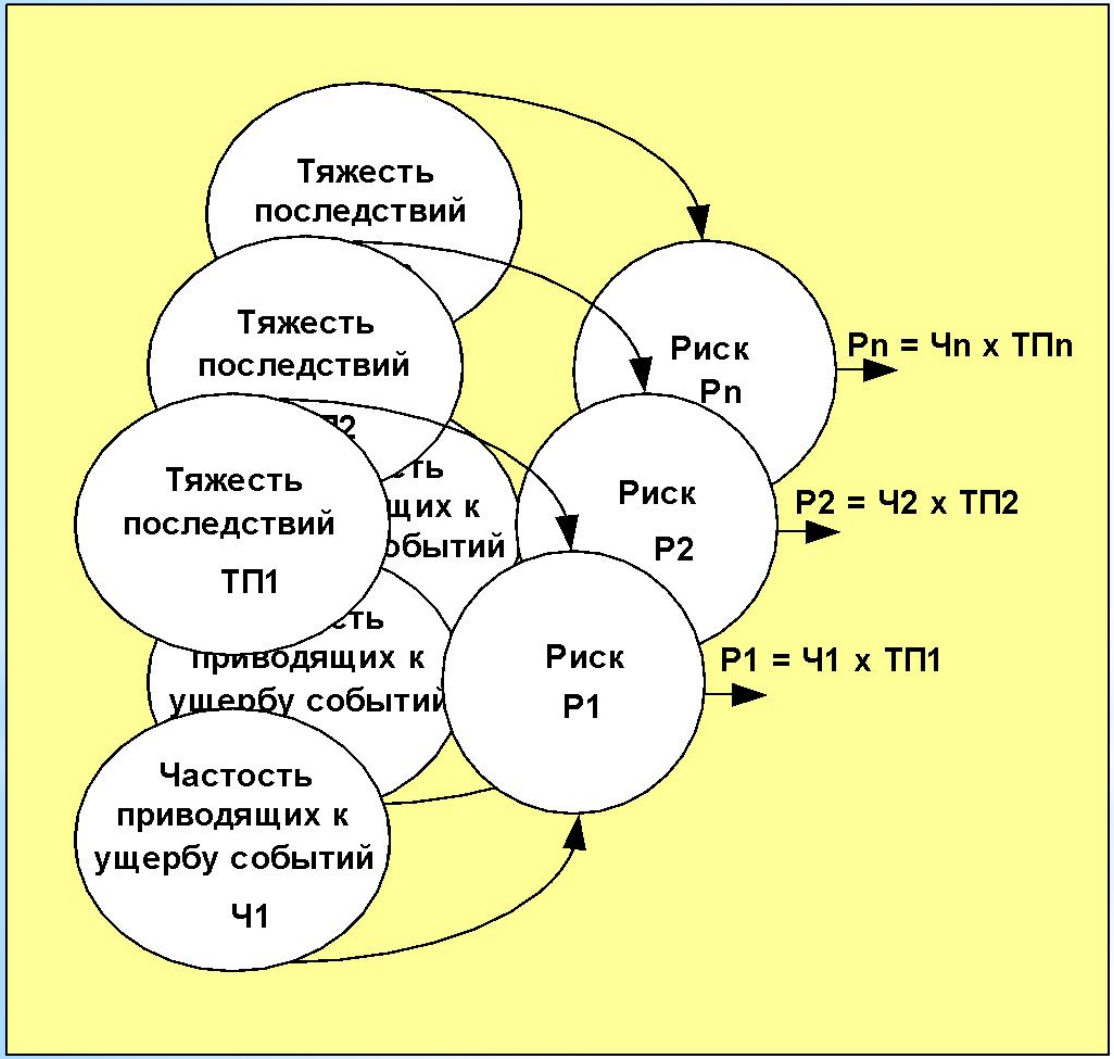
основания - 3%;
стальные - 6%;
деревянные - 7%;
железобетонные - 17%;
кирпичные - 18%;
сочетания различных конструкций - 49%.

Источники опасностей

Объект Защиты



Комплексная функциональная безопасность

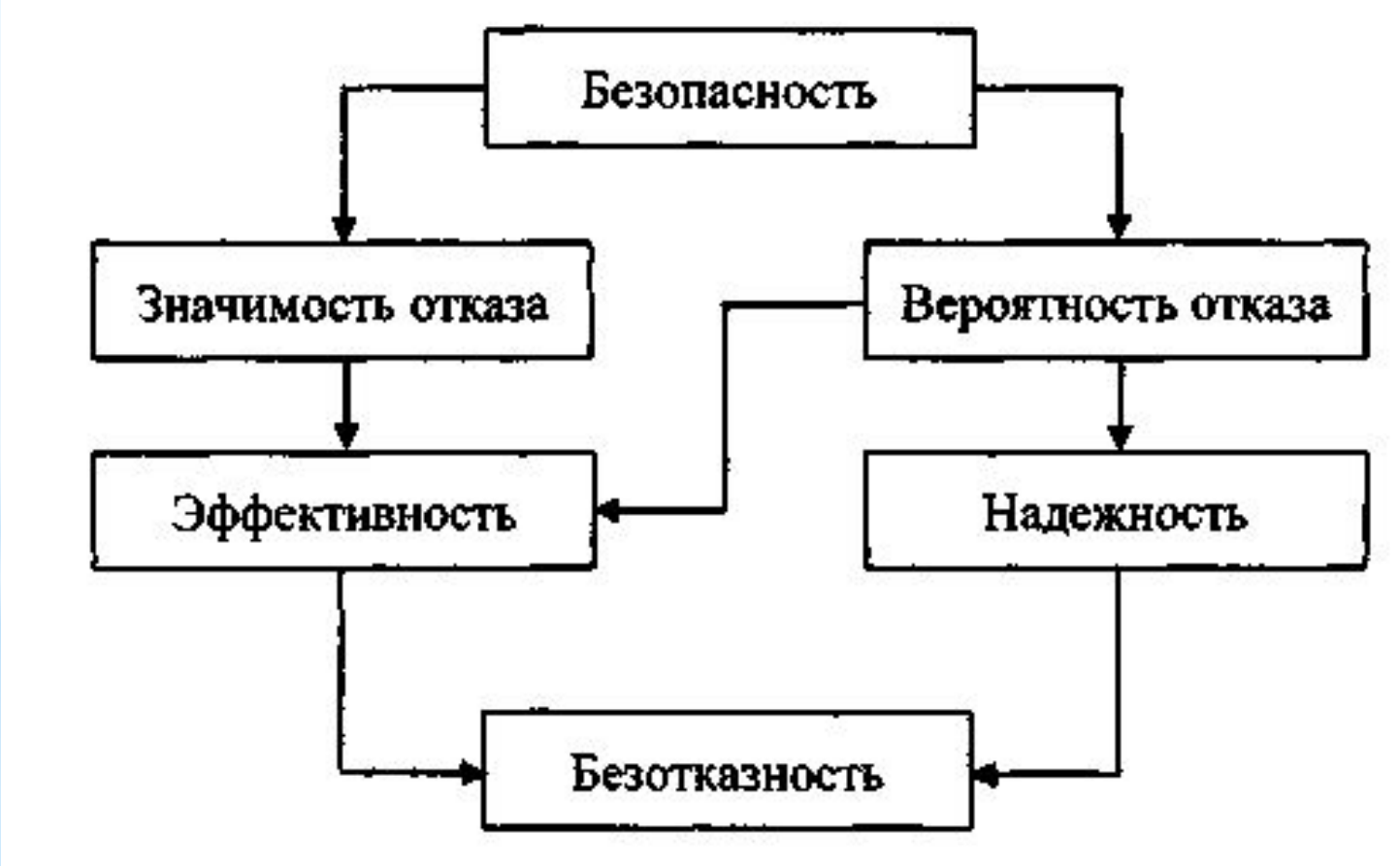


Оценка комплексной безопасности объекта осуществляется на основе анализа рисков и *общей оценки риска* нанесения вреда от совокупности негативных событий.

Вероятности ошибок

Событие	Вероятность события	
	Западная Европа	Россия
A - ошибка архитектора	0,10	Не исследовано
B - ошибка проектировщика	0,40	0,15...0,20
C - ошибка производителя работ	0,50	0,50...0,60
D - ошибка контролирующего лица	0,10	Не исследовано
E - ошибка при эксплуатации	0,02	Около 0,05
G - перегрузка	0,02	0,05...0,10
M - слабый материал	0,02	Около 0,20

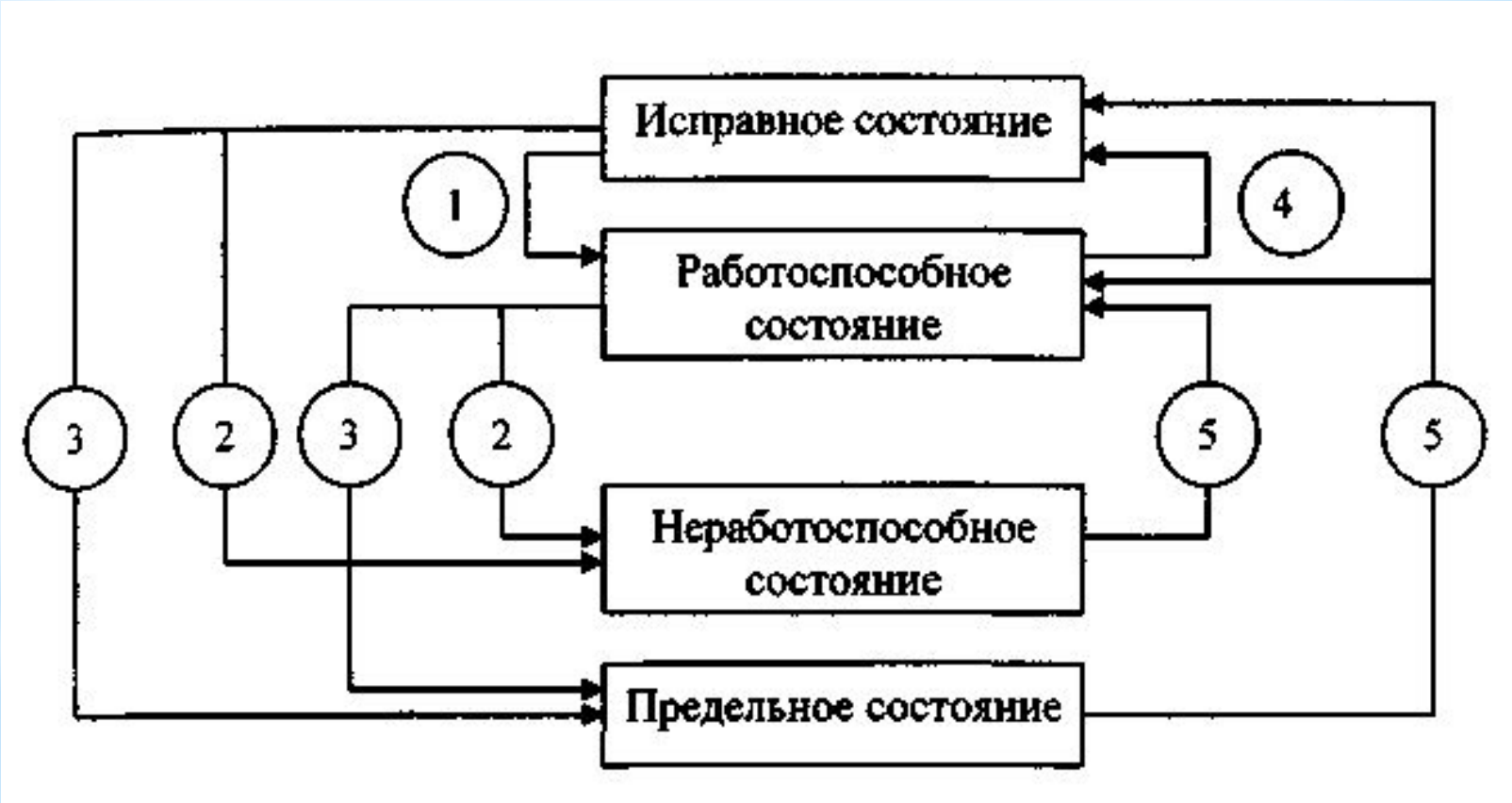
Взаимосвязь понятий эффективности, безопасности, надежности и безотказности



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. Недостатки те же, что у метода 4.
6. Анализ опасностей и работоспособности	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 $Q_{\max} \le R_{\min}$

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

$R\left(q_{1,} q_{2,} \ldots q_m\right)$ обобщенная прочность конструкции;

$Q\left(q_{m+1,} q_{m+2}, .., q_n\right)$ обобщенная нагрузка.

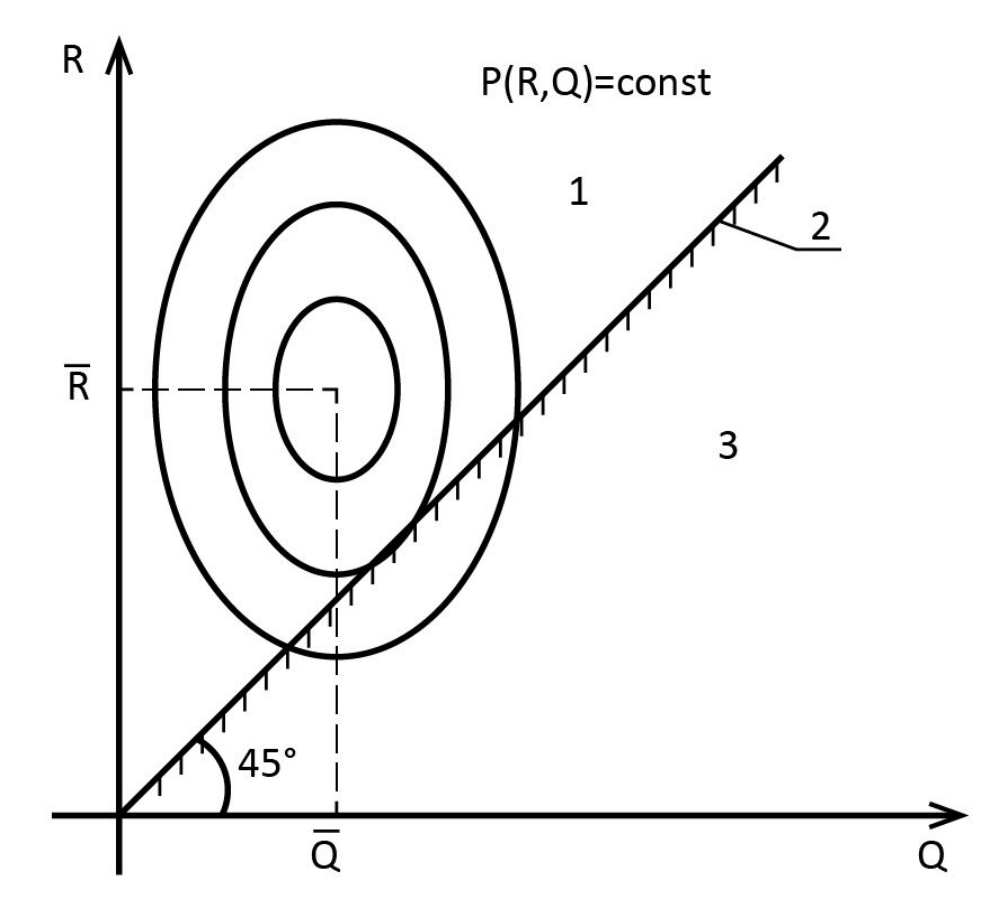
Резерв прочности

$$S = R - Q$$

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 отказав

Характеристика безопасности

$$\beta = \frac{\overline{S}}{\overline{\sigma}_s} = \frac{\overline{R} - \overline{Q}}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_q^2}}.$$

Если R и Q подчиняются нормальному закону распределения

Вероятность разрушения

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

где Ф(β) функция Лапласа

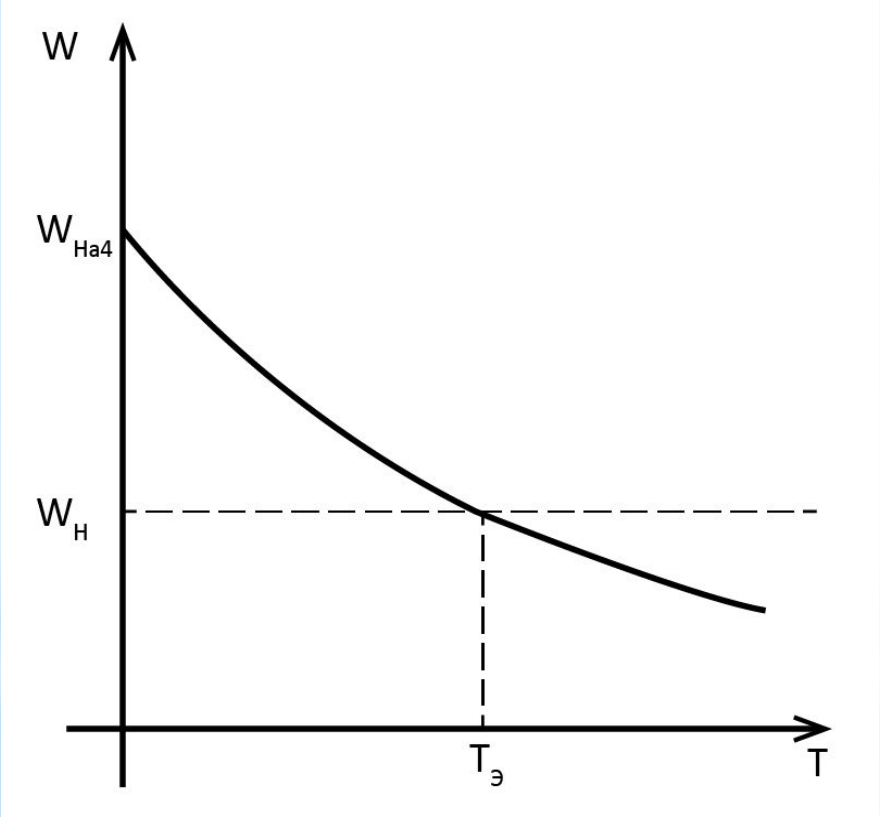
$$\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\beta} exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du.$$

Нормирование надежности

Индекс надежности β	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

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

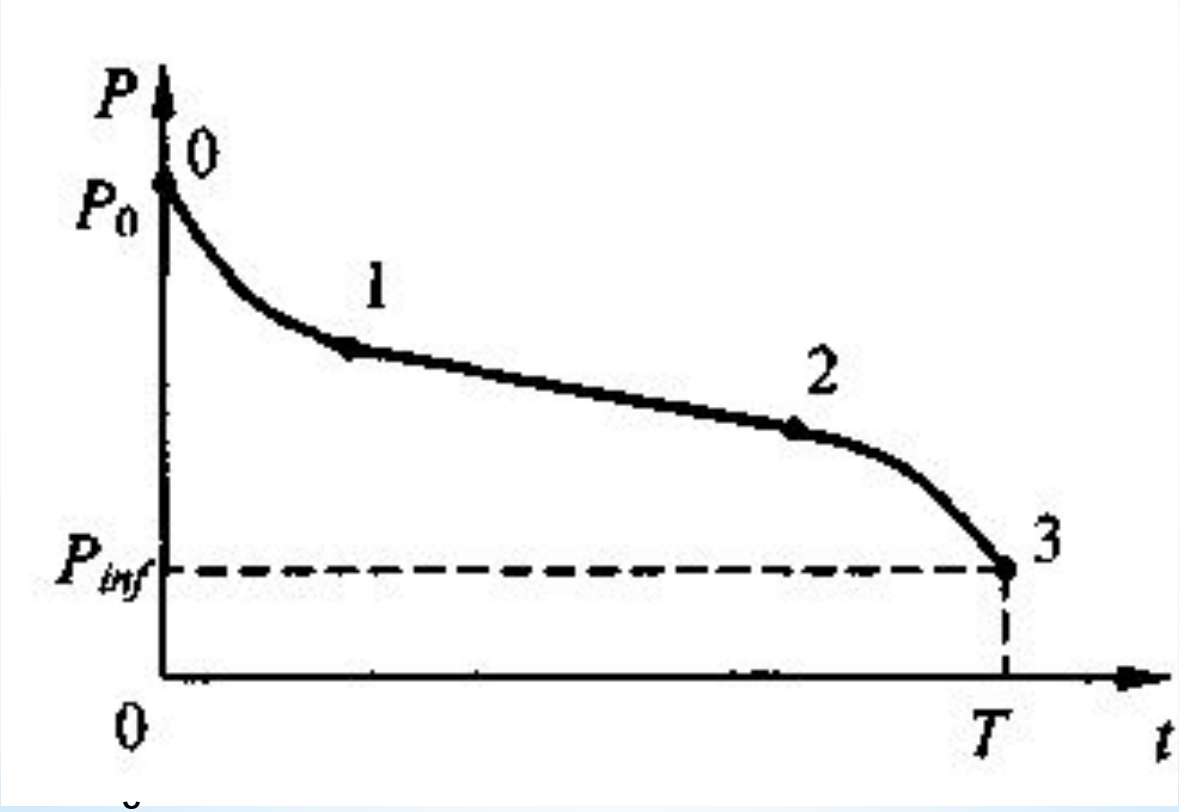


$$\tilde{S}(t) = \tilde{R}(t) - \tilde{Q}(t) \geq 0,$$

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

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

Эволюция надежности:



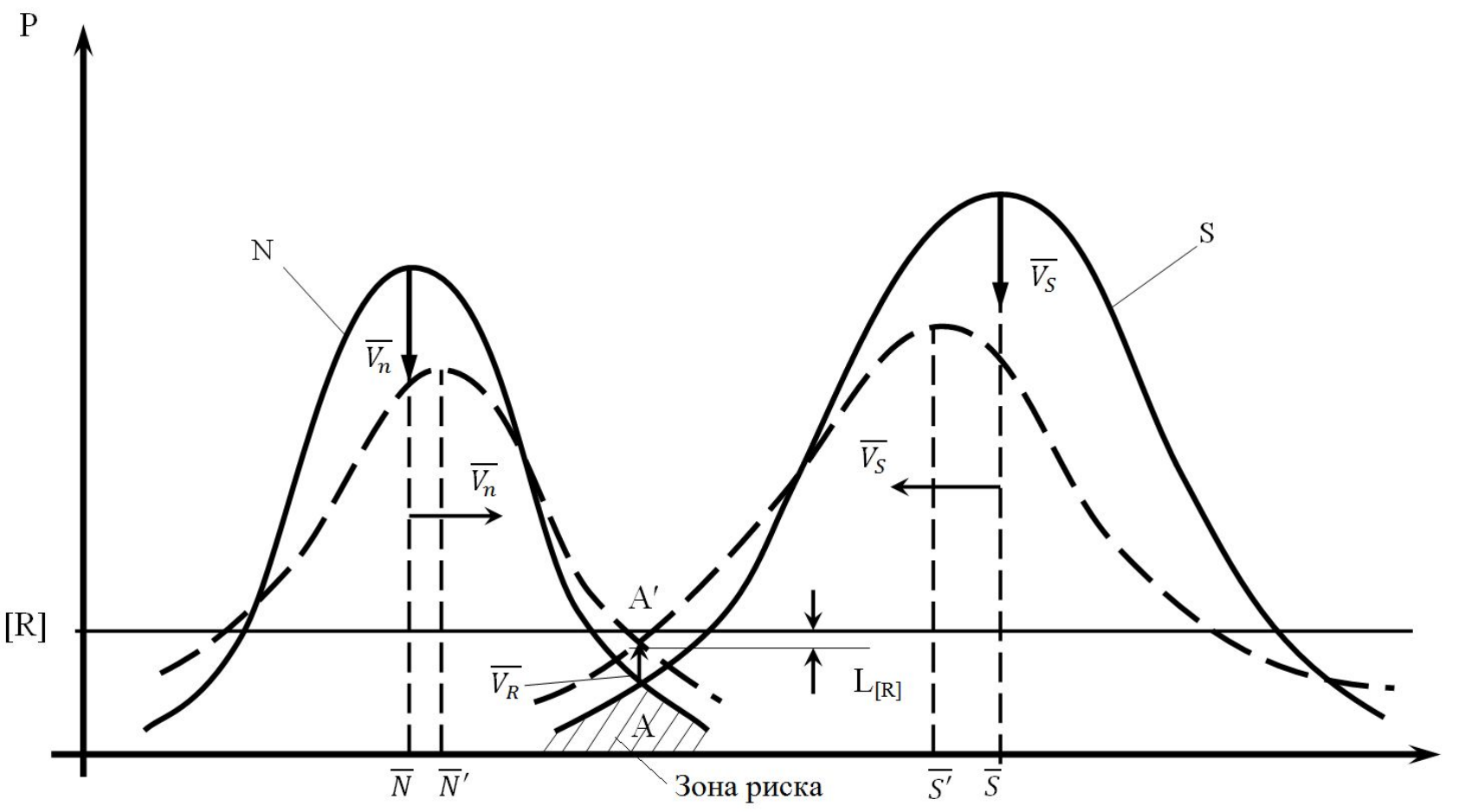
P_0 - начальный уровень надежности;
P_{inf} - предельный уровень надежности;
T - срок службы; 0-1 - период приработки; 1-2 - период нормальной эксплуатации; 2-3 - период износа

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;
Co - первоначальная стоимость возведения сооружения;
V_i - вероятность отдельных повреждений;
Yi - ущерб, вызванный каждым повреждением.

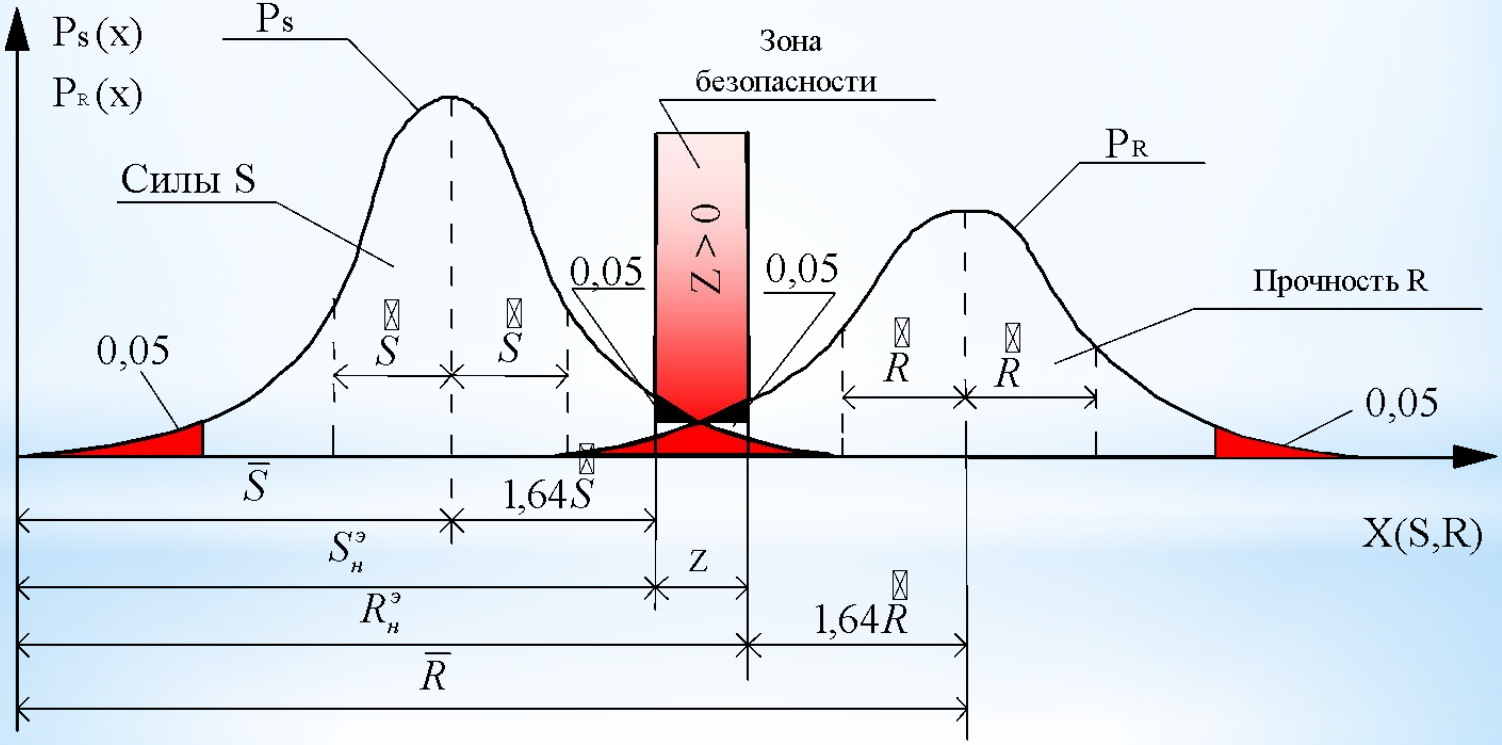
Кривая плотности распределения фактических усилий N и несущей способности S здания



ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

$$R(t) = R_d - \int_0^t \nu_R(\tau)d\tau, \qquad S(t) = S_d + \int_0^t \nu_s(\tau)d\tau,$$

$$Z = R_{min} - S_{max} < 0$$



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

$$P_f \leq P_f^{зад}$$

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

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

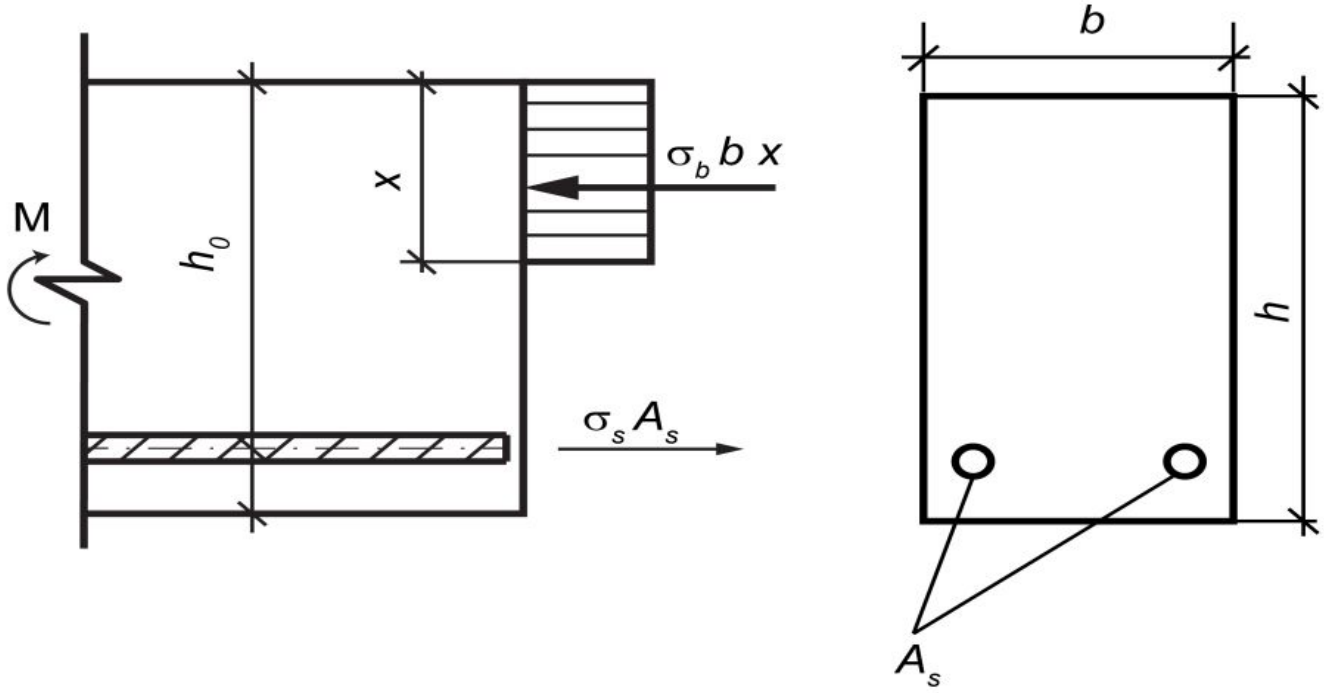
Целевая функция

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

*Коэффициент экономической ответственности конструкции.

$$\alpha = \frac{C_{экспл}}{C_0}$$

Оценка надежности изгибаемых железобетонных элементов



Железобетонный изгибаемый элемент с одиночным армированием

Случайное значение предельного изгибающего момента

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

Математическое ожидание несущей способности:

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

Коэффициенты для стандарта предельного момента:

$$D_s = \frac{\partial M_{ult}}{\partial \sigma_s} = A_s h_0 - \frac{\sigma_s A_s^2}{\sigma_b b} = \frac{A_s}{\sigma_b b}\left(\sigma_b h_0 b - \sigma_s A_s\right) \qquad D_b = \frac{\partial M_{ult}}{\partial \sigma_b} = \frac{0{,}5}{\sigma_b^2 b}\left(\sigma_s A_s\right)^2$$

Стандарт изгибающего момента

$$\hat{M}_{ult} = \sqrt{\left(D_b \hat{\sigma}_b\right)^2 + \left(D_s \hat{\sigma}_s\right)^2} \qquad \beta = \frac{\overline{M}_{ult} - M_{cal}}{\hat{M}_{ult}} \qquad Q(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^{\beta} e^{-\frac{\beta^2}{2}} d\beta$$

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 см^2 (6∅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 = 1,282·14,5 = 18,6 МПа = 1,86 кН/см^2;**

$\hat{\sigma}_b$ = 0,135 $\bar{\sigma}_b$ **= 0,135·18,59 = 2,51 МПа = 0,25 кН/см^2;**

арматура А 400:

$\bar{\sigma}_s$ **= 420 МПа = 42,0 кН/см^2, коэффициент вариации ν_s = 0,0833**

$\hat{\sigma}_s$ **= 0,0833·420 = 34,99МПа = 3,5 кН/см^2.**

$$\overline{M}_{ult} = 42{,}0 \cdot 29{,}45 \cdot 73 - \frac{0{,}5}{1{,}86 \cdot 30}\left(42{,}0 \cdot 29{,}45\right)^2 =$$

$$= 90293{,}7 - 13709{,}0 = 76584{,}7 kHсм = 756{,}85 кНм$$

$$D_S = \frac{29{,}45}{1{,}86 \cdot 30}\left(1{,}86 \cdot 73 \cdot 30 - 42 \cdot 29{,}45\right) = 1497{,}0\, см^3;$$

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

$$\overline{M}_{ult} = \sqrt{\left(1497 \cdot 0{,}5\right)^2 + \left(7370{,}4 \cdot 0{,}25\right)^2} = 5554{,}06 \qquad = 55{,}54$$

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

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.*

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

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