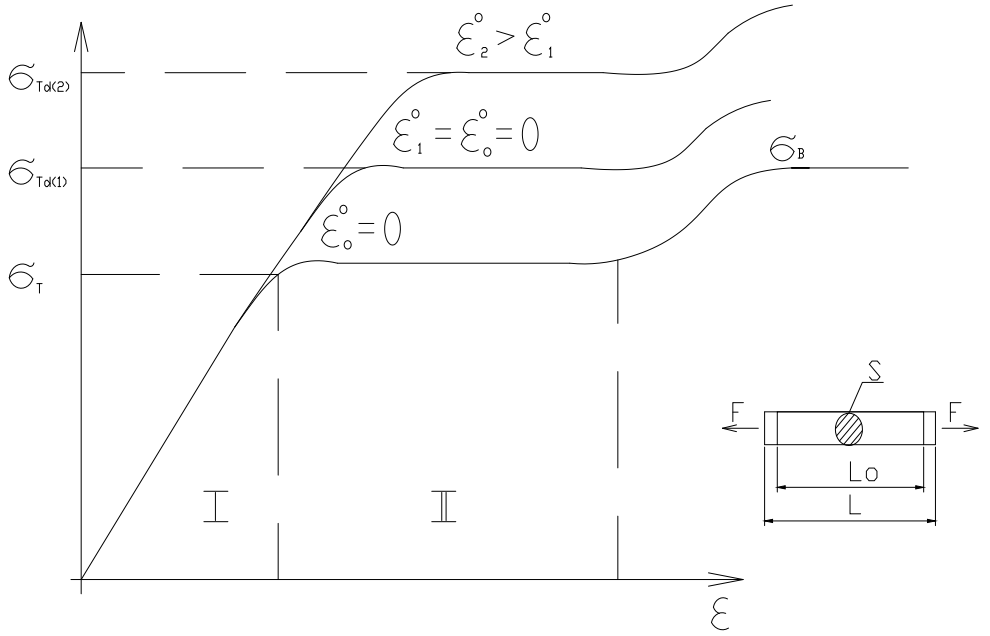
Лекция №3

1. Диаграммы сопротивление – деформация. Упругая деформация. Пластическая деформация.
2. Скорость деформации и динамическое упрочнение.
3. Предельные состояния. Первая группа предельных состояний. Расчет на несущую способность.
4. Нормативные и расчетные сопротивления.

1. Характер деформации конструкции в значительной степени связан с закономерностями деформации материала, из которого изготовлена конструкция. Деформация материала характеризуется $\varepsilon - \sigma$ диаграммой, которую экспериментально снимают на разрывных машинах. На рис. 1 показана $\varepsilon - \sigma$ диаграмма для металлического образца. Напряжение в материале образца характеризует сопротивляемость материала деформации, поэтому $\varepsilon - \sigma$ диаграмма в дальнейшем будет обозначаться, особенно для конструкций, как диаграмма сопротивление – деформация.



F – нагрузка прилагается к образцу (разрывная) Н.
S – площадь поперечного сечения образца, м^2.
$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$; l_0 - базовая длина образца до приложения нагрузки, м. l – длина после приложения нагрузки, м.

На участке 1, который характеризуется упругой деформацией, выполняется закон Гука (связь деформации и сопротивления)

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

E – модуль упругости Юнга Па.

На участке 2 сопротивления материала не зависят от деформации, оно остается постоянным при любой деформации. Этот участок характеризуется пластическими деформациями, а величина σ_T , с которой начинается пластическая деформация называется пределом текучести (статическим пределом текучести).
Значение σ_T - определяется экспериментально и из (1) следует:

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_T}{E} \quad (2)$$

Где ε_y - максимальная еще упругая деформация, с которой начинается пластическая деформация.
Характерное значение ε_y можно оценить, взяв дл стали E = 2,1 * 10^{11} Па, σ_T = 2,8 * 10^{-8} Па, ε_y = 1,33 * 10^{-3}.

σ_B - временное сопротивление разрыву при растяжении Па.
После достижения этого состояния сопротивляемость материала резко падает и он разрушается.

2. Деформация растет при падении сопротивления. Приведенные выше определения соответствуют статическому нагружению конструкции, когда деформация материала происходит постепенно, и его структура изменяется в соответствии с деформацией. При динамическом нагружении структура материала, то есть изменение этой структуры, не успевает за изменением нагрузки и соответствующие деформации запаздывают, то есть как бы увеличивается сопротивляемость материала деформации. В этом случае говорят, что происходит динамическое упрочнение. Это упрочнение начинает сказываться на стадии пластической деформации, зависит от скорости деформации, и характеризуется коэффициентом динамического упрочнения $\gamma\alpha(\zeta)$,

$$\sigma_\alpha = \gamma_\alpha * \sigma_T \quad (3)$$

Где σ_α - динамический предел текучести Па.
Из рис. 1 видно, что упрочнение тем больше, чем больше скорость деформации. Обычно сравнивают скорость деформации в конце упругой стадии деформирования.
Для мягкой стали коэффициент γ_α можно определить из выражения:

$$\gamma_\alpha = \left[1 + \left(\frac{\overset{*}{\varepsilon}_y}{40}\right)^{\frac{1}{5}}\right] \quad (4)$$

Полученного на основании экспериментальных данных, где $\dot{\varepsilon}_y$ - скорость деформации стали в конце упругой стадии.

Для определения $\dot{\varepsilon}_y$ решается задача о деформации на упругой стадии работы конструкции.

3. Расчет конструкций зданий, подвергшихся действию взрыва, производится:
- на основное сочетание нагрузок в соответствии с требованиями норм;
- на особое сочетание нагрузок, состоящих из статических (постоянных и длительных) и динамических нагрузок, вызванных взрывом.

В особом сочетании не учитываются кратковременные нагрузки, установленные в нормах, длительная снеговая нагрузка учитывается, если она создает неблагоприятную комбинацию усилий. Коэффициенты надежности по нагрузкам принимаются равными 1.
Расчет на особое сочетание нагрузок отдельных элементов и сооружения в цело следует производить, как правило, по первой группе предельных состояний для предохранения конструкций от потери полной несущей способности вследствие пластического или хрупкого разрушения. При этом в элементах и соединениях допускаются значительные остаточные деформации.
Для некоторых конструкций, в частности, ограждающих возможно допущение полного разрушения.
При специальных требованиях конструкций могут рассчитываться по второй группе предельных состояний для обеспечения пригодности к дальнейшей эксплуатации.
Нормирование предельного состояния первой группы производится для самого напряженного сечения элемента (максимальный изгибающий момент). Путем назначения максимальной деформации (прогиба).
Дл железобетонных, каменных и армокаменных конструкций допускается коэффициент $\mu = (2..4)$ для стальных конструкций $\mu = (3-5)$. Коэффициент пластичности показывает во сколько раз предельная (нормируется) пластическая деформация превышает максимально упругую ε_y. Нормирование предельных состояний по существу проведено при определении коэффициента динамичности.
Значения коэффициента динамичности в таблице № (лекции).
Над чертой получены при коэффициенте пластичности $\mu = 3$, коэффициенты динамичности под чертой при $\mu = 3$, то есть для упругой стадии.
При расчете конструкций по ограничению пластических деформаций коэффициенты динамичности следует определять по линейной интерполяции между значениями $k\alpha_1$ и $k\alpha_2$ при $\mu_1 = 3$ и $\mu_2 = 1$ (каменные конструкции)
Следует отметить, что для конструкций, у которых $\mu > 3$ (стальные конструкции) расчет по несущей способности с использованием табличного $k\alpha_1$ (над чертой) дает результаты в запас.
Линейную интерполяцию в данном диапазоне следует проводить с запасом в 30%, начиная с $\mu = 3$.

4. При расчете наиболее напряженного сечения рассматриваемого элемента исходят из принципа предельного равновесия, когда в этом сечении выполняется условие:

$$N_1 \le R_i \quad (5)$$

Где N_1 – значение внешнего воздействия (усилия, момента) в наиболее напряженном сечении.
Ri – предельное значение соответствующего внутреннего сопротивления конструкции (усилие, момент) в рассматриваемом сечении.
Внешнее воздействие определяется по правилам механики, согласно схеме нагружения элемента.
Предельное значение внутреннего сопротивление определяется из схемы сопротивления сечения деформации и свойств материала конструкции.
При определении расчетных сопротивлений материалов конструкции в наиболее напряженном сечении исходят из нормативных сопротивлений материалов, нормативные сопротивления материалов обладают 95% обеспеченностью, то есть из 100 испытуемых образцов 95 образцов не разрушаются. Эта величина указывается заводом изготовителем и дается в нормах.
Расчетное сопротивление материалов определяется по нормативному и обладает обеспеченностью 99,9%

$$R_p = \frac{R_н}{\gamma_н} \quad (6)$$

R_p - расчетное сопротивление,

$R_н$ - нормативное сопротивление материала,

$\gamma_н$ - коэффициент надежности (запаса) по материалу. Для различных материалов, для статических нагрузок данные представлены в таблицах №1 и №2

Таблица №1 Параметры бетонов

Класс	R_{BH} МПа	R_{BTH} МПа	$\gamma_{нс}$	$\gamma_{нр}$	$E_Б*10^{-3}$ МПа
B20	15	1,4			24,5
B25	18,5	1,6			27
B30	22	1,8	1,3	1,3	32,5
B40	29	2,1	1,3	1,3	36
B50	36	2,3	1,3	1,3	39

Таблица №2 Параметры арматурных сталей

Класс	Rsn МПа	$\gamma_{sн}$	10^{-4} Es МПа
A-1	235	1,05	21
A-2	295	1,05	21
A-3 d=6-8	390	1,1	20
A-3 d=10-40	390	1,07	20

R_{BH} – нормативное сопротивление бетона сжатию.
R_{BTH} – нормативное сопротивление бетона растяжению.

Расчетное динамическое сопротивление определяется из статического умножения на коэффициент динамического упрочнения $\gamma\alpha$

$$R_\alpha = \gamma_\alpha * R_p = \frac{\gamma_\alpha}{\gamma_H} R_H \quad (7)$$

Коэффициент динамического упрочнения зависит от скорости деформации $\dot{\varepsilon}_y$, которая в свою очередь равна

$$\varepsilon_y = \frac{\varepsilon_y}{t_e} \quad (8)$$

При расчете по несущей способности

$$\tau_e = \frac{\pi}{210} + \frac{\tau_1}{2} \text{ при } \tau_1 \le \frac{\pi}{\omega}$$

$$\tau_e = \tau_1 \text{ при } \tau_1 > \frac{\pi}{\omega} \quad (9)$$

Здесь ω - круговая частота собственных колебаний элемента, которая для стержневых элементов определяется по формуле:

$$\omega = \frac{\alpha^2}{l^2}\sqrt{\frac{B}{m}} \quad (10)$$

Где α^2 - коэффициент, зависящий от условий заделки (крепления) концов стержневых элементов,
l – расчетный пролет, м,

B – изгибная жесткость,
m – погонная масса.
Для стержневых элементов:
$\alpha^2 = \pi^2$ при свободно опертых концах
15,4 – при одном свободно опертом, другом заземленном,
22,4 – при заземленных концах,
3,5 – для консольного стержня
15,4, 18,5, 19,9 – для неразрезных балок с крайними шарнирными опорами при 2х, 3х, 4х и более пролетах.
Для изгибаемых элементов

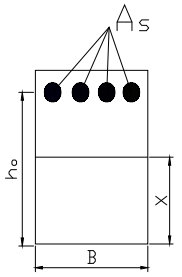
$$B = EJ \quad (11)$$

J – момент инерции сечения изгибаемого элемента.
Для железо-бетонных изгибаемых элементов прямоугольного сечения с одиночной арматурой площадью A_s.

$$B = 0{,}8\, E_s\, A_s\, (h_0 - x)\, (h_0 - 0{,}5x) \quad (12)$$

Где x – высота сжатой зоны бетона (см. ниже)
E_s – модуль упругости стали.
Высота сжатой зоны бетона x определяется из условия предельного равновесия сил в сечении элемента.
Растягивающие силы $\gamma_{\alpha s} A_s * R_{sp}$
Снимающие силы $\gamma_{dB} B_{BC} * b * x$

$$\longrightarrow X = \frac{\gamma_{ds} * A_s * R_{sp}}{\gamma_{Bd} * B_{BC} * b} \quad (13)$$



$$A_s = 4 * \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{R_{ds} * A_s}{R_{\alpha b} * h_0} \mu \frac{R_{sd}}{R_{Bd}} \quad (14)$$

μ - коэффициент армирования.
При расчете железобетоны элементов необходимо позаботиться о том, чтобы сечение не было переармировано, то есть, чтобы разрушение элемента начиналось с зоны арматуры, а не сжатого бетона. Это условие будет выполняться при условии $\xi < \xi_R^Д$, где

$$\xi_R^Д = 10\left[1 + \gamma_{sd}\sigma_{sR}(1 - \frac{1}{1{,}1}\omega)/\sigma_{sc,u}\right]^{-1} \quad (15)$$

Где b – ширина, h_0 – рабочая высота сечения, $\omega = \alpha - 0{,}08R_B$ – характеристика сжатой зоны бетона
γ_{sd} и γ_{Bd} - упрочнение арматуры и бетона $\gamma_{ds} = 1{,}3$; $\gamma_{Bd} = 1{,}2$
Для тяжелого бетона d=0,85, $\sigma_{sR} = R_{sp} = \frac{R_{sn}}{\gamma_{нs}}$
$\sigma_{sc,u} = 400$ МПа
Для димнамически нагруженных элементов начинать с

$$\mu \approx 0{,}235 \frac{\gamma_{Bd} * R_{Bp}}{\gamma_{sd} * R_{sp}} \quad (16)$$

Момент сопротивления Ws, момент инерции Js и жесткость сечения.

$$W_s = A_s h_0 (1 - \xi/2),\ J_s = h_0 (1 - \xi) W_s,\ B_s = E_s J_s \quad (17)$$