

5 лекция

**Расчет
строительных конструкций.**

Задачи теории сопротивления железобетона.

Стадии напряженно-деформированного состояния

Методы расчета строительных конструкций

Задачи теории сопротивления железобетона.

Теория железобетона является частью механики твердого тела, изучающей

железобетон

-как сложный комплексный анизотропный упруго-пластично-ползучий материал,

составленный из двух различных по своим прочностным и деформативным характеристикам материалов,

(бетон и стальная арматура),

воспринимающих силовые и несиловые воздействия

-как одно монолитное целое

Главная задача теории железобетона

1. Изучение и оценка напряженно-деформированного состояния ЖБК,
2. Представление научно обоснованных средств для проектирования долговечных, надежных и экономичных ЖБК

Теория железобетона развивается как прикладная наука, обобщая экспериментальные исследования и достижения практики строительства.

Практическим выходом теории железобетона – это периодически переиздаваемые ***строительные нормы и правила*** (СНиП)

Стадии напряженно-деформированного состояния

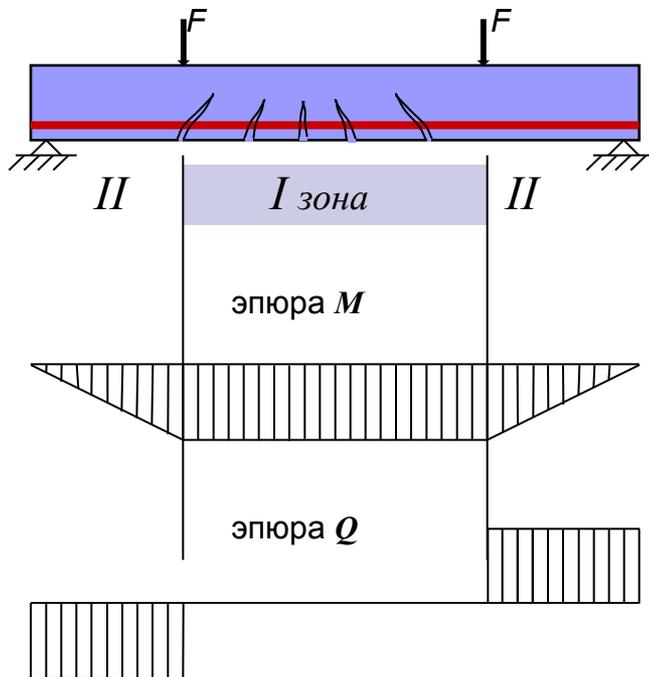


Рисунок-1

При изгибе, центральном и внецентренном растяжении, внецентренном сжатии с двузначной эпюрой напряжений, когда внешняя нагрузка возрастает от нуля до разрушающей, в опасной зоне по длине элементов последовательно наблюдают **три характерные стадии напряженно-деформированного состояния (НДС)**, отличающиеся между собой как в количественном, так и в качественном отношении

Для того чтобы понять особенность работы ж. б. элементов и характер их разрушения от действия нагрузок рассмотрим стадии НДС возникающие в **зоне чистого изгиба - "I-зона"** свободно опертой балки нагруженной двумя сосредоточенными нагрузками.

I-я стадия

II-я стадия

III-я стадия

стадия-I^a

Случай-I

Случай-II

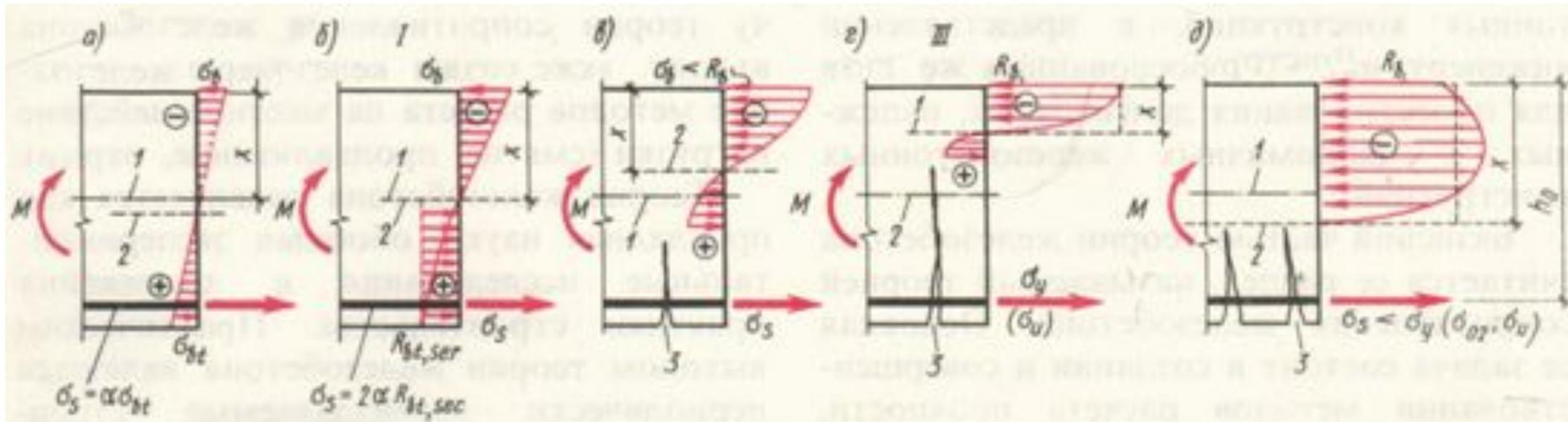
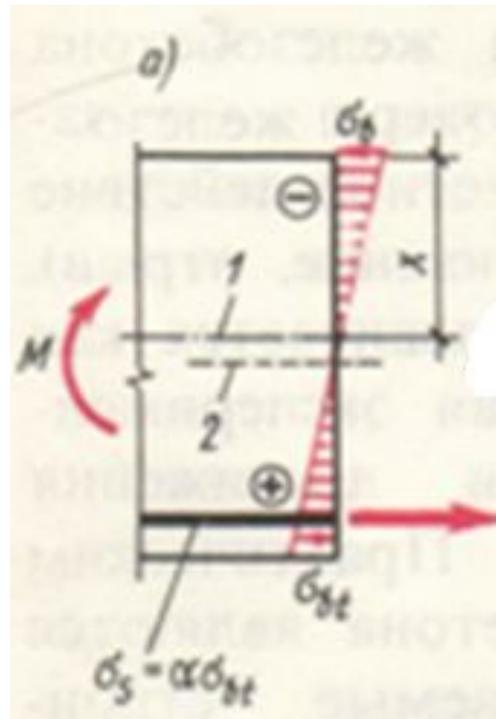


Рисунок - 2. Стадии напряженного состояния изгибаемого элемента:
 1- центральная ось, 2 - нулевая линия, 5—трещины

Стадия I - НДС элемента до образования трещин в его растянутой зоне, т. е. когда бетон растянутой зоны сохраняет сплошность и работает под воздействием нагрузки квазиупруго (напряжения *почти* пропорциональны деформациям, рис 2.а), **деформации** растянутой зоны не превосходят значения $\varepsilon_{btu} = R_{btu} / E_b$, **эпюры нормальных напряжений** в бетоне сжатой и растянутой зон сечения близки к треугольным. **Усилия** в растянутой зоне в основном воспринимает бетон. Роль растянутой рабочей арматуры незначительна, напряжения в ней $\sigma_s \leq 2\alpha R_{bt,ser} \leq 30$ МПа



I-я стадия *стадия-I^a*

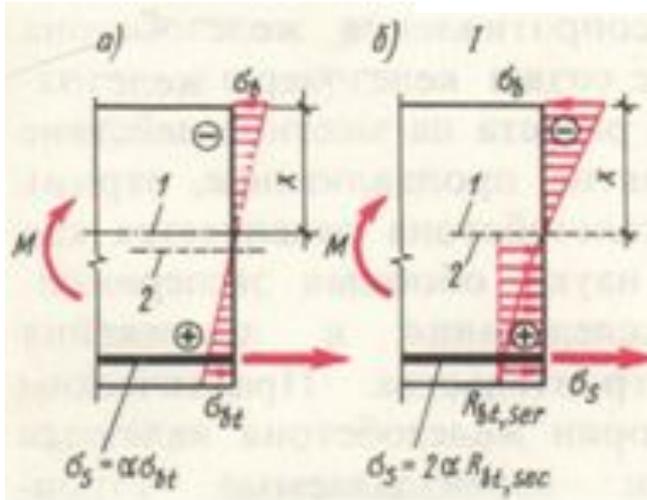


Рис.2

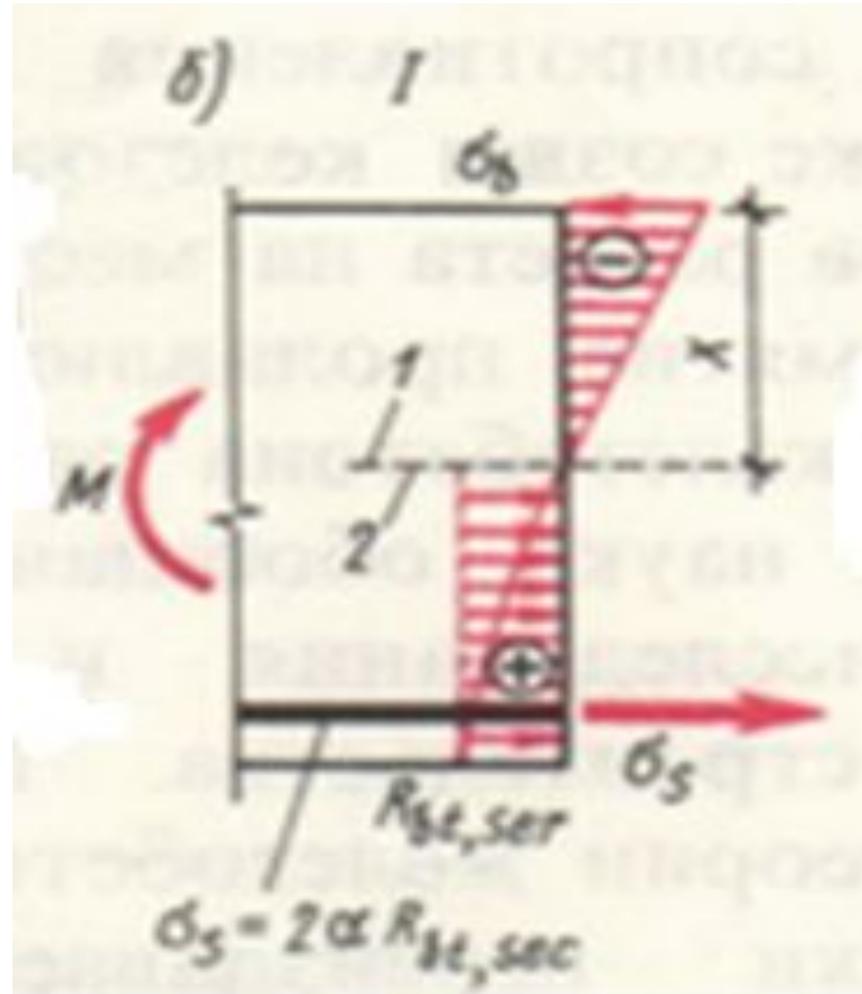
Стадию I называют стадией упругой работы элемента (упругой стадией). Она наступает при относительно малой внешней нагрузке (15-20% разрушающей).

С увеличением нагрузки интенсивно развиваются неупругие деформации в растянутой зоне элемента, **эпюра напряжений** в ней становится **криволинейной**, величина напряжений приближается к временному сопротивлению бетона на осевое растяжение. Когда деформации удлинения крайних растянутых волокон достигнут предельной величины $\varepsilon_{btu} \approx 1,5 \cdot 10^5$, наступает конец стадии -I или *стадия - I^a*

За расчетную эпюру стадии I принимают треугольную эпюру напряжений в **сжатой зоне** и прямоугольную с ординатой $R_{bt,ser}$ в **растянутой зоне** нормального сечения (рис.2.б)

По стадии I рассчитывают **элементы на образование трещин и деформации** (перемещения) — **до образования трещин.**

■ Стадия – I^а



Стадия II - НДС элемента, при котором в бетоне в его растянутой зоне **интенсивно образуются и раскрываются трещины**.

В местах трещин растягивающие усилия в основном воспринимает арматура и частично бетон над трещиной (рис 2,в), а на участках между трещинами - арматура и бетон совместно, так как на этих участках сцепление арматуры с бетоном не нарушается.

II -я стадия

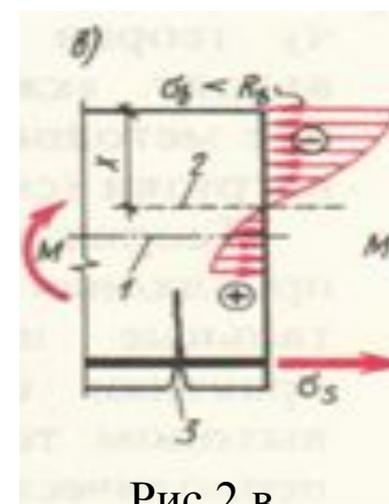


Рис.2.в

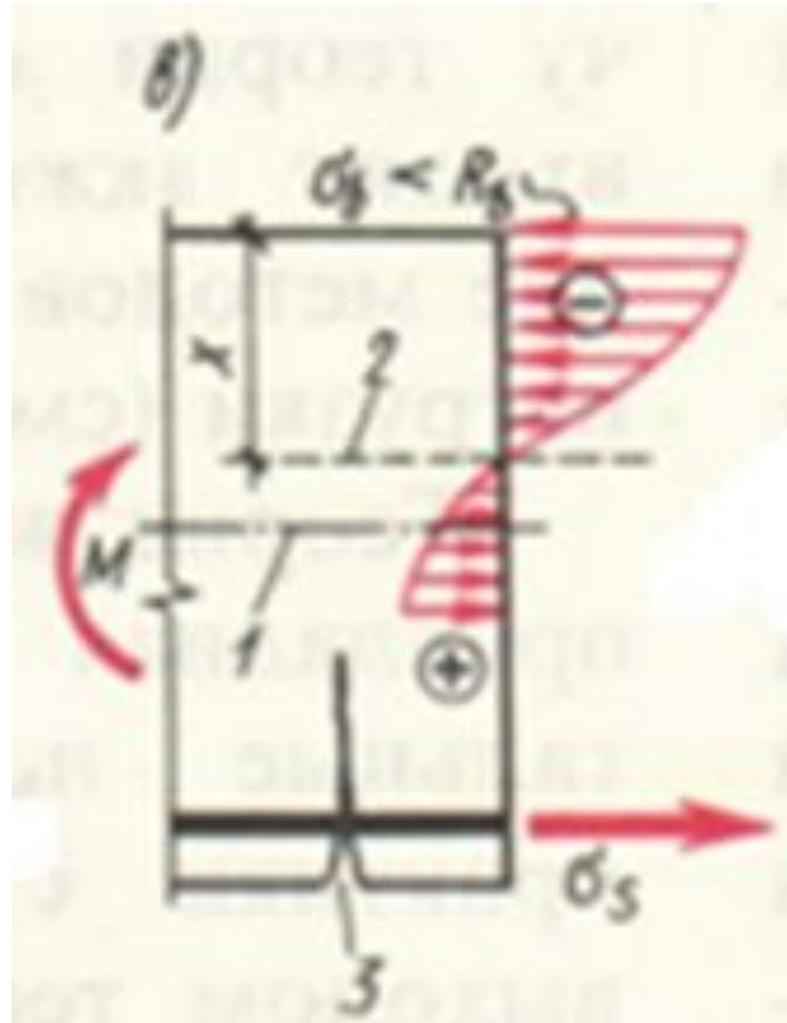
По мере возрастания нагрузки в местах трещин начинают появляться заметные неупругие деформации арматуры, свидетельствующие о приближении напряжений в арматуре к пределу текучести σ_y , т. е. конце стадии II

Стадия II сохраняется значительное время и характерна для эксплуатационных нагрузок ($\approx 65\%$ разрушающих), так как при эксплуатации многих элементов допускается появление трещин.

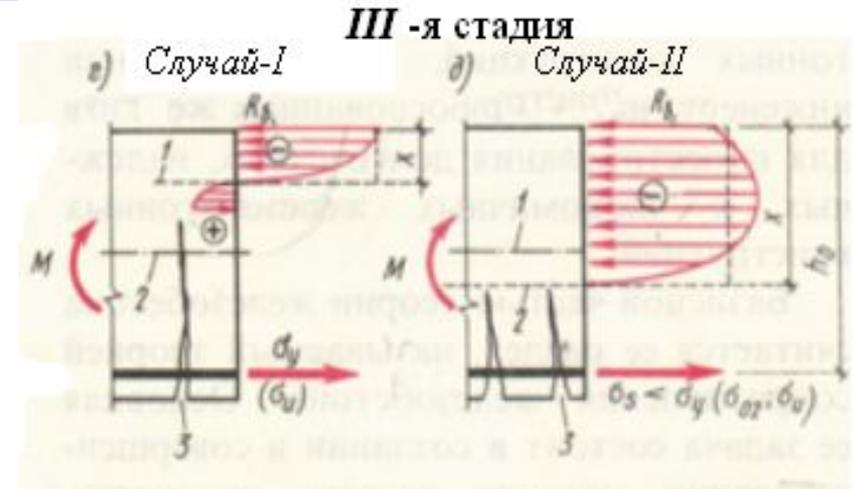
По стадии II рассчитывают величину раскрытия трещин и кривизну (жесткость) элементов.

На стадии II основан старый метод расчета сечений - **по допускаемым напряжениям** (с преобразованием криволинейной эпюры в бетоне сжатой зоны в треугольную)

■ Стадия II



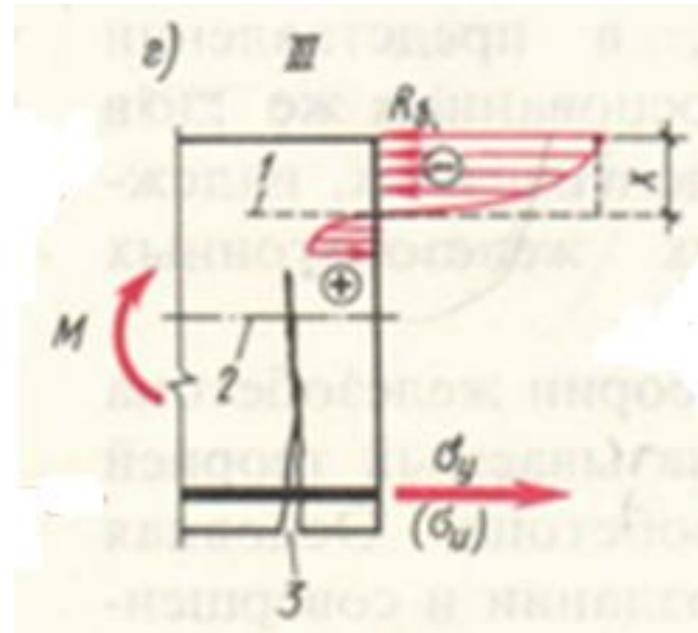
Стадия III - стадия разрушения железобетонного элемента. По продолжительности она самая короткая. **Напряжения в арматуре** достигают физического или условного предела текучести (рис 2.г), а **в бетоне** - временного сопротивления осевому сжатию.



Бетон **растянутой зоны** из работы элемента почти полностью исключается

Различают два характерных случая разрушения элемента:

Под случаем 1 (см. рис 2, г) понимают **пластический характер разрушения** нормально армированного элемента. **Разрушение начинается с проявления текучести арматуры**, вследствие чего быстро растет прогиб и интенсивно уменьшается высота бетона сжатой зоны сечения за счет развития трещин по высоте элемента и проявления неупругих деформаций в бетоне сжатой зоны над трещиной. **Участок элемента, на котором наблюдается текучесть арматуры и пластические деформации сжатого бетона, деформируется (искривляется) практически при постоянном предельном моменте.** Поэтому такие участки носят названия **пластических шарниров**

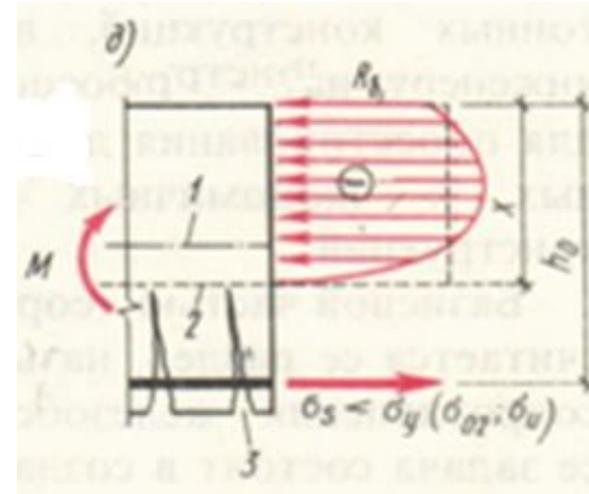
III -я стадия**Случай - I**

К случаю 1 относится также хрупкое разрушение элементов, армированных **высокопрочной проволокой**, так как разрыв последней из-за малого относительного удлинения при растяжении ($\approx 4\%$) происходит одновременно с раздроблением бетона сжатой зоны элемента.

Поэтому **применение сталей** с относительным удлинением при растяжении менее 4% для армирования элементов вообще **не рекомендуется**

III -я стадия *Случай - 2*

Случай 2 (рис 2,д) наблюдают при разрушении элементов с **избыточным содержанием растянутой арматуры**.



Разрушение таких элементов всегда происходит внезапно (**хрупкое разрушение**) от полного **исчерпания несущей способности бетона сжатой зоны**, при неполном использовании прочности дефицитной растянутой арматуры.

Несущая способность такого элемента практически перестает быть зависимой от площади продольной арматуры, а является функцией прочности бетона, формы и размеров сечения.

Под **нормально армированными** понимают элементы, в которых полностью используется несущая способность дефицитной арматуры.

Элементы, разрушающиеся по случаю 2, **называют переармированными**, потому что несущая способность арматуры в них полностью не используется.

III -я стадия *Случай - 2*

В несущих конструкциях промышленно-гражданского строительства **применяют преимущественно нормально армированные элементы**, поэтому перearмированные элементы подробно не рассматриваем.

Перearмирование элементов допускают только в тех случаях:

- когда площадь сечения рабочей продольной арматуры лимитирует расчет по второму предельному состоянию;

- когда арматура принята по конструктивным соображениям.

Стадия - III положена в основу **расчета прочности**

Методы расчета строительных конструкций

Метод расчета по допускаемым напряжениям.

Расчет сечений по разрушающим нагрузкам.

Расчет сечений по предельным состояниям.

Метод расчета по допускаемым напряжениям.

Применялся до 1938 г.

В нем за основу взята *стадия II* НДС и приняты следующие допущения:

1) бетон растянутой зоны не работает, растягивающее напряжение воспринимается арматурой;

2) бетон сжатой зоны работает упруго, а зависимость между напряжениями и деформациями линейная согласно закону Гука;

3) нормальные к продольной оси сечения плоские до изгиба остаются плоскими после изгиба, т. е. **гипотеза плоских сечений**

Основной недостаток этого метода расчета в том, что бетон рассматривается как упругий материал.

Действительное распределение напряжений в бетоне по сечению в *стадии II* не отвечает треугольной эпюре напряжений.

Установлено, что действительные напряжения в арматуре меньше вычисленных. Этот метод не позволяет определить истинные напряжения в материалах.

В ряде случаев приводит к **излишнему расходу материалов**, требует **установки арматуры в бетоне сжатой зоны** и др.

Особенно ярко выяснились недостатки метода **при внедрении в практику новых видов бетона** (тяжелых бетонов высоких марок, легких бетонов на пористых заполнителях) **и арматурных сталей более высокой прочности.**

- **При расчете то допускаемым напряжениям** конструкция рассматривается в ее рабочем состоянии под действием нагрузок, допускаемых при нормальной эксплуатации сооружения, т. е. нормативных нагрузок.
- **Условие прочности конструкции** заключается в том, чтобы напряжения в конструкции от нормативных нагрузок не превышали установленных нормами допускаемых напряжений, которые представляют собой некоторую часть от предельного напряжения материала, принимаемого для строительной стали равным пределу текучести σ_T .

Основные формулы проверки прочности конструкции

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{k_0} \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{M}{W_{нт}} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{k_0},$$

- где σ — напряжения в конструкции от нормативных нагрузок;
- $[\sigma]$ — допускаемые напряжения, которые установлены соответствующими нормативными документами;
- σ_T — предел текучести стали;
- k_0 — коэффициент запаса прочности.
- **Коэффициент запаса** введен здесь потому, что возможны отклонения как фактической нагрузки от той теоретической, которая принята в расчете, так и действительной конструкции сооружения от той теоретической схемы, которая рассчитывается.
- Эти возможные отклонения перекрываются коэффициентом запаса (в среднем равным примерно 1,5), который, таким образом, связывает расчетные предположения с фактической работой конструкции в процессе ее эксплуатации.

Расчет сечений по разрушающим нагрузкам.

Введен в действие в 1938 г.

Метод исходит из **стадии III НДС** при изгибе.

Работа **бетона растянутой зоны** не учитывается.

В расчетные формулы **вместо допускаемых напряжений** вводятся **предел прочности бетона при сжатии** и **предел текучести арматуры**.

Эпюра напряжений в бетоне сжатой зоны вначале принималась **криволинейной**, а затем была принята **прямоугольной**.

Усилие, допускаемое при эксплуатации конструкции, определяется делением разрушающего усилия на общий **коэффициент запаса прочности k** .

Так:

для **изгибаемых элементов** $M = M_u / k$

для **сжатых элементов** $N = N_u / k$

Этот метод расчета, учитывающий упругопластические свойства железобетона, более правильно отражает действительную работу сечений конструкции под нагрузкой и является серьезным развитием в теории сопротивления железобетона.

Большим преимуществом этого метода по сравнению с методом расчета по допускаемым напряжениям является возможность определения близкого к действительности общего коэффициента запаса прочности.

Недостаток метода - возможные отклонения фактических нагрузок и прочностных характеристик материалов от их расчетных значений не могут быть явно учтены при одном общем синтезирующем коэффициенте запаса прочности.

- **В основу метода расчета сечений по разрушающим нагрузкам** была положена **работа конструкций в III стадии напряженно-деформированного состояния**, при этом предполагалось, что напряжения в бетоне и арматуре достигают предельных значений.
- В отличие от метода расчета по допускаемым напряжениям, где напряжения в бетоне и арматуре определялись по действующему в сечении внешнему усилию, в рассматриваемом методе по принятым напряжениям в сечении, установленным на основании экспериментов, определялось значение разрушающего усилия.
- Метод позволял назначать общий для всего сечения коэффициент запаса. Допускаемая нагрузка находилась путем деления разрушающей нагрузки на этот коэффициент.
- **Метод более правильно отражал действительную работу сечений, подтверждался экспериментально и явился крупным шагом в развитии теории железобетона.**

- **Общим недостатком обоих рассмотренных выше методов** являлось использование единого коэффициента запаса, лишь весьма приближенно учитывающего многообразие факторов, влияющих на работу конструкции. Кроме того, метод расчета по разрушающим нагрузкам, позволяя достоверно определять прочность конструкции, не давал возможности оценить ее работу на стадиях, предшествующих разрушению, в частности при эксплуатационных нагрузках.
- Впрочем, до определенного периода практика и не ставила перед исследователями такой задачи. Это объясняется тем, что **применялись сталь и бетон относительно низкой прочности, конструкции имели развитые сечения, прогибы и трещины в бетоне от эксплуатационных нагрузок были невелики и не препятствовали нормальной работе конструкций.**
- **С появлением бетона и арматуры более высокой прочности** сечения уменьшались, снижалась и их жесткость, в результате чего прогибы конструкций от фактических нагрузок оказывались значительными, создавая в ряде случаев препятствия нормальной эксплуатации.
- Кроме того, более существенную роль стал играть **фактор раскрытия трещин, вызывающий коррозию стали, к которой высокопрочная арматура особенно чувствительна.** Последние два обстоятельства наряду с отмеченными выше недостатками существовавших методов потребовали дальнейшего совершенствования методики расчета железобетонных конструкций

Метод расчета по предельным состояниям

- Данный метод основывается на положениях, которые направлены на обеспечение безопасной работы конструкций с учетом:

-  **изменчивости свойств материалов;**
-  **нагрузок и воздействий;**
-  **геометрических характеристик конструкций;**
-  **условий их работы;**
-  **степени ответственности проектируемых объектов.**

Сущность метода. Предельные состояния конструкций.

- **Конструкция может потерять необходимые эксплуатационные качества по одной из двух причин:**
 - 1) в результате исчерпания несущей способности (разрушения материала в наиболее нагруженных сечениях, потери устойчивости некоторых элементов или всей конструкции в целом);
 - 2) вследствие чрезмерных деформаций (прогибов, колебаний, осадок), а также из-за образования трещин или чрезмерного их раскрытия.
- **Строительные конструкции рассчитывают по методу предельных состояний, который дает возможность:**
 - **гарантировать сохранение необходимых эксплуатационных качеств конструкции при практически наибольших отклонениях нагрузок от нормативных значений и возможном наихудшем качестве материалов.**

В соответствии с указанными выше двумя причинами, которые могут вызвать потерю эксплуатационных качеств конструкций, установлены две группы их расчетных предельных состояний:

- 1) по потере несущей способности;
- 2) по непригодности к нормальной эксплуатации.
- **По первой группе предельных состояний** рассчитывают конструкции всех видов;
- **По второй группе** — только те конструкции, чрезмерные деформации в которых могут привести к потере ими эксплуатационных качеств еще до того, как будет исчерпана их несущая способность.
- **Примером таких конструкций могут служить плиты и балки большого пролета, необходимое сечение которых определяется не условием прочности, а прогибом, допускаемым при нормальной эксплуатации.** Расчет железобетонных конструкций по предельным состояниям второй группы должен обеспечить не только ограничение их прогибов, но в необходимых случаях исключить возможность образования трещин в бетоне или ограничить ширину их раскрытия.