

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КОНСТРУИРОВАНИИ. ЛЕКЦИЯ 12

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СТАТИСТИЧЕСКАЯ
ПРИРОДА

Прочность любого здания зависит, прежде всего, от прочностных параметров используемых материалов. Одна из важнейших технических задач - изучение прочностных свойств материалов и определение их характеристик, используемых для расчета конструкций.

Прочностные свойства материалов зависят от многих факторов: состава (химического, минералогического, гранулометрического и т. п.), технологии изготовления, однородности структуры, степени контроля качества, вида напряженного состояния, условий испытаний и т.д. Вместе с тем механические свойства материалов в той или иной степени изменчивы даже при неукоснительном соблюдении одних и тех же условий изготовления и испытания.

Добиться полной стабильности (неизменяемости) какого-либо свойства практически невозможно: при отработанной технологии изготовления уменьшение разброса свойств на 1–2% приводит к существенному увеличению расходов – в несколько раз. Поэтому изменчивость свойств материалов можно рассматривать как совокупность случайных событий, к которым вполне применимы методы математической статистики и теории вероятности. Эти методы широко применяют при назначении нормируемых параметров, при оценке степени надежности расчетных характеристик и т.п.

В процессе изучения свойств материалов или при выборочном контроле на производстве получают совокупность опытных значений прочностного показателя R (предела текучести стали, кубковой прочности бетона, временного сопротивления древесины и т.д.) с целью накопления информации об изучаемом или контролируемом свойстве. Для достоверности такой информации проводят сотни и тысячи испытаний в течение длительного периода времени. Полученную совокупность результатов подвергают статистической обработке.

С целью придания большей наглядности и компактности результаты испытаний подвергают первичной обработке – строят так называемый "статистический ряд". Для этого весь диапазон конкретных результатов разделяют на интервалы или "разряды" и определяют количество значений, которое приходится на каждый i -й разряд. Затем составляют таблицу, в которой приводят границы интервалов в порядке их возрастания и соответствующие количества n результатов данного интеграла. Такая таблица получила название "статистический ряд".

Статистический ряд кубиковой прочности бетона

Границы интервалов кубиковой прочности бетона, МПа	Количество образцов, п.
29,5-30,5	1
30,5-31,5	2
31,5-32,5	4
32,5-33,5	7
33,5-34,5	9
34,5-35,5	13
35,5-36,5	18
36,5-37,5	23
37,5-38,5	31
38,5-39,5	38
39,5-40,5	48
40,5-41,5	45
41,5-42,5	39
42,5-43,5	30
43,5-44,5	26
44,5-45,5	19
45,5-46,5	13
46,5-47,5	11
47,5-48,5	7
48,5-49,5	4
49,5-50,5	2
Всего образцов $n = \sum n_i$	390

Графическое построение статистического ряда получило наименование "гистограмма". На графике по оси абсцисс откладывают интервалы прочностного показателя по оси ординат – количество результатов в данном разряде.

49,5–50,5	2
Всего образцов $n = \sum n_i$	390

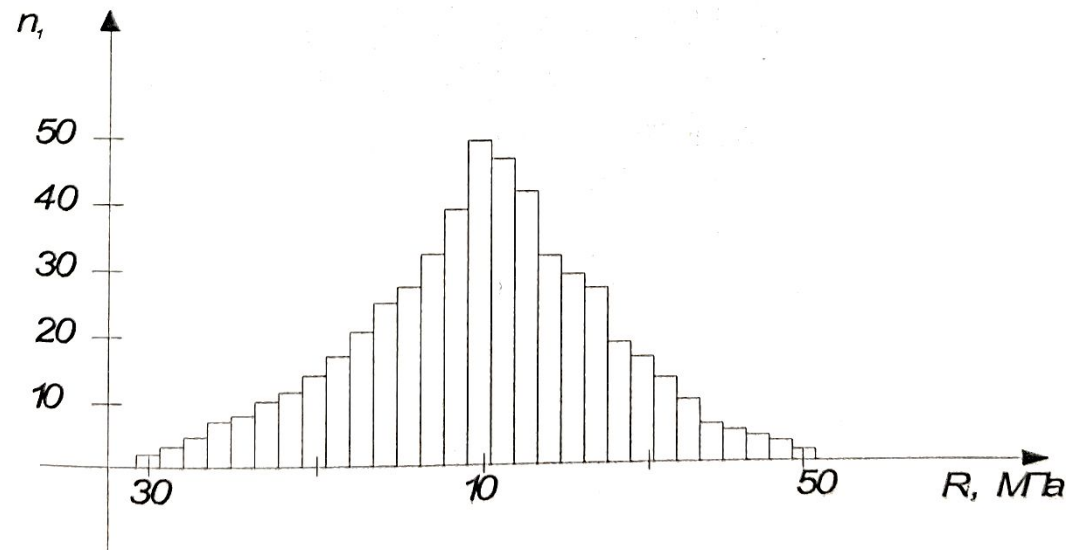


Рис. 9.1. Гистограмма кубиковой прочности бетона

Площадь гистограммы представляет собой общее количество результатов и в определенной шкале. Гистограмма дает четкую картину разброса результатов или (что более точно) распределения данного прочностного показателя.

Если количество испытанных образцов или результатов испытаний* достаточно велико (порядка десятков тысяч результатов), то гистограмма может принимать вид непрерывной кривой распределения. Для ее описания чаще всего используют закон нормального распределения или кривую распределения Гаусса. Закон нормального распределения весьма объективно отражает действительное распределение прочностей и очень полезен при изучении прочностных характеристик материалов.

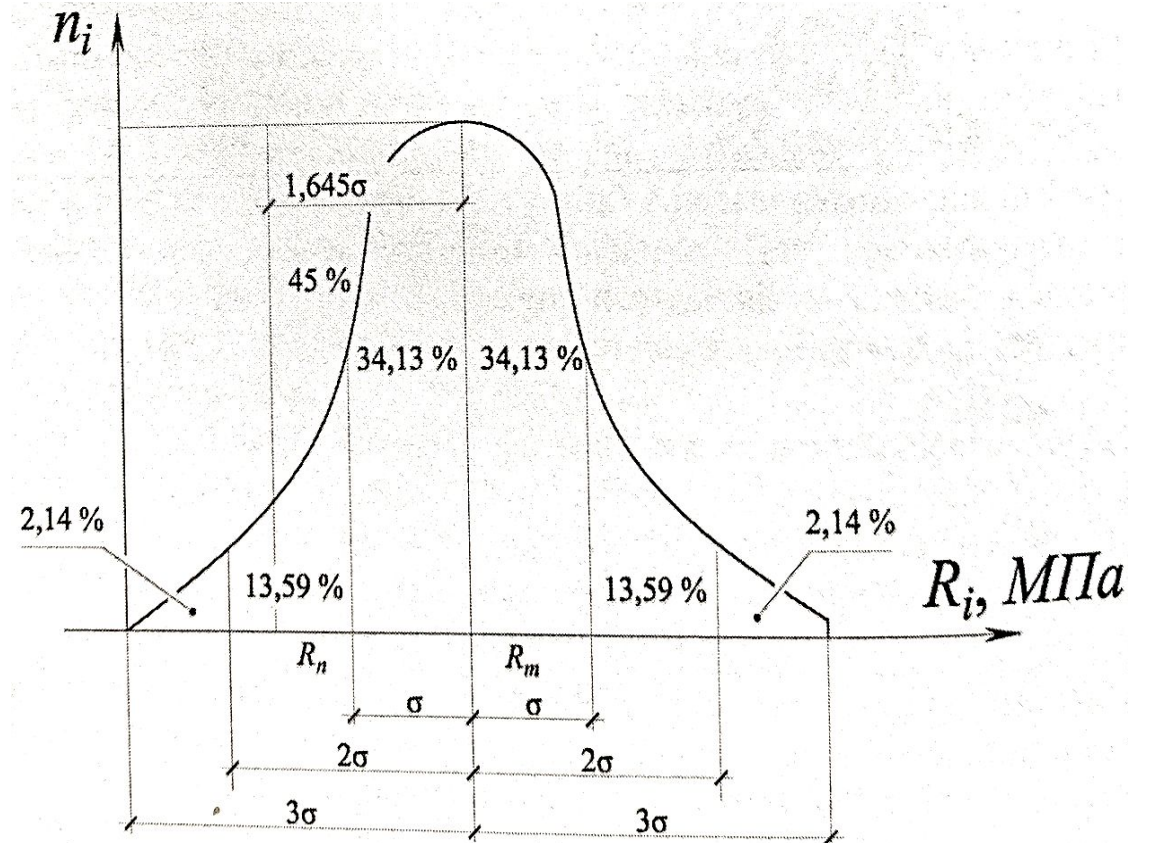
Уравнение кривой распределения Гаусса имеет вид:

$$n_i = \frac{n \cdot \Delta R_i}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{R_i - R_m}{2a^2} \right]$$

n – общее количество результатов; n_i – количество результатов в интервале ; ΔR_i , R_m – среднее значение прочностного показателя (среднее арифметическое по всем испытанным образцам); σ – среднее квадратическое отклонение, a – параметр распределения; R_i – наблюдаемое значение расчетного сопротивления.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum n_i (R_i - R_m)^2}{n - 1}}$$

Кривая нормального распределения симметрична относительно среднего R_m и бесконечна к плюсу и к минусу. Площадь под кривой между определенными значениями прочности, измеряемыми стандартными отклонениями как и на гистограмме, представляет собой количество результатов, размещившихся в данном интервале. Так, интервал прочности $R_m \pm \sigma$ включает 68,26% всех результатов испытаний, интервал $R_m \pm 2\sigma$ - 95,44%, а интервал $R_m \pm 3\sigma$ - 99,72% всего объема испытаний.



Во многих случаях необходимо знать количество стандартов χ , при котором интервал $R_m \pm \chi\sigma$ содержит 90% результатов. Такому объему результатов соответствует $\chi = 1,645$. Следует отметить, что за пределами указанных 90% остаются как более высокие значения прочности, так и более низкие. Очевидно, что и те, и другие составляют по 5%. Обычно при нормировании прочностных характеристик принимают во внимание только те значения R_i , которые расположены ниже границы, соответствующей прочности $(R - \chi\sigma)$. Поэтому при необходимости учета 95% всех результатов, включающих значения не ниже величины $(R - \chi\sigma)$ в нормах проектирования широко используют число стандартов $= 1,645$ или его округленное значение (1,64 или 1,65). В таких случаях говорят, что обеспеченность данного показателя составляет 0,95 или 95%.

Рассматривая прочностные свойства материалов, считают событие практически невероятным, если оно происходит три раза и реже на тысячу случаев. Поэтому величина:

$$R_{\min} = R_m \cdot 3\sigma$$

представляет собой практически возможный предел снижения прочностного параметра. Вместо стандартного отклонения часто используют его относительную величину – коэффициент вариации (коэффициент изменчивости):

$$v = \frac{\sigma}{R_m}$$

В качестве нормируемых прочностных характеристик материалов приняты нормативные и расчетные сопротивления. **Нормативное сопротивление материала** – предельное (минимально допустимое) напряжение, которое воспринимает данный материал, с обеспеченностью 95%.

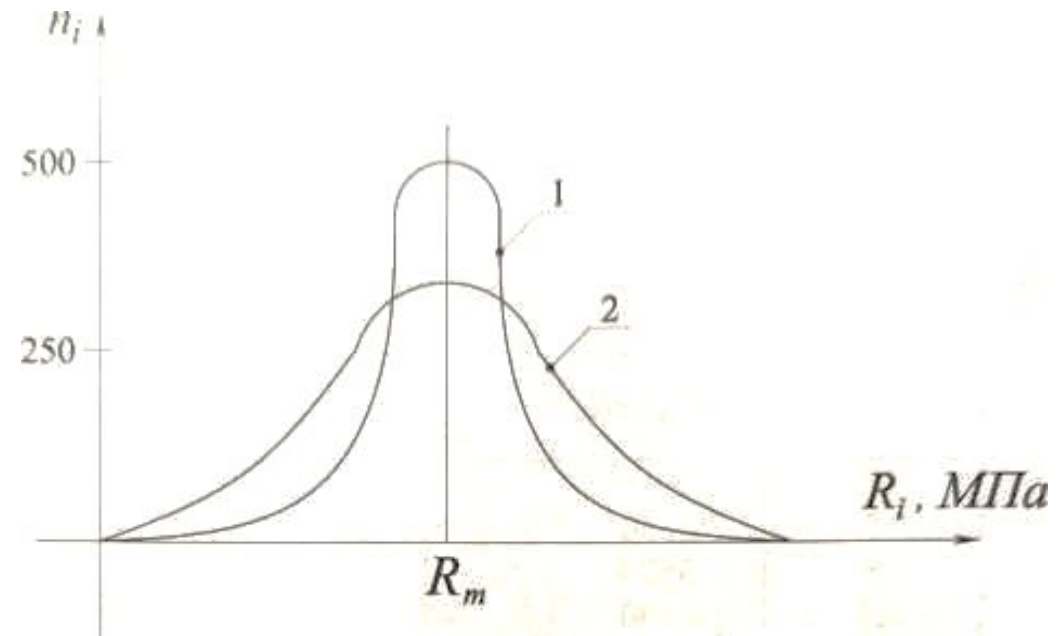
Расчетное сопротивление материала – предельное (минимально допустимое) напряжение, которое выдерживает данный материал с обеспеченностью 99,7% (при расчете по предельным состояниям первой группы) или 95% (при расчете по предельным состояниям второй группы).

Для перехода от нормативных к расчетным сопротивлениям нормы проектирования вводят коэффициенты надежности по материалу γ_m как отношение нормативного сопротивления R_n к расчетному R . С другой стороны, выразив величины R_n , и R через среднюю прочность получим зависимость для вычисления коэффициента γ_m :

$$\gamma_m = \frac{1 - 1,645\nu}{1 - 3\nu}$$

Из теории вероятности известно, что в зависимости от степени изменчивости свойств кривая распределения может принимать различный вид. Материалы с высокой стабильностью свойств обладают малой изменчивостью, и для них кривая распределения - крутая и высокая - 1; материалы с менее стабильными свойствами имеют повышенные значения коэффициента изменчивости v , а кривая распределения будет пологой и низкой - 2.

Коэффициент вариации, v	Коэффициент надежности по материалу, γ_m	Коэффициент вариации, v	Коэффициент надежности по материалу, γ_m
0,01	1,014	0,10	1,194
0,0175	1,025	0,12	1,254
0,03	1,045	0,135	1,307
0,04	1,062	0,15	1,370
0,05	1,080	0,18	1,530
0,06	1,099	0,20	1,678
0,07	1,120	0,15	2,355
0,08	1,143	0,30	5,065



Стабильность прочностных параметров зависит от многих факторов; одним из важнейших является степень контроля по технологическим переделам. Опытным путем установлена взаимосвязь между степенью контроля и изменчивостью кубиковой прочности обычного тяжелого бетона.

Значения коэффициентов вариации прочности бетона при различной степени контроля (по Уокеру)

Степень контроля	Коэффициент Вариации v , %
1. Сверхотличная, достижимая только в хорошо контролируемых лабораторных испытаниях НИИ	5
2. Отличная, достигаемая в контрольных испытаниях НИИ	10
3. Отличная в производственных условиях	12
4. Хорошая в производственных условиях	15
5. Удовлетворительная в производственных условиях	18
6. Не в полнее удовлетворительная	20
7. Плохая	25

В производственных условиях желательно достигать отличной степени контроля, во всяком случае – не ниже хорошей, иначе при одних и тех же расходах материалов возрастает разброс показателей прочности и как следствие – снижение нормативных и расчетных сопротивлений бетона. В связи с этим для бетона в нормах принят коэффициент вариации, средний между отличной и хорошей степенями контроля, т.е. $v = 0,135$.

Соответственно коэффициент надежности по бетону при сжатии γ_{bc} принят равным 1,3.

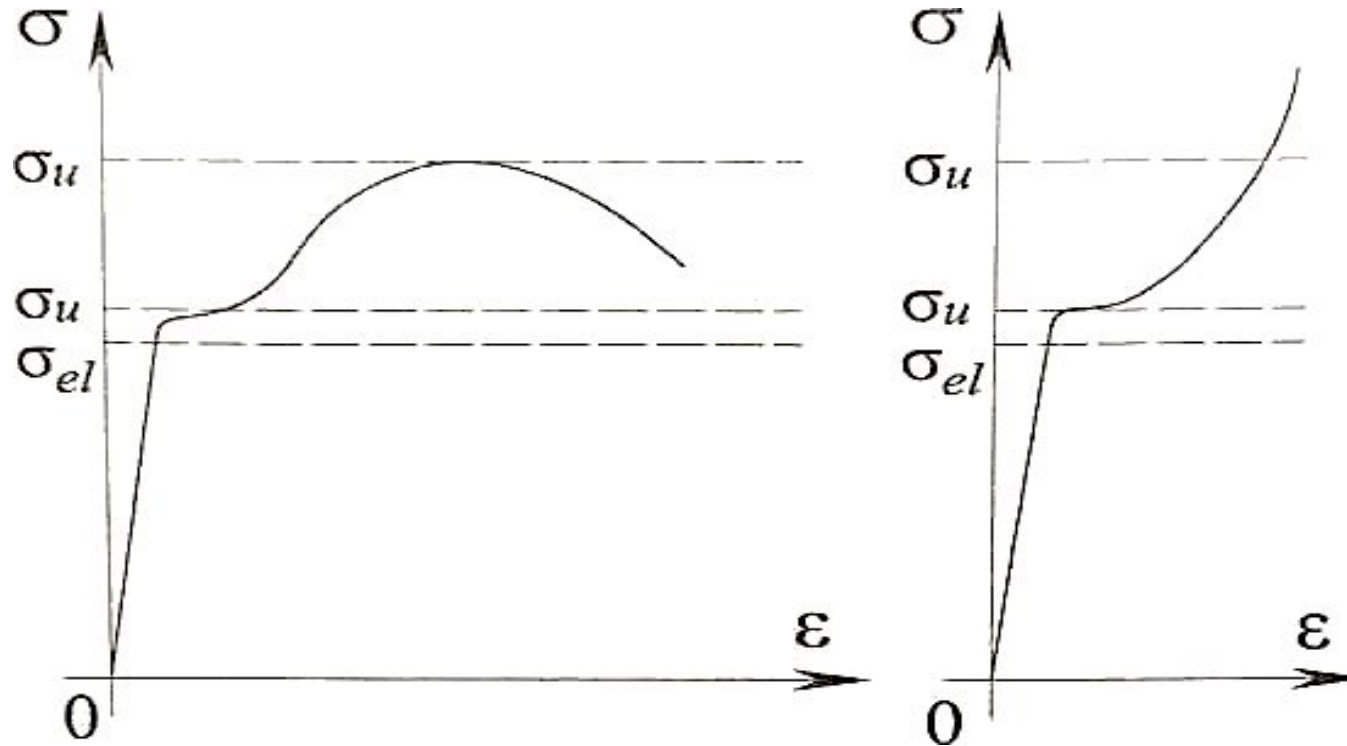
Для металла однородность структуры и стабильность прочностных показателей значительно выше, чем для бетона. Коэффициенты вариаций предела текучести колеблются от 0,017 до 0,1 в зависимости от марок стали. Поэтому и коэффициенты надежности по металлу изменяются от 1,025 до 1,05 для наиболее распространенных марок стали и от 1,1 до 1,15 – для сталей повышенной прочности.



Аналогичное положение и для арматурных сталей: коэффициенты надежности по арматуре приняты равными от 1,05 до 1,1 для менее прочных сталей и от 1,15 до 1,2 - для высокопрочных сталей. Для древесины (пиломатериалов) коэффициенты надежности по материалу принимают равными от 1,11 до 1,6 в зависимости от различных факторов.

Необходимо подчеркнуть, что нормативное сопротивление прочностной характеристики можно установить только в том случае, когда по данной характеристике материала производят приемочный контроль или сортировку. Для каждого конкретного материала таких характеристик не так уж и много.

Так для стального проката осуществляют приемочный контроль предела текучести (физического или условного) при растяжении и временного сопротивления – при разрыве. Поскольку при сжатии диаграмма деформирования стали существенно отличается от диаграммы при растяжении, то для сжатых образцов с уверенностью можно говорить о пределе текучести; величину временного сопротивления при сжатии установить практически невозможно.



Диаграммы деформирования малоуглеродистой стали:
при растяжении (слева); при сжатии (справа)

Для каменных материалов, таких как бетон, раствор, природные или искусственные камни, основной прочностной характеристикой установлена прочность при сжатии призматических образцов (призменная или кубиковая прочность), контролируемая в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Таким образом, нормативные и расчетные сопротивления для определенного материала установлены лишь по ограниченному количеству напряженных состояний. Ниже приведен их перечень для основных конструктивных строительных материалов.

Для каменных материалов, таких как бетон, раствор, природные или искусственные камни, основной прочностной характеристикой установлена прочность при сжатии призматических образцов (призменная или кубиковая прочность), контролируемая в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Таким образом, нормативные и расчетные сопротивления для определенного материала установлены лишь по ограниченному количеству напряженных состояний. Ниже приведен их перечень для основных конструктивных строительных материалов.

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**