

Предельные деформации бетона перед разрушением

Предельная сжимаемость ε_{bu} и предельная растяжимость $\varepsilon_{bt,u}$ зависят от прочности бетона, его класса, длительности приложения нагрузки.

Предельные деформации бетона перед разрушением

Предельная сжимаемость ε_{bu} и предельная растяжимость $\varepsilon_{bt,u}$ зависят от прочности бетона, его класса, длительности приложения нагрузки.

С увеличением класса бетона предельные деформации уменьшаются, а с ростом длительности приложения нагрузки — увеличиваются.

Пределные деформации бетона перед разрушением

PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES.
Michael P. Collins, Denis Mitchell

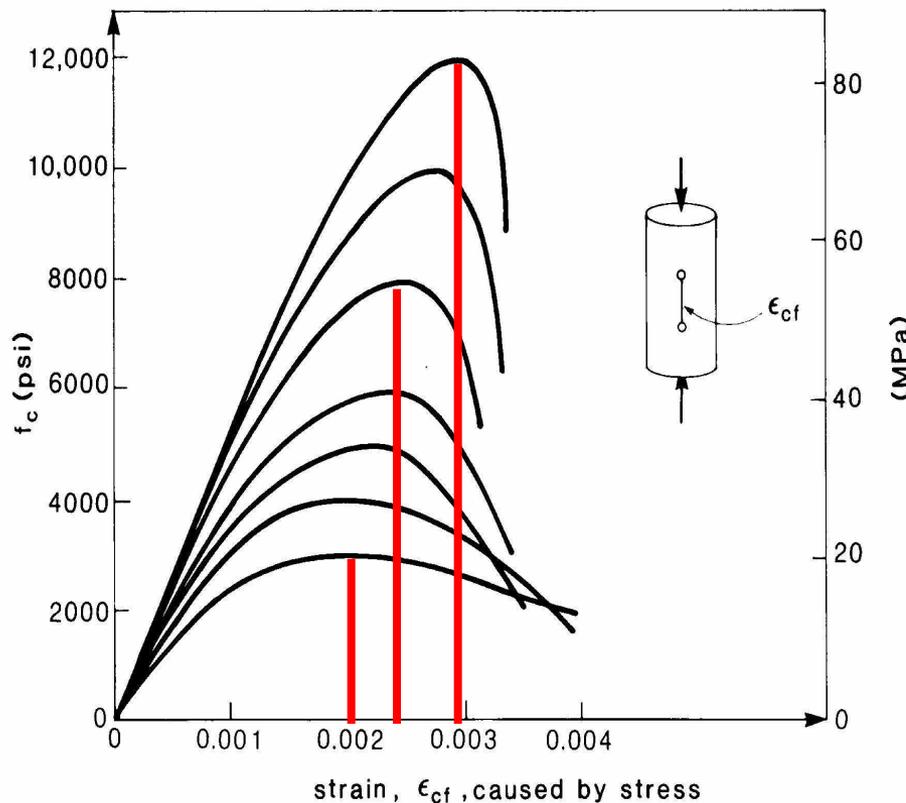
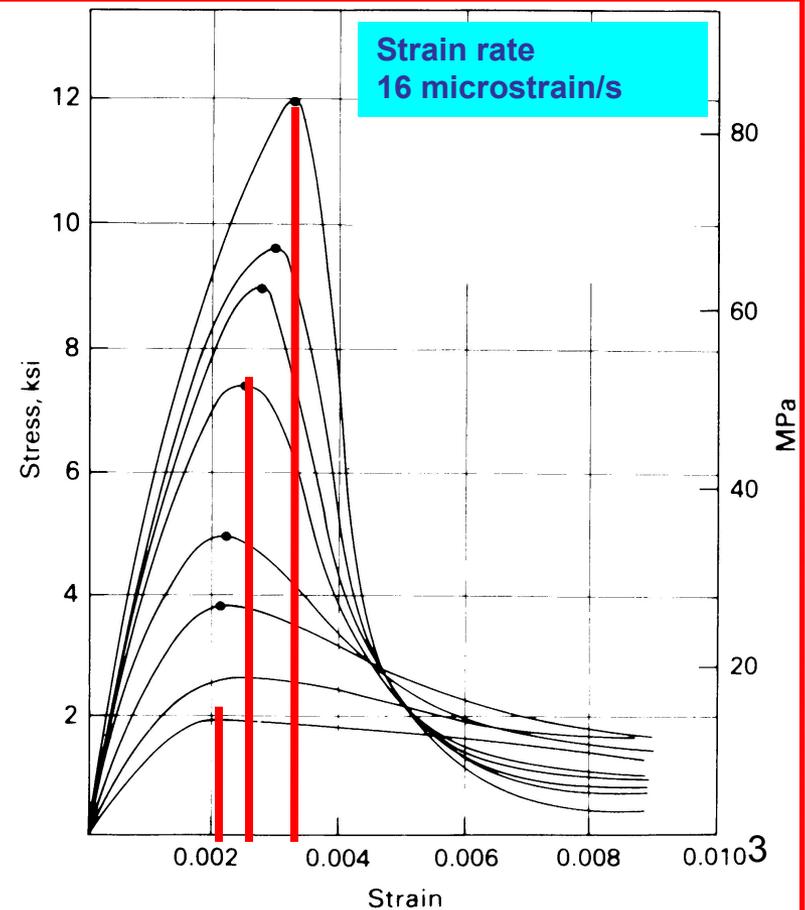
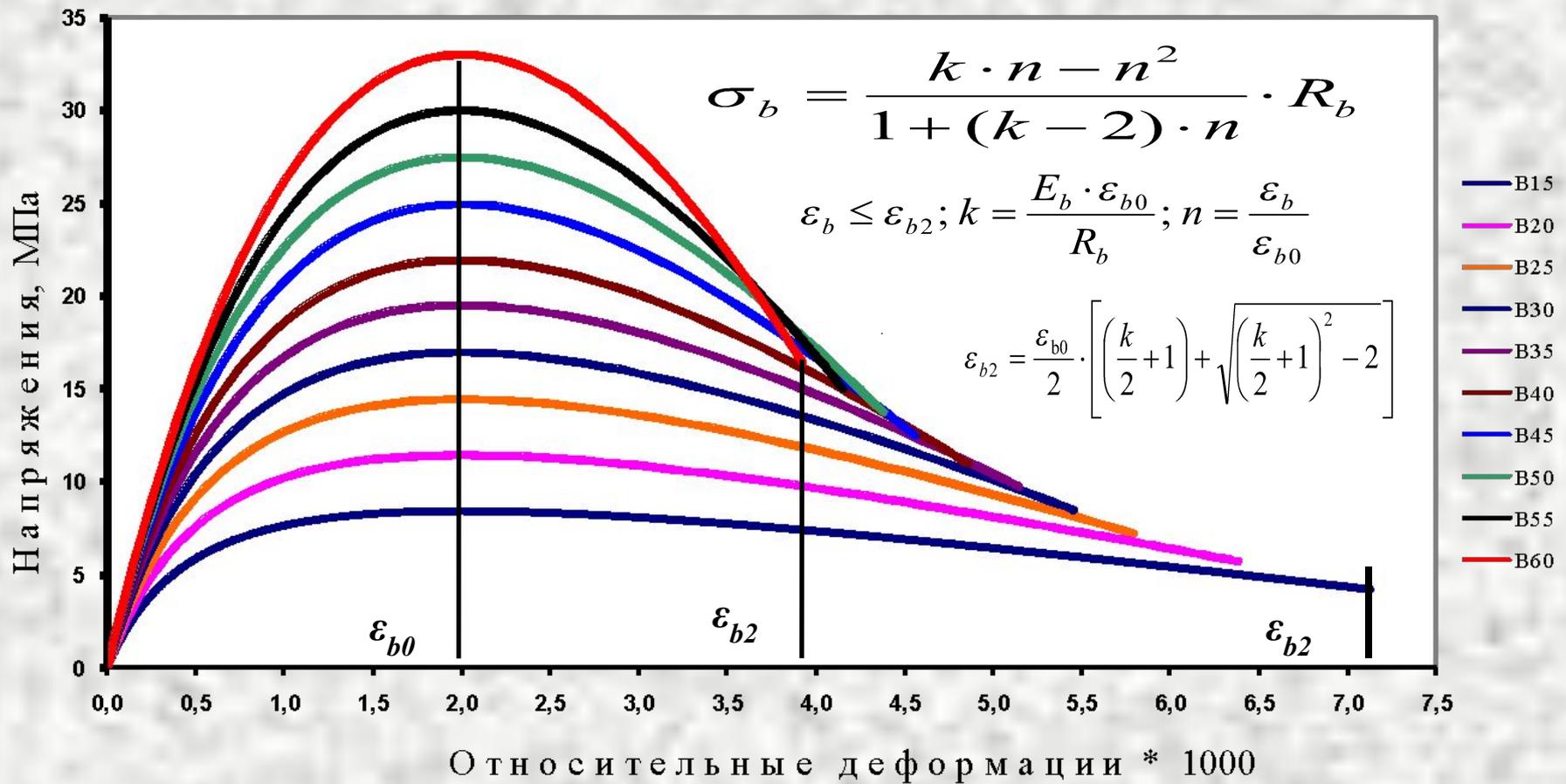


Figure 3-4 Typical compressive stress-strain curves. Adapted from Nilsson (Ref. 3-6).

PRESTRESSED CONCRETE.
ANALYSIS AND DESIGN.
Fundamentals. Antoine E. Naaman



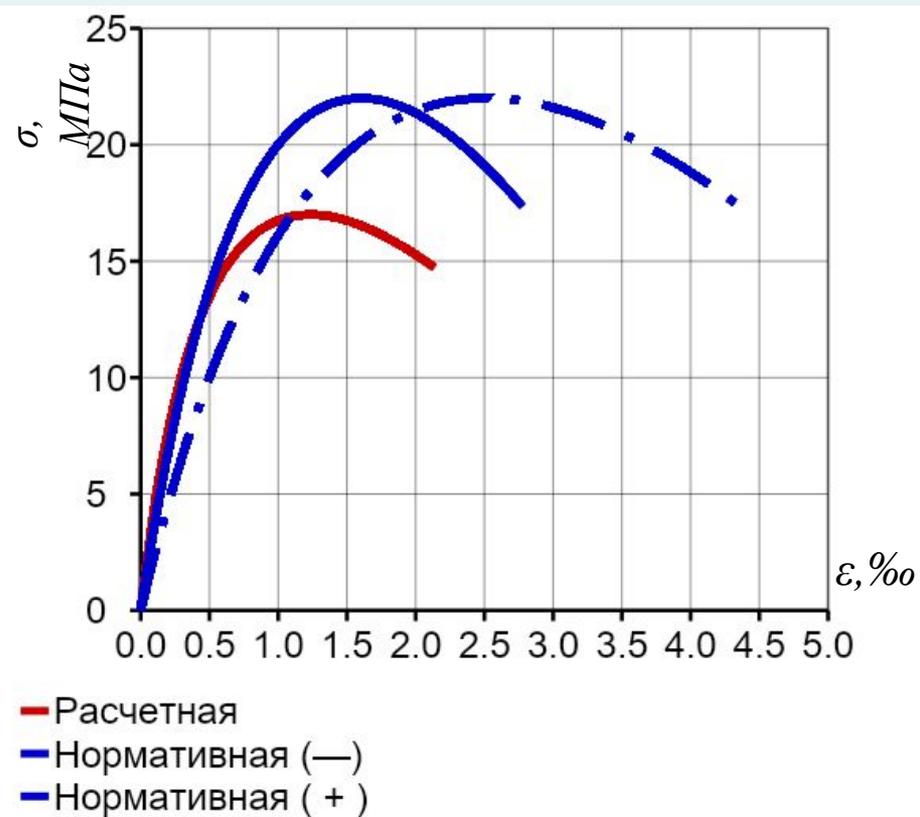
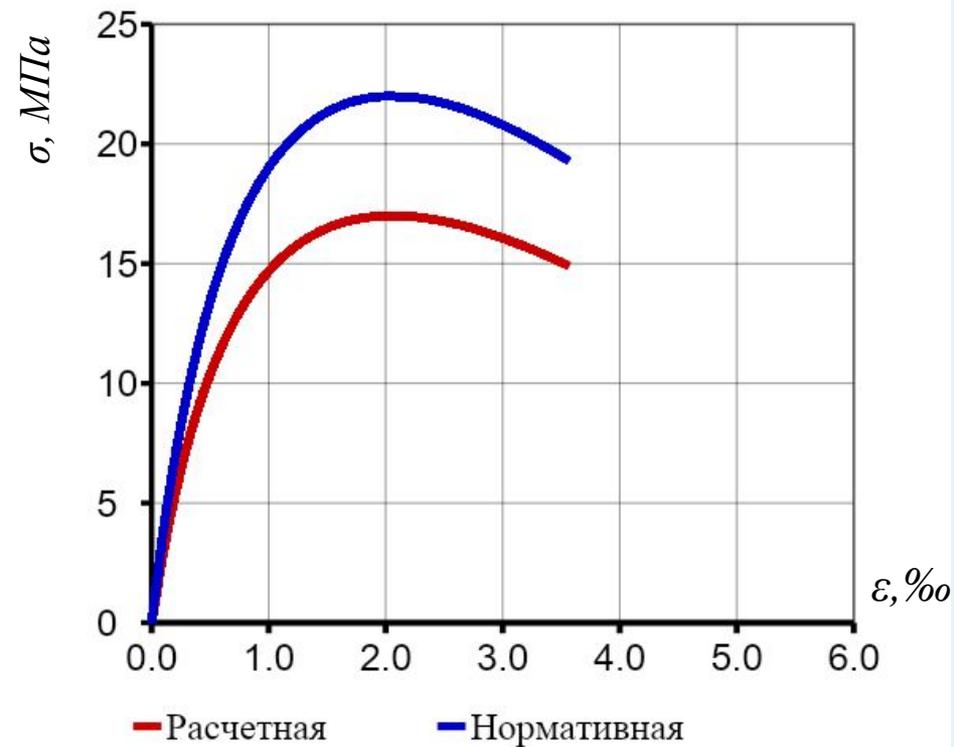
Предельные деформации бетона перед разрушением



Диаграммы бетона класса В30

СНиП 52-01-2003 АР (СП 63.13330.2012)

Предлагаемая



Предельные деформации бетона перед разрушением

При центральном сжатии бетонных призм $\varepsilon_{bu} = (0,8 \dots 3,0) \cdot 10^{-3}$, в среднем ее принимают $\varepsilon_{bu} = 2,0 \cdot 10^{-3}$.

Предельные деформации бетона перед разрушением

При центральном сжатии бетонных призм $\varepsilon_{bu} = (0,8 \dots 3,0) \cdot 10^{-3}$, в среднем ее принимают $\varepsilon_{bu} = 2,0 \cdot 10^{-3}$.

В сжатой зоне изгибаемых элементов наблюдается большая, чем у сжатых призм, предельная сжимаемость, зависящая от формы поперечного сечения $\varepsilon_{bu} = (2,7 \dots 4,5) \cdot 10^{-3}$:

$$\text{СНиП 2.03.01} - 84^* \quad \varepsilon_{bu} = \frac{\varepsilon_{bu}^{\text{сж}}}{1 - \frac{\omega}{1,1}}$$

$$\text{СП 52} - 101 - 2003 \quad \varepsilon_{bu} = \frac{700}{E_s} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Предельные деформации бетона перед разрушением

При центральном сжатии бетонных призм $\varepsilon_{bu} = (0,8 \dots 3,0) \cdot 10^{-3}$, в среднем ее принимают $\varepsilon_{bu} = 2,0 \cdot 10^{-3}$.

В сжатой зоне изгибаемых элементов наблюдается большая, чем у сжатых призм, предельная сжимаемость, зависящая от формы поперечного сечения $\varepsilon_{bu} = (2,7 \dots 4,5) \cdot 10^{-3}$:

$$\text{СНиП 2.03.01-84*} \quad \varepsilon_{bu} = \frac{\varepsilon_{bu}^{сж}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \quad \text{СНиП 52-01-2003 AP} \quad \varepsilon_{bu} = \frac{700}{E_s} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Предельная растяжимость бетона **в 10...20 раз меньше**, чем предельная сжимаемость $\varepsilon_{bt,u} = 1,5 \cdot 10^{-4}$.

Предельные деформации бетона перед разрушением

При центральном сжатии бетонных призм $\varepsilon_{bu} = (0,8 \dots 3,0) \cdot 10^{-3}$, в среднем ее принимают $\varepsilon_{bu} = 2,0 \cdot 10^{-3}$.

В сжатой зоне изгибаемых элементов наблюдается большая, чем у сжатых призм, предельная сжимаемость, зависящая от формы поперечного сечения $\varepsilon_{bu} = (2,7 \dots 4,5) \cdot 10^{-3}$:

$$\text{СНиП 2.03.01-84*} \quad \varepsilon_{bu} = \frac{\varepsilon_{bu}^{сж}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \quad \text{СНиП 52-01-2003 AP} \quad \varepsilon_{bu} = \frac{700}{E_s} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Предельная растяжимость бетона **в 10...20 раз меньше**, чем предельная сжимаемость $\varepsilon_{bt,u} = 1,5 \cdot 10^{-4}$.

У бетонов на пористых заполнителях предельная сжимаемость и растяжимость \approx в 2 раза выше, чем у тяжелых бетонов.

Предельные деформации бетона перед разрушением

При центральном сжатии бетонных призм $\varepsilon_{bu} = (0,8 \dots 3,0) \cdot 10^{-3}$, в среднем ее принимают $\varepsilon_{bu} = 2,0 \cdot 10^{-3}$.

В сжатой зоне изгибаемых элементов наблюдается большая, чем у сжатых призм, предельная сжимаемость, зависящая от формы поперечного сечения $\varepsilon_{bu} = (2,7 \dots 4,5) \cdot 10^{-3}$:

$$\text{СНиП 2.03.01-84*} \quad \varepsilon_{bu} = \frac{\varepsilon_{bu}^{сж}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \quad \text{СНиП 52-01-2003 AP} \quad \varepsilon_{bu} = \frac{700}{E_s} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Предельная растяжимость бетона **в 10...20 раз меньше**, чем предельная сжимаемость $\varepsilon_{bt,u} = 1,5 \cdot 10^{-4}$.

У бетонов на пористых заполнителях предельная сжимаемость и растяжимость \approx **в 2 раза выше**, чем у тяжелых бетонов.

Коэффициент поперечных деформаций:

$$\nu = \frac{\varepsilon_v}{\varepsilon_b}, \quad \varepsilon_v = 0,2 \cdot \varepsilon_b, \quad \varepsilon_{vt} = 0,2 \cdot \varepsilon_{bt}$$

Модуль деформации бетона

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям при мгновенном нагружении.

Модуль деформации бетона

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям при мгновенном нагружении.

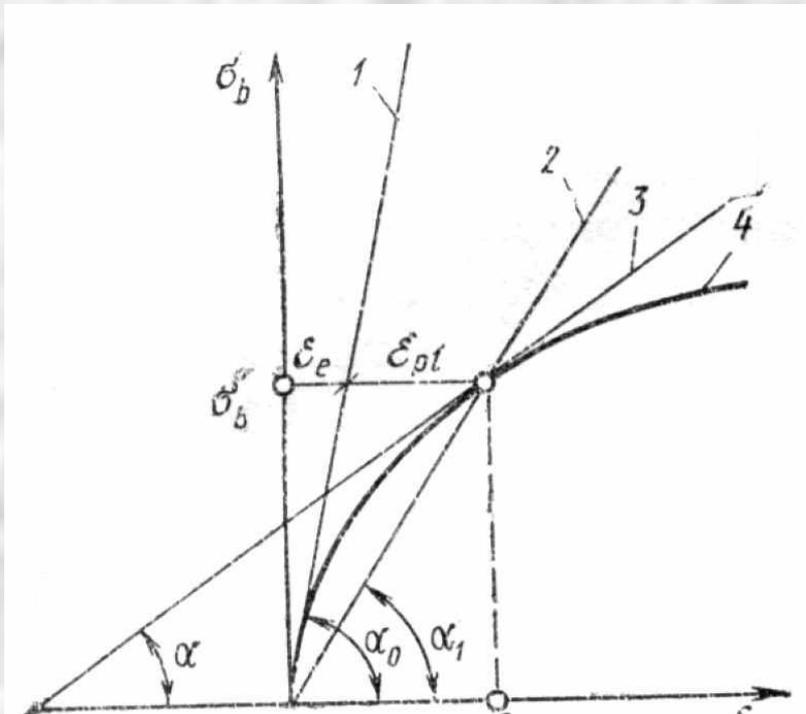


Схема для определения модуля деформации бетона

1 – упругие деформации; 2 – секущая; 3 – касательная; 4 – полные деформации

Модуль деформации бетона

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям при мгновенном нагружении.

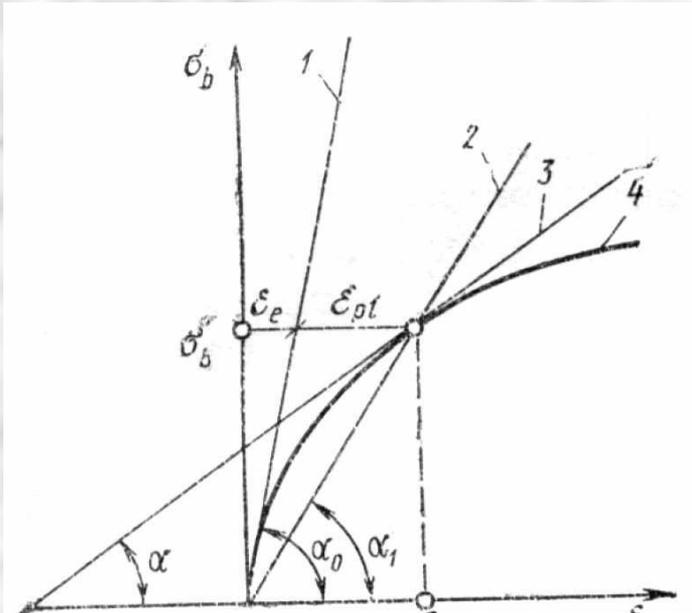


Схема для определения модуля деформации бетона

1 – упругие деформации; 2 – секущая; 3 – касательная; 4 – полные деформации

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$,

где: ρ – масштабный фактор

Модуль деформации бетона

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям при мгновенном нагружении.

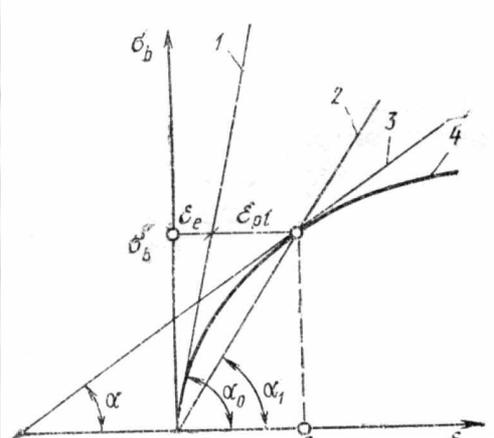


Схема для определения модуля деформации бетона

1 – упругие деформации; 2 – секущая; 3 – касательная; 4 – полные деформации

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$, где: ρ – масштабный фактор

Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ в точке с заданным напряжением:

$$E_b' = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Модуль деформации бетона

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям при мгновенном нагружении.

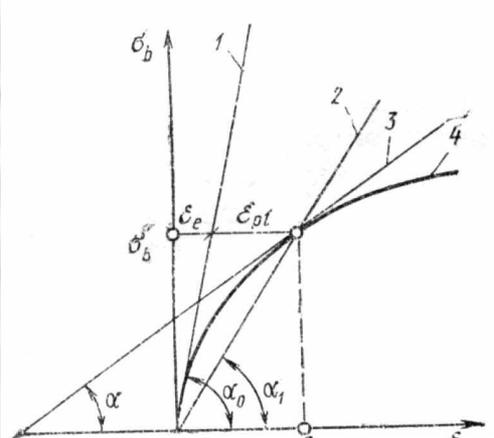


Схема для определения модуля деформации бетона

1 – упругие деформации; 2 – секущая; 3 – касательная; 4 – полные деформации

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$, где: ρ – масштабный фактор
Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \epsilon_b$ в точке с заданным напряжением:

$$E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\epsilon_b} = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Для расчета используют модуль упругопластичности бетона (тангенс угла наклона секущей в точке на кривой $\sigma_b - \epsilon_b$ с заданным напряжением): $E'_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$,

Модуль деформации бетона

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям при мгновенном нагружении.

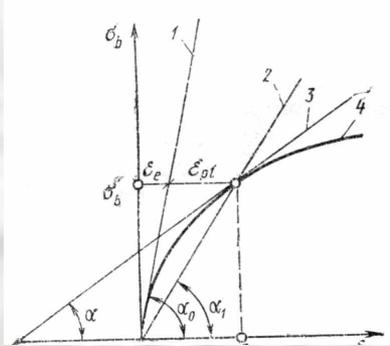


Схема для определения модуля деформации бетона

1 — упругие деформации; 2 — секущая; 3 — касательная; 4 — полные деформации

Геометрическая интерпретация:

Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \epsilon_b$ в точке с заданным напряжением:

$$E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$$

Для расчета используют модуль упругопластичности бетона (тангенс угла наклона секущей в точке на кривой $\sigma_b - \epsilon_b$ с заданным напряжением):

$$E'_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$$

Так как угол α_1 меняется в зависимости от напряжений и времени, модуль упругопластичности также является переменной величиной, меньше, чем начальный модуль упругости.

Модуль деформации бетона

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$, где: ρ – масштабный фактор
Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ в точке с заданным напряжением: $E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha$

Для расчета используют модуль упругопластичности бетона (тангенс угла наклона секущей в точке на кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ с заданным напряжением): $E'_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$,

Так как угол α_1 меняется в зависимости от напряжений и времени, модуль упругопластичности также является переменной величиной, меньше, чем начальный модуль упругости.

$$\sigma_b = \varepsilon_e \cdot E_b = \varepsilon_b \cdot E'_b, \quad \text{откуда } E'_b = \nu_b \cdot E_b,$$

где: $\nu_b = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b}$ – коэффициент упругопластических деформаций.

Модуль деформации бетона

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$, где: ρ – масштабный фактор
Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ в точке с заданным напряжением: $E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha$

Для расчета используют модуль упругопластичности бетона (тангенс угла наклона секущей в точке на кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ с заданным напряжением): $E'_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$,

Так как угол α_1 меняется в зависимости от напряжений и времени, модуль упругопластичности также является переменной величиной, меньше, чем начальный модуль упругости.

$$\sigma_b = \varepsilon_e \cdot E_b = \varepsilon_b \cdot E'_b, \quad \text{откуда } E'_b = \nu_b \cdot E_b,$$

где: $\nu_b = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b}$ – коэффициент упругопластических деформаций.

Коэффициент ν_b меняется от 1 (при упругой работе) до $0,15$.

Модуль деформации бетона

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$, где: ρ – масштабный фактор
Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ в точке с заданным напряжением: $E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha$

Для расчета используют модуль упругопластичности бетона (тангенс угла наклона секущей в точке на кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ с заданным напряжением): $E'_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$,

Так как угол α_1 меняется в зависимости от напряжений и времени, модуль упругопластичности также является переменной величиной, меньше, чем начальный модуль упругости.

$$\sigma_b = \varepsilon_e \cdot E_b = \varepsilon_b \cdot E'_b, \quad \text{откуда } E'_b = \nu_b \cdot E_b,$$

$$\text{где: } \nu_b = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} - \text{коэффициент упругопластических деформаций.}$$

Коэффициент ν_b меняется от **1** (при упругой работе) до **0,15**.

С увеличением уровня напряжений в бетоне и длительности действия нагрузки, коэффициент ν_b уменьшается.

Модуль деформации бетона

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$, где: ρ – масштабный фактор
Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ в точке с заданным напряжением: $E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha$

Для расчета используют модуль упругопластичности бетона (тангенс угла наклона секущей в точке на кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ с заданным напряжением): $E'_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$,

Так как угол α_1 меняется в зависимости от напряжений и времени, модуль упругопластичности также является переменной величиной, меньше, чем начальный модуль упругости.

$$\sigma_b = \varepsilon_e \cdot E_b = \varepsilon_b \cdot E'_b, \quad \text{откуда } E'_b = \nu_b \cdot E_b,$$

$$\text{где: } \nu_b = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} - \text{коэффициент упругопластических деформаций.}$$

Коэффициент ν_b меняется от **1** (при упругой работе) до **0,15**.

С увеличением уровня напряжений в бетоне и длительности действия нагрузки, коэффициент ν_b уменьшается.

При изгибе железобетонных элементов для бетона сжатой зоны E'_b может быть на **15...20%** больше, чем при осевом сжатии.

Модуль деформации бетона

Геометрическая интерпретация: $E_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$, где: ρ – масштабный фактор
Модуль полных деформаций бетона при сжатии E_b соответствует полным деформациям (включая ползучесть) является переменной величиной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ в точке с заданным напряжением: $E'_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_b} = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha$

Для расчета используют модуль упругопластичности бетона (тангенс угла наклона секущей в точке на кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$ с заданным напряжением): $E'_b = \rho \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$,

Так как угол α_1 меняется в зависимости от напряжений и времени, модуль упругопластичности также является переменной величиной, меньше, чем начальный модуль упругости.

$$\sigma_b = \varepsilon_e \cdot E_b = \varepsilon_b \cdot E'_b, \quad \text{откуда } E'_b = \nu_b \cdot E_b,$$

$$\text{где: } \nu_b = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} - \text{коэффициент упругопластических деформаций.}$$

Коэффициент ν_b меняется от **1** (при упругой работе) до **0,15**.

С увеличением уровня напряжений в бетоне и длительности действия нагрузки, коэффициент ν_b уменьшается.

При изгибе железобетонных элементов для бетона сжатой зоны E'_b может быть на **15...20%** больше, чем при осевом сжатии.

$$\text{При растяжении } E'_{bt} = \nu_{bt} \cdot E_{bt}, \quad \text{где: } \nu_{bt} = \frac{\varepsilon_{et}}{\varepsilon_{bt}} - \text{коэффициент}$$

упругопластических деформаций бетона при растяжении $\nu_{bt} = 0,15$

Модуль деформации бетона

Так как угол α_1 меняется в зависимости от напряжений и времени, модуль упругопластичности также является переменной величиной, меньше, чем начальный модуль упругости.

$$\sigma_b = \varepsilon_e \cdot E_b = \varepsilon_b \cdot E'_b, \quad \text{откуда } E'_b = \nu_b \cdot E_b,$$

$$\text{где: } \nu_b = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} - \text{коэффициент упругопластических деформаций.}$$

Коэффициент ν_b меняется от **1** (при упругой работе) **до 0,15**.

С увеличением уровня напряжений в бетоне и длительности действия нагрузки, коэффициент ν_b уменьшается.

При изгибе железобетонных элементов для бетона сжатой зоны E'_b может быть на **15...20%** больше, чем при осевом сжатии.

$$\text{При растяжении } E'_{bt} = \nu_{bt} \cdot E_{bt}, \quad \text{где: } \nu_{bt} = \frac{\varepsilon_{et}}{\varepsilon_{bt}} - \text{коэффициент}$$

упругопластических деформаций бетона при растяжении $\nu_{bt} = 0,5$

Предельная растяжимость бетона в зависимости от временного сопротивления растяжению:

$$\varepsilon_{bt,u} = \frac{R_{bt}}{E'_{bt}} = \frac{2 \cdot R_{bt}}{E_{bt}}$$

Модуль деформации бетона

Коэффициент ν_b меняется от **1** (при упругой работе) до **0,15**.

С увеличением уровня напряжений в бетоне и длительности действия нагрузки, коэффициент ν_b уменьшается.

При изгибе железобетонных элементов для бетона сжатой зоны E'_b может быть на **15...20%** больше, чем при осевом сжатии.

При растяжении $E'_{bt} = \nu_{bt} \cdot E_{bt}$, где: $\nu_{bt} = \frac{\varepsilon_{et}}{\varepsilon_{bt}}$ – коэффициент

упругопластических деформаций бетона при растяжении $\nu_{bt} = 0,5$

Предельная растяжимость бетона в зависимости от временного сопротивления растяжению:

$$\varepsilon_{bt,u} = \frac{R_{bt}}{E'_{bt}} = \frac{2 \cdot R_{bt}}{E_{bt}}$$

Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении может быть определен из специальных испытаний при низком уровне напряжений

$$\frac{\sigma_b}{R_b} \leq 0,2.$$

Модуль деформации бетона

Предельная растяжимость бетона в зависимости от временного сопротивления растяжению:

$$\varepsilon_{bt,u} = \frac{R_{bt}}{E_{bt}'} = \frac{2 \cdot R_{bt}}{E_{bt}}$$

Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении может быть определен из специальных испытаний при низком уровне напряжений

$$\frac{\sigma_b}{R_b} \leq 0,2.$$

Существуют различные эмпирические формулы для определения E_b .

Для тяжелого бетона естественного твердения:

$$E_b = \frac{43000 \cdot B}{21 + B}; \quad E_b = \frac{5,5 \cdot 10^5 \cdot B}{870 + B} - СССР;$$

$$E_c = 3320 \cdot \sqrt{f_c'} + 690 - Канада; \quad E_c = \omega \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f_c'} - США,$$

где: f_c' – нормативная цилиндрическая прочность; ω – в кг / м³

Модуль деформации бетона

Предельная растяжимость бетона в зависимости от временного сопротивления растяжению:

$$\varepsilon_{bt,u} = \frac{R_{bt}}{E_{bt}'} = \frac{2 \cdot R_{bt}}{E_{bt}}$$

Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении может быть определен из специальных испытаний при низком уровне напряжений

$$\frac{\sigma_b}{R_b} \leq 0,2.$$

Существуют различные эмпирические формулы для определения E_b .

Для тяжелого бетона естественного твердения:

$$E_b = \frac{43000 \cdot B}{21 + B}; \quad E_b = \frac{5,5 \cdot 10^5 \cdot B}{870 + B} - \text{СССР};$$

$$E_c = 3320 \cdot \sqrt{f_c'} + 690 - \text{Канада}; \quad E_c = \omega \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f_c'} - \text{США},$$

где: f_c' – нормативная цилиндрическая прочность; ω – в кг/м³

Модуль сдвига:
$$G = \frac{E_b}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

При коэффициенте Пуассона

$$\nu \approx 0,2 \quad G \approx 0,4 \cdot E_b.$$

Зависимость начального модуля упругости от возраста бетона к моменту нагружения

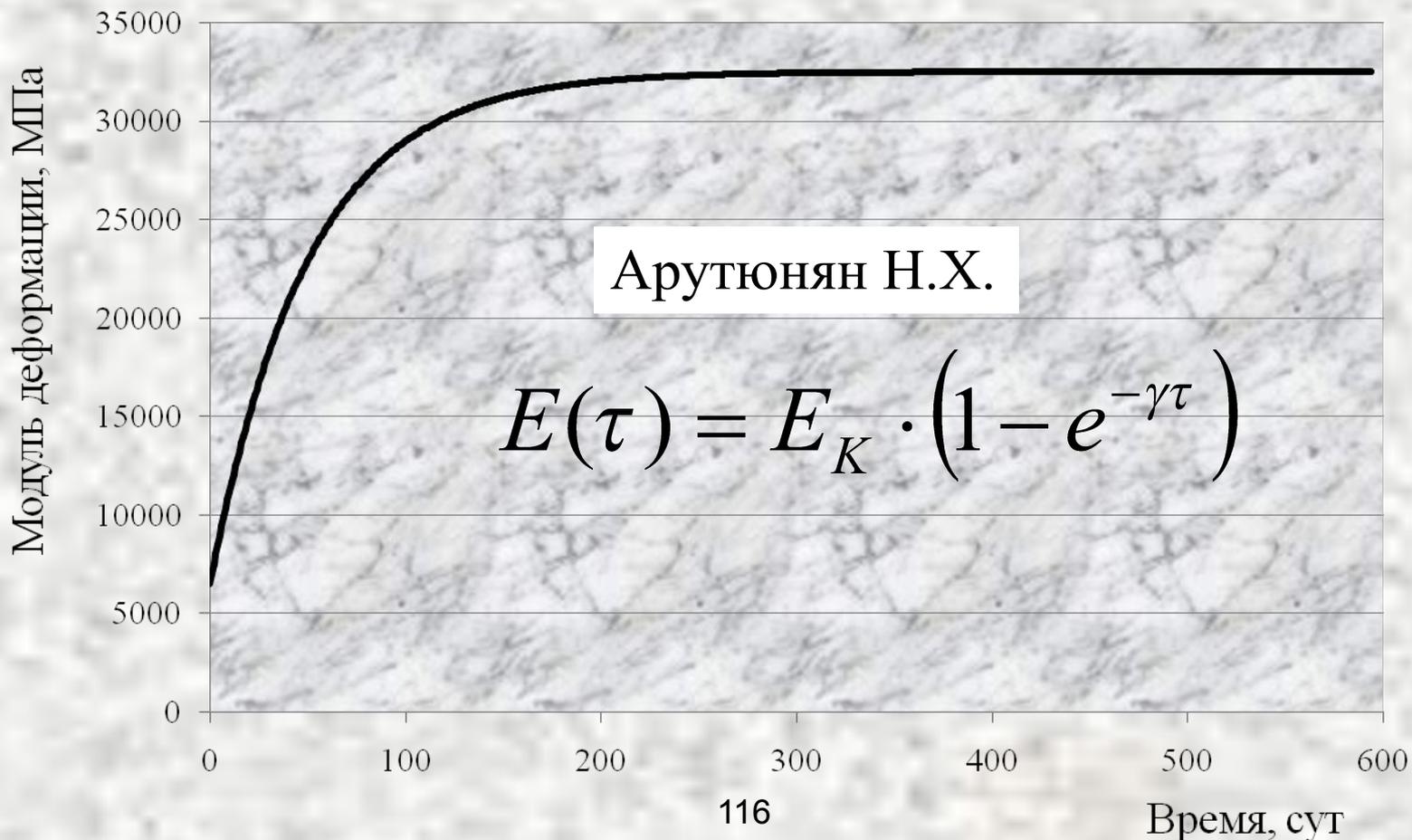


Диаграмма деформирования бетона σ – ε ($t = 0^{\circ}\text{C}$)

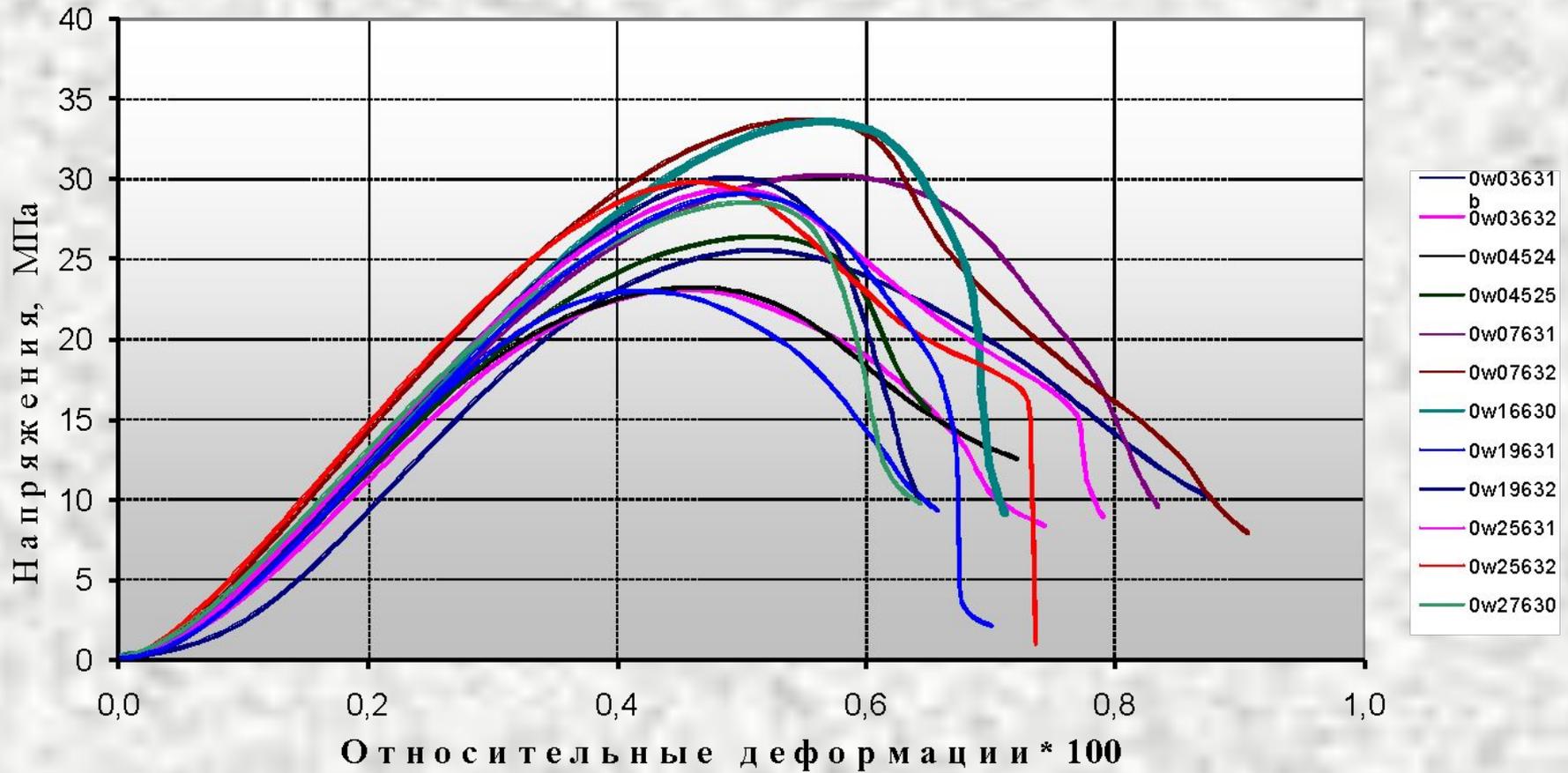


Диаграмма деформирования бетона σ – ε ($t = -40^{\circ}\text{C}$)

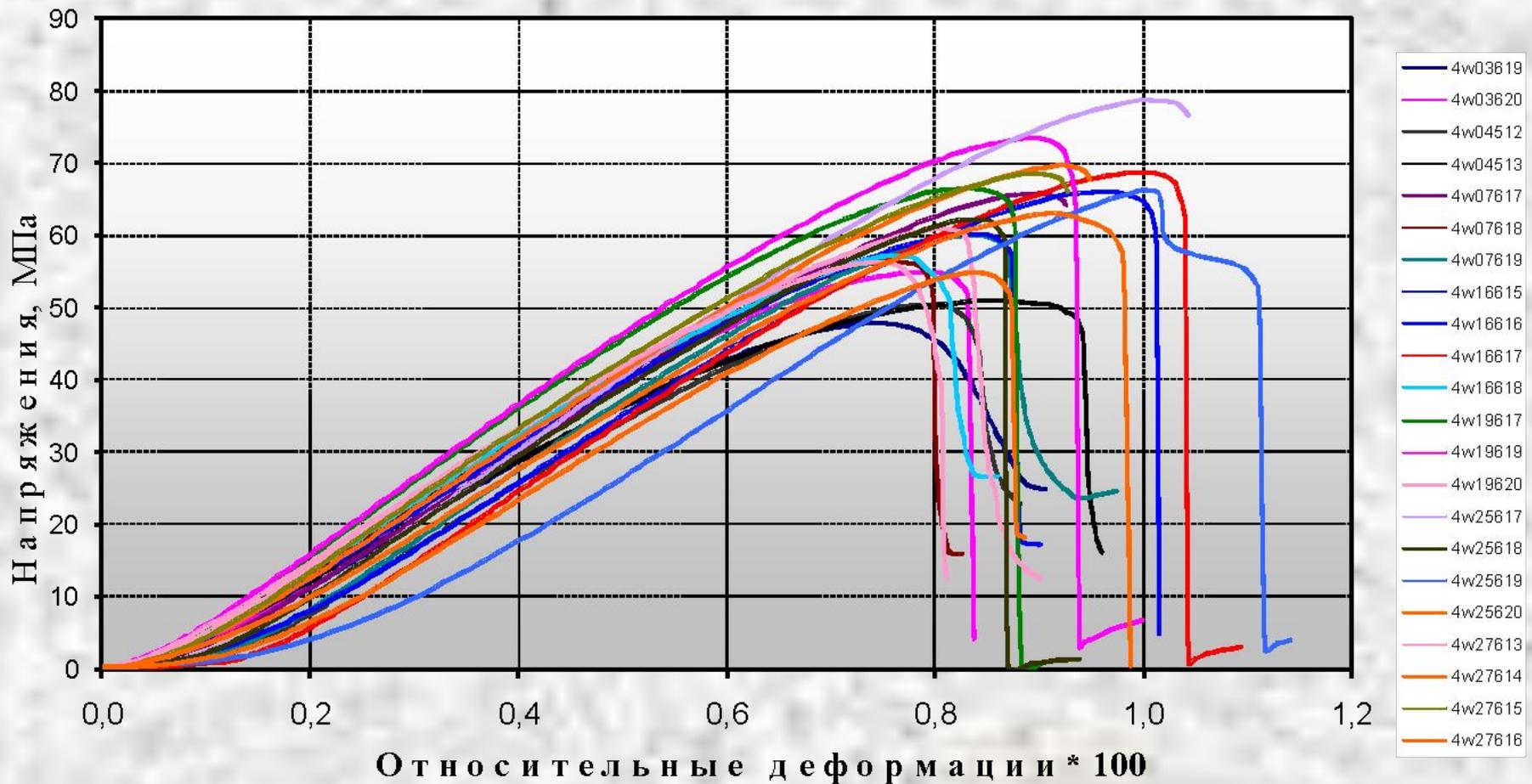
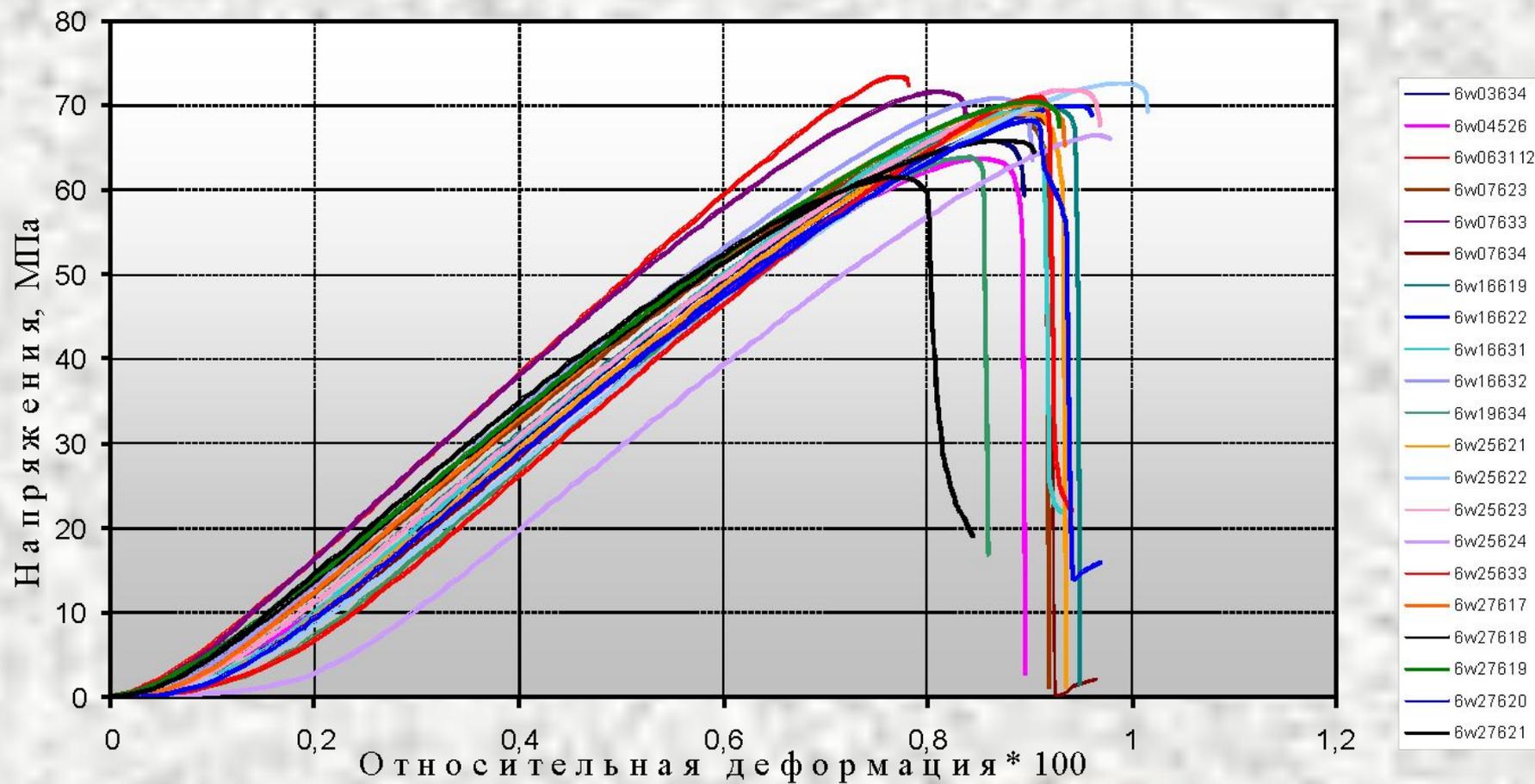
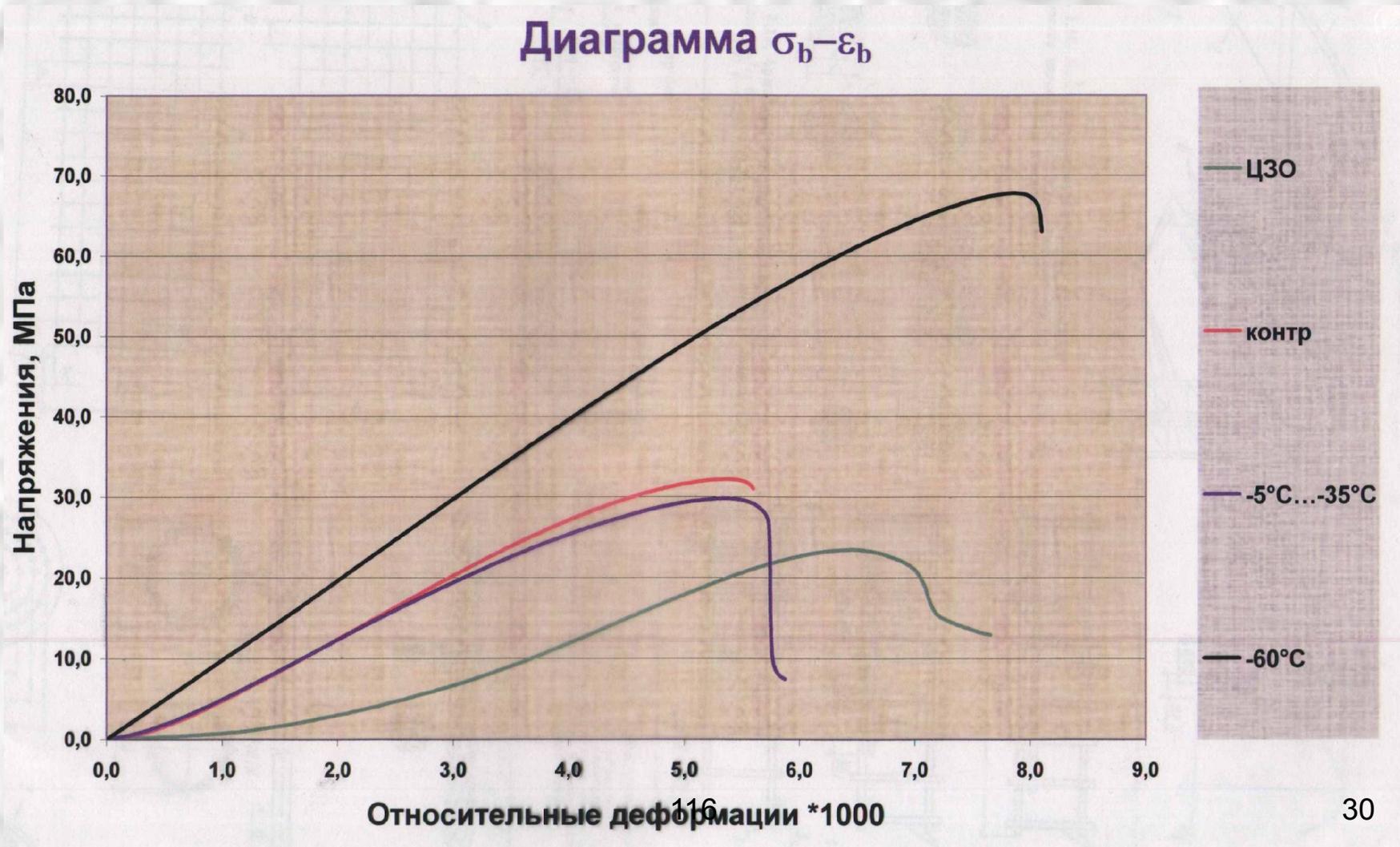


Диаграмма деформирования бетона σ – ε ($t = -60^{\circ}\text{C}$)



Влияние температуры и ЦЗО на диаграмму деформирования бетона $\sigma-\varepsilon$



Самостоятельно:

- Плотный силикатный бетон – бесцементный бетон автоклавного твердения, на основе известкового вяжущего (известково-песчаного, известково-шлакового).

Самостоятельно:

- *Плотный силикатный бетон – относятся к группе тяжелых бетонов с заполнителем из кварцевых песков.*
- *Обладает хорошим сцеплением с арматурой и защищает ее от коррозии.*
- *E_b в 1,5...2 раза меньше, чем у равнопрочного цементного бетона.*
- *В неблагоприятных условиях (большие динамические нагрузки, усиленное воздействие атмосферных осадков) применение ограничено.*

Самостоятельно:

- **Кислотостойкий бетон.** Применяют пуццолановый портландцемент, шлаковый портландцемент, жидкое стекло применяется для конструкций подземных сооружений, покрытий некоторых цехов химической промышленности, цветной металлургии.

Самостоятельно:

- **Бетонополимеры.** Бетон на цементном вяжущем с последующей пропиткой полимерными материалами по специально разработанной технологии. Имеют улучшенные физико-механические свойства. Используется при изготовлении напорных труб, дорожных плит, колонн, ригелей и др.

Самостоятельно:

- **Полимербетон.** В качестве вяжущего используются полимерные материалы (смолы, различные эмульсии) существенно повышающие его прочность на сжатие и растяжение, значительно повышающие стойкость в агрессивных средах, улучшающие сцепление с арматурой.
- Используется в химической, пищевой, электрометаллургической и других отраслях промышленности.