

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

Наиболее распространенные изгибаемые элементы — плиты и балки.

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

Наиболее распространенные изгибаемые элементы — плиты и балки.

Плиты — плоские элементы, толщина которых значительно меньше длины и ширины.

Балки — линейные элементы, длина которых значительно превышает поперечные размеры.

Плиты и балки могут быть однопролетными и многопролетными.

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

Наиболее распространенные изгибаемые элементы – плиты и балки.

Плиты – плоские элементы, толщина которых значительно меньше длины и ширины.

Балки – линейные элементы, длина которых значительно превышает поперечные размеры.

Плиты и балки могут быть однопролетными и многопролетными.

Плиты армируют сварными сетками.

Сетки укладывают так, чтобы стержни их рабочей арматуры воспринимали растягивающие усилия, возникающие при изгибе, в соответствии с эпюрами изгибающих моментов.

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

Плиты армируют сварными сетками.

Сетки укладывают так, чтобы стержни их рабочей арматуры воспринимали растягивающие усилия, возникающие при изгибе, в соответствии с эпюрами изгибающих моментов.

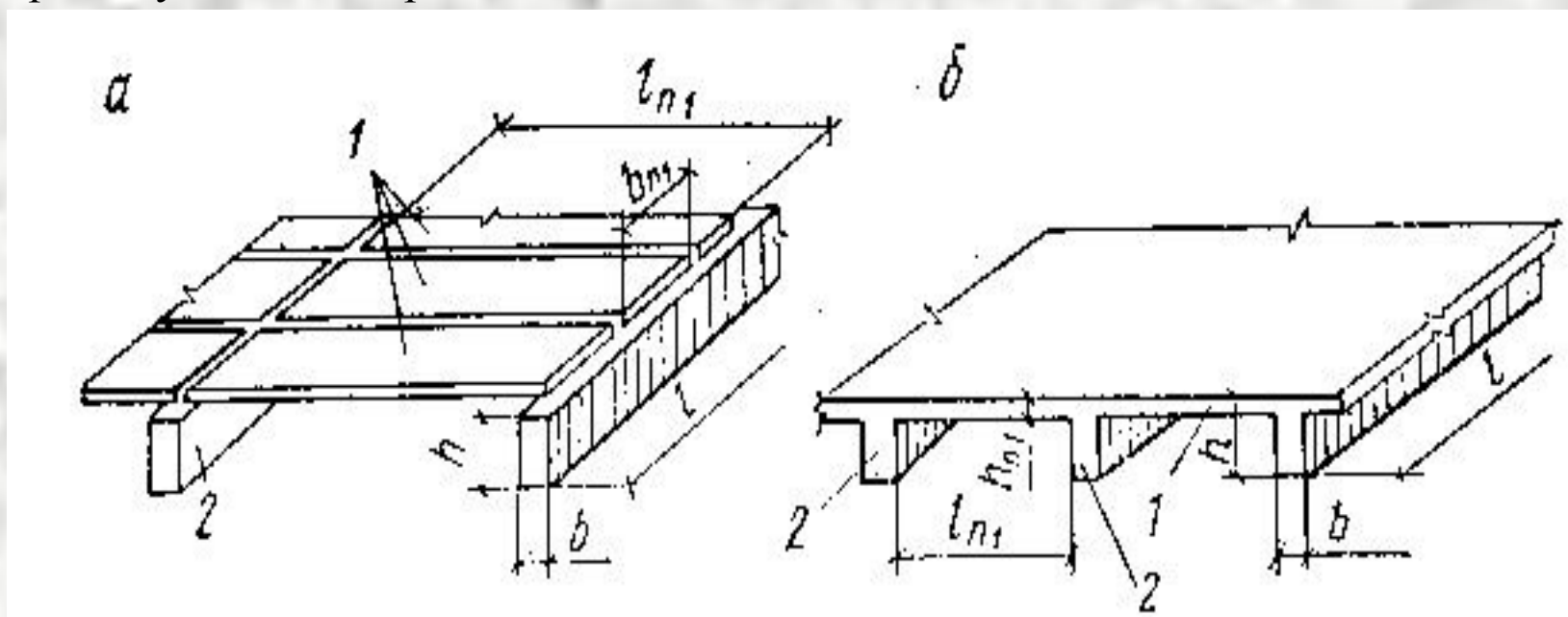
В плитах сетки размещаются понизу, а в многопролетных плитах и поверху, над промежуточных опорах.

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

Плиты армируют сварными сетками.

Сетки укладывают так, чтобы стержни их рабочей арматуры воспринимали растягивающие усилия, возникающие при изгибе, в соответствии с эпюрами изгибающих моментов.

В плитах сетки размещаются понизу, а в многопролетных плитах и поверху, над промежуточных опорах.



Схемы перекрытий из железобетонных элементов
а — сборное; б — монолитное; 1 — плиты; 2 — балки

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

Стержни рабочей арматуры принимают диаметром *3...10мм*, с шагом *100...200мм*. Защитный слой бетона для рабочей арматуры принимают не менее диаметра и *не менее 10мм*, а в толстых плитах (*толще 100мм*) *не менее 15 мм*.

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

Стержни рабочей арматуры принимают диаметром *3...10мм*, с шагом *100...200мм*. Защитный слой бетона для рабочей арматуры принимают не менее диаметра и *не менее 10мм*, а в толстых плитах (*толще 100мм*) *не менее 15 мм*.

Поперечные стержни сеток (распределительная арматура) устанавливают для обеспечения проектного положения рабочих стержней, уменьшения усадочных и температурных деформаций конструкции, распределения местного воздействия сосредоточенных нагрузок.

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов

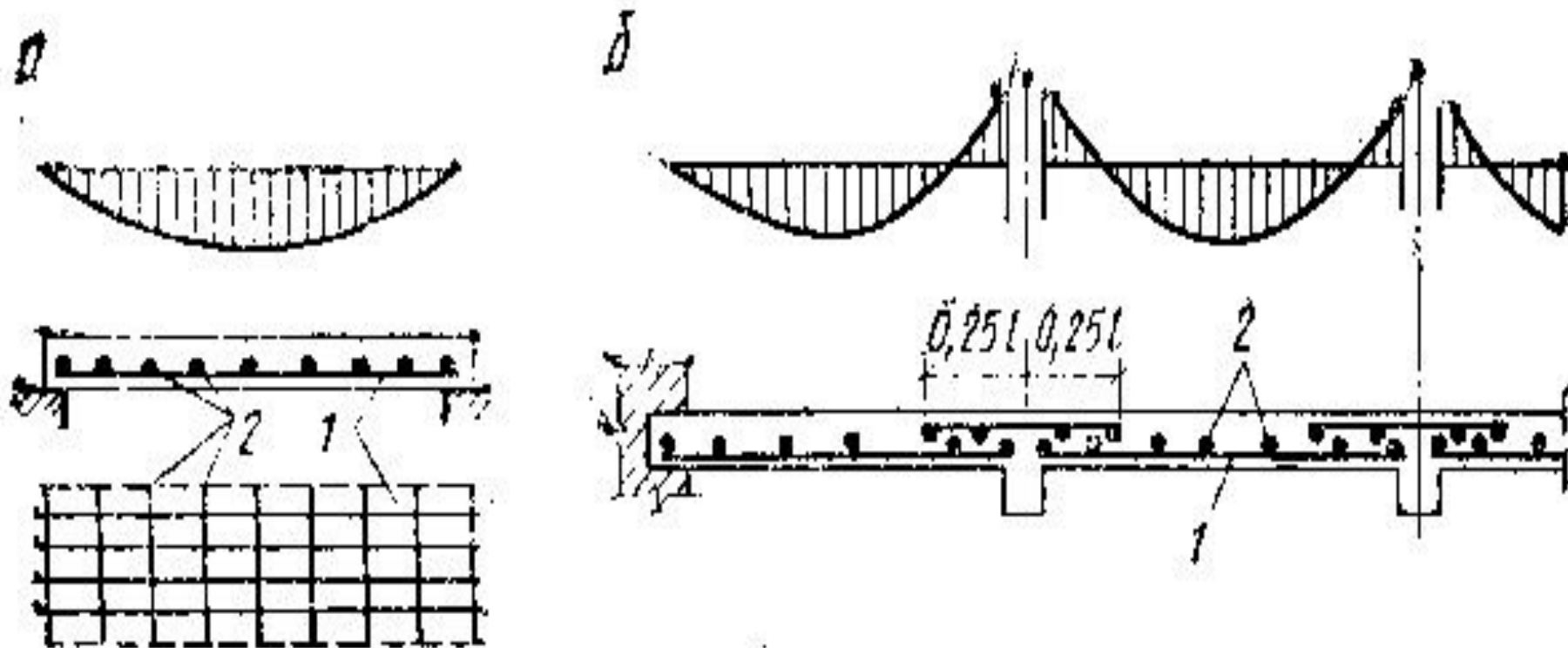
Стержни рабочей арматуры принимают диаметром *3...10мм*, с шагом *100...200мм*. Защитный слой бетона для рабочей арматуры принимают не менее диаметра и *не менее 10мм*, а в толстых плитах (*толще 100мм*) *не менее 15 мм*.

Поперечные стержни сеток (распределительная арматура) устанавливают для обеспечения проектного положения рабочих стержней, уменьшения усадочных и температурных деформаций конструкции, распределения местного воздействия сосредоточенных нагрузок.

Общее сечение поперечных стержней принимают *не менее 10%* сечения рабочей арматуры.

Шаг поперечных стержней – *250...350мм*.

Конструктивные особенности изгибаемых железобетонных элементов



Однопролетная (а) и многопролетная (б) плиты при действии равномерно распределенной нагрузки

1 — стержни рабочей арматуры;

2 — стержни распределительной арматуры

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ

Железобетонные балки могут быть сборными, монолитными и сборно-монолитными, по форме поперечного сечения – *прямоугольного, таврового двутаврового, трапецевидного* и т. д.

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ

Железобетонные балки могут быть сборными, монолитными и сборно-монолитными, по форме поперечного сечения – *прямоугольного, таврового двутаврового, трапецевидного* и т. д.

Высота сечения балок может быть *$1/10...1/20$* от пролета и назначается *кратной 50мм*, если она *не более 600мм*, и *кратной 100мм* – *при $h > 600мм$ и $\leq 800мм$* , затем *1000мм и 1200мм* и далее кратные *300мм*.

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ

Железобетонные балки могут быть сборными, монолитными и сборно-монолитными, по форме поперечного сечения – *прямоугольного, таврового двутаврового, трапецевидного* и т. д.

Высота сечения балок может быть $1/10...1/20$ от пролета и назначается *кратной 50мм*, если она *не более 600мм*, и *кратной 100мм* – *при $h > 600мм$ и $\leq 800мм$* , затем *1000мм и 1200мм и далее кратные 300мм*.

Ширину прямоугольных сечений принимают $b=(0,30...0,5)h$. Ширина сечения балок зависит от диаметра продольной арматуры и крупности заполнителя. Рекомендуемая ширина сечения балок $b=100, 150, 200, 220, 250мм$ и далее *кратно 50мм*.

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ

Железобетонные балки могут быть сборными, монолитными и сборно-монолитными, по форме поперечного сечения – *прямоугольного, таврового двутаврового, трапецевидного* и т. д.

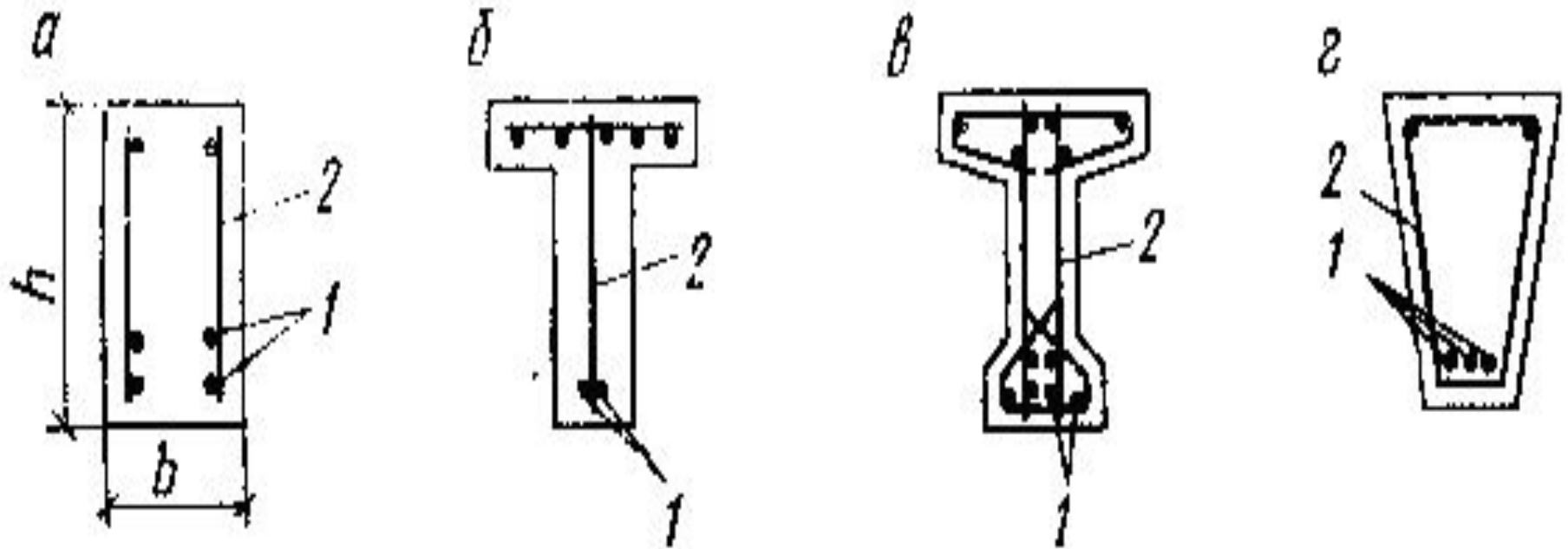
Высота сечения балок может быть $1/10...1/20$ от пролета и назначается *кратной 50мм*, если она *не более 600мм*, и *кратной 100мм* – *при $h > 600мм$ и $\leq 800мм$, затем 1000мм и 1200мм и далее кратные 300мм*.

Ширину прямоугольных сечений принимают $b=(0,30...0,5)h$. Ширина сечения балок зависит от диаметра продольной арматуры и крупности заполнителя. Рекомендуемая ширина сечения балок $b=100, 150, 200, 220, 250мм$ и далее *кратно 50мм*.

Число продольных рабочих гибких стержней, заводимых за грань опоры балки, должно быть не менее двух.

При ширине $b \leq 150мм$ допускается установка одного стержня.

Поперечное сечение балок и схемы армирования



***а** — прямоугольное; **б** — тавровое; **в** — двутавровое; **г** — трапецевидное
1 — продольные стержни; 2 — поперечная арматура*

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ

Расстояние в свету между стержнями продольной арматуры, должно быть *не менее наибольшего диаметра стержней*, при этом для нижних горизонтальных (при бетонировании) - *не менее 25мм*, а для верхних стержней – *не менее 30мм*.

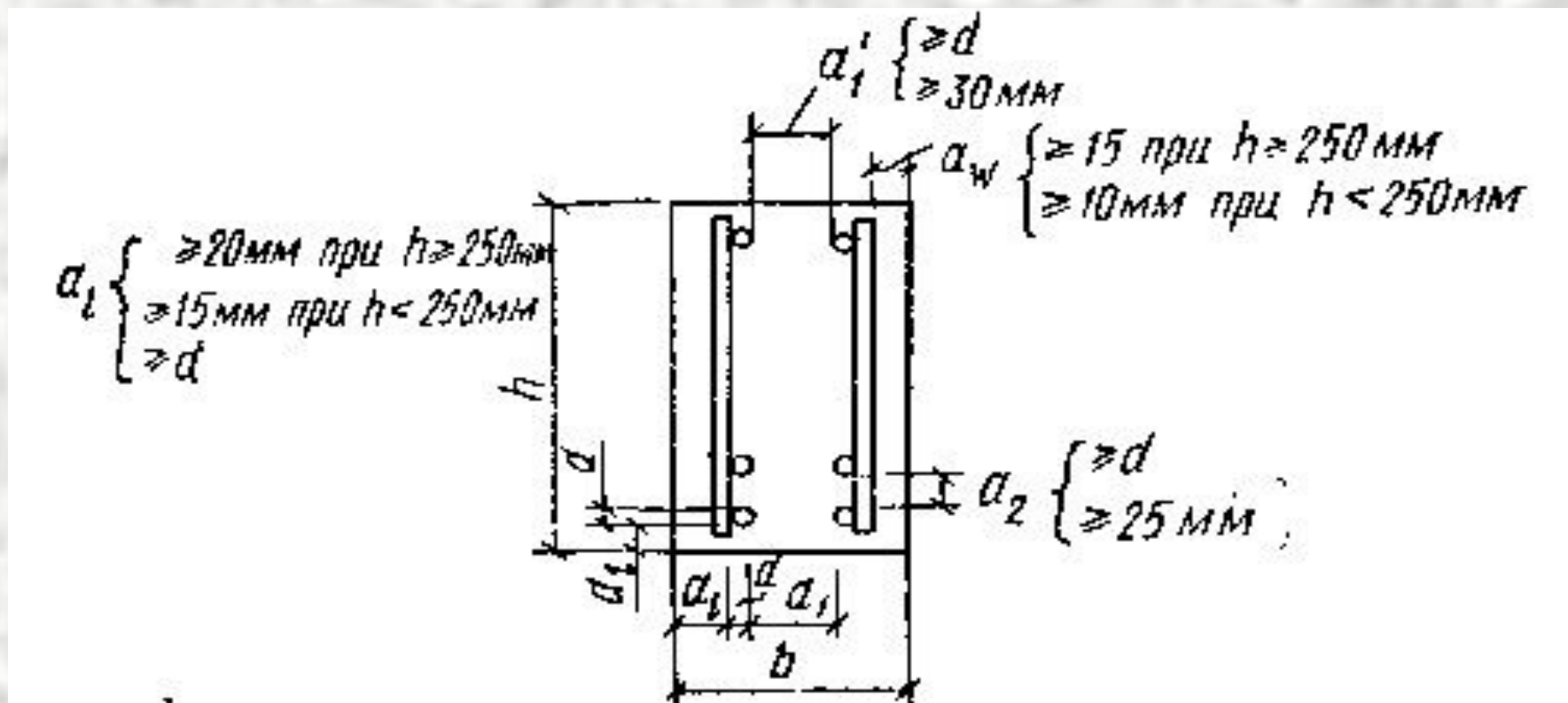
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ

Расстояние в свету между стержнями продольной арматуры, должно быть *не менее наибольшего диаметра стержней*, при этом для нижних горизонтальных (при бетонировании) - *не менее 25мм*, а для верхних стержней – *не менее 30мм*.

При расположении нижней арматуры более чем в два раза по высоте сечения расстояние между стержнями, расположенными в третьем и следующих рядах, должно быть *не менее 50мм*.

В стесненных условиях стержни можно располагать попарно без зазоров.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок



a_1 — защитный слой бетона для рабочей арматуры; a_w — то же для поперечной арматуры; d — наибольший диаметр рабочих стержней; a_1 — расстояние в свету между нижними (при бетонировании) продольными стержнями; a_1' — то же, между верхними (при бетонировании) стержнями; a_2 — расстояние в свету между рядами продольных стержней

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Продольную рабочую арматуру в балках (и плитах) укладывают согласно эпюрам изгибающих моментов в растянутых зонах.

Для экономии стали часть продольных арматурных стержней можно не доводить до опор и обрывать в пролете в месте, где они по расчету на восприятие изгибающего момента не требуется.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Продольную рабочую арматуру в балках (и плитах) укладывают согласно эпюрам изгибающих моментов в растянутых зонах.

Для экономии стали часть продольных арматурных стержней можно не доводить до опор и обрывать в пролете в месте, где они по расчету на восприятие изгибающего момента не требуется.

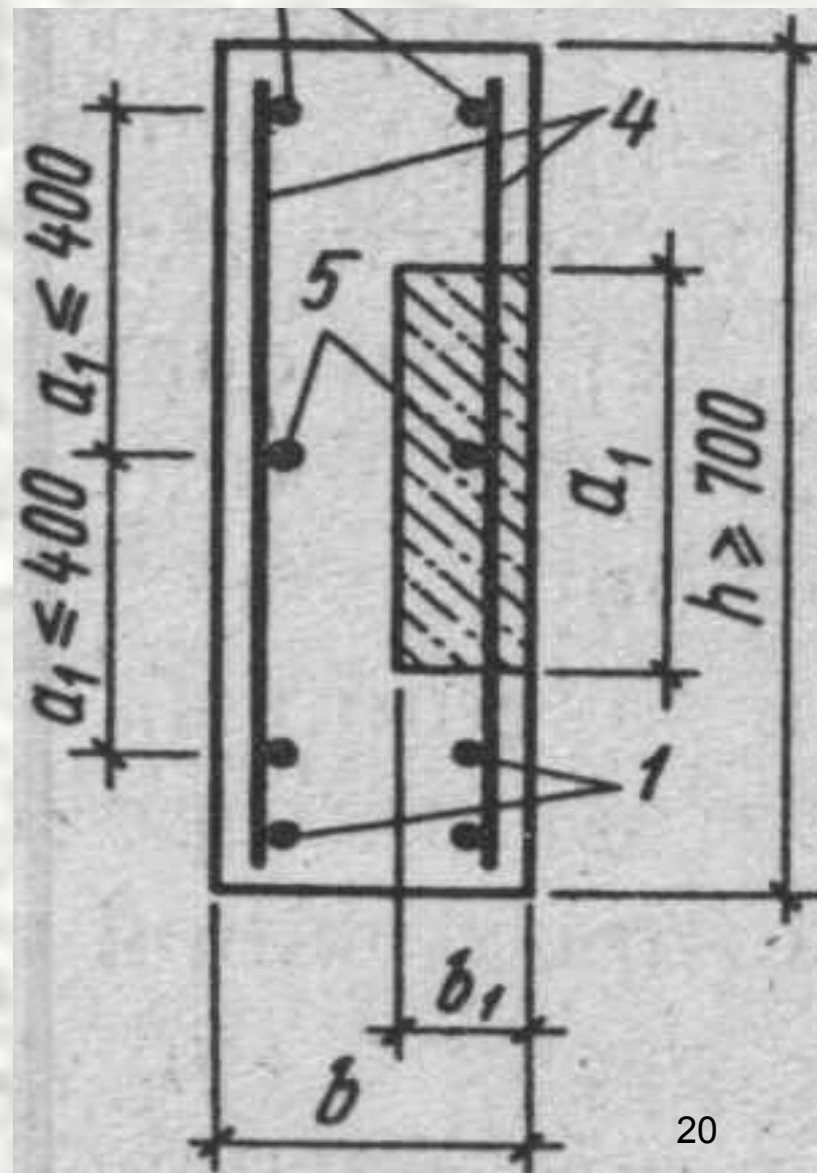
Диаметр стержней рабочей арматуры балок $d \geq 10 \text{ мм}$.

Желательно назначать все рабочие стержни одинакового диаметра и *не более 32 мм*.

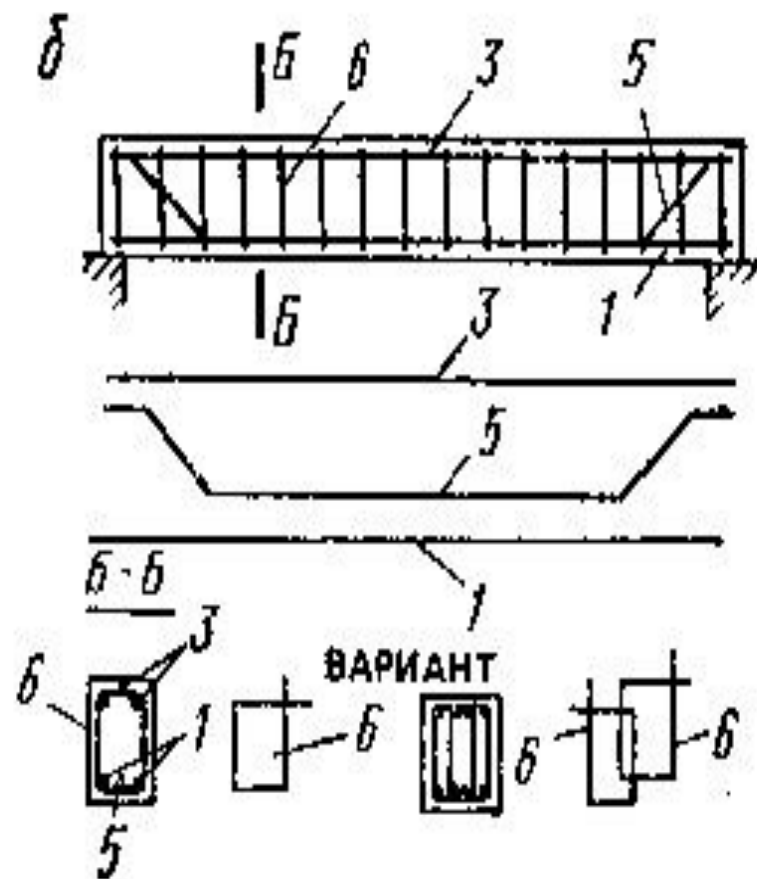
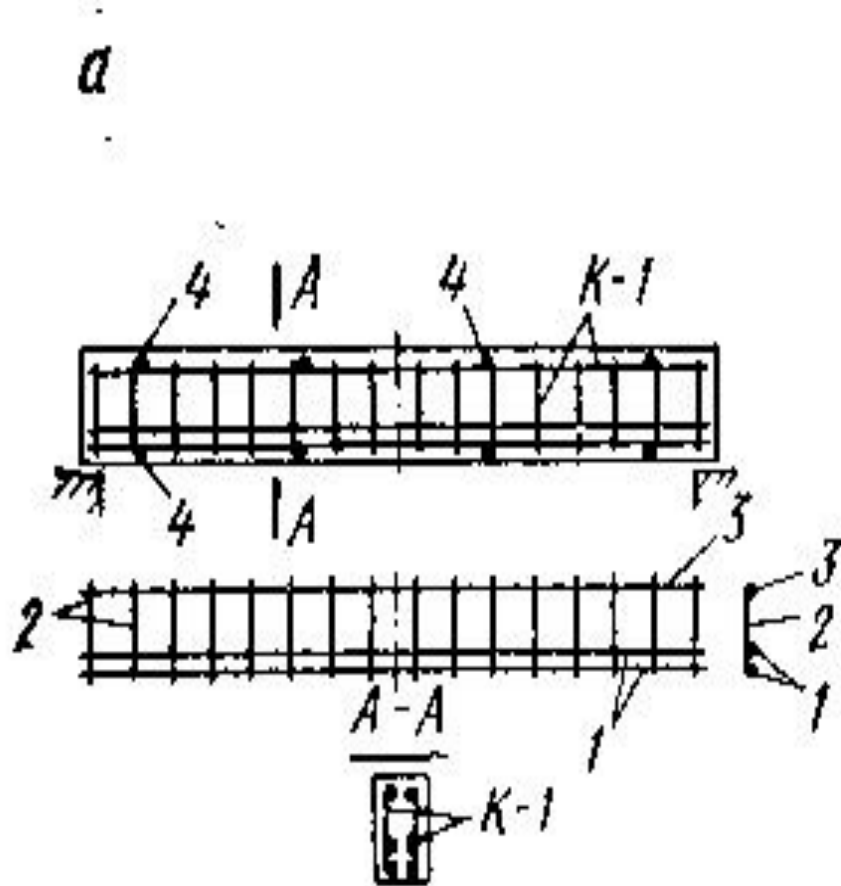
При назначении рабочей арматуры для элементов из легкого бетона предпочтение рекомендуется отдавать мелким диаметрам ($d \leq 18 \text{ мм}$).

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

При высоте сечения **более 700мм** у боковых граней должны ставиться монтажные продольные стержни с площадью сечения **не менее 0,1%** от площади A_{b1} .



Схемы армирования балок сварными каркасами (а) и вязаной арматурой (б)



1 — продольные рабочие стержни (стержни второго ряда не доведены до опор); 2 — поперечные стержни каркасов; 3 — продольные монтажные стержни; 4 — поперечные соединительные стержни; 5 — рабочие стержни с отгибами; 6 — хомуты вязаных каркасов

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Продольную и поперечную арматуру объединяют в сварные или вязанные каркасы.

Вязанные каркасы весьма трудоемки и применяются в случаях, если изготовление сварных каркасов невозможно.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Продольную и поперечную арматуру объединяют в сварные или вязанные каркасы.

Вязанные каркасы весьма трудоемки и применяются в случаях, если изготовление сварных каркасов невозможно.

Плоские сварные каркасы объединяют в пространственные с помощью горизонтальных поперечных стержней, устанавливаемых через *1...1,5 м*. При армировании вязаными каркасами хомуты в балках прямоугольного сечения делают замкнутыми.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Продольную и поперечную арматуру объединяют в сварные или вязанные каркасы.

Вязанные каркасы весьма трудоемки и применяются в случаях, если изготовление сварных каркасов невозможно.

Плоские сварные каркасы объединяют в пространственные с помощью горизонтальных поперечных стержней, устанавливаемых через *1...1,5 м*.

При армировании вязаными каркасами хомуты в балках прямоугольного сечения делают замкнутыми.

В балках шириной *более 350мм* устанавливают многоветвевые хомуты.

Диаметр хомутов вязанных каркасов принимают *не менее 6 мм* при высоте балок *до 800мм* и *не менее 8 мм* при большей высоте.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Продольную и поперечную арматуру объединяют в сварные или вязанные каркасы.

Вязанные каркасы весьма трудоемки и применяются в случаях, если изготовление сварных каркасов невозможно.

Плоские сварные каркасы объединяют в пространственные с помощью горизонтальных поперечных стержней, устанавливаемых через *1...1,5 м*.

При армировании вязаными каркасами хомуты в балках прямоугольного сечения делают замкнутыми.

В балках шириной *более 350мм* устанавливают многоветвевые хомуты.

Диаметр хомутов вязанных каркасов принимают *не менее 6 мм* при высоте балок *до 800мм* и *не менее 8 мм* при большей высоте.

Поперечную арматуру следует устанавливать исходя из расчета на восприятие усилий, а также с целью ограничения развития трещин, удержания продольных стержней в проектном положении и закрепления их от бокового выпучивания в любом направлении.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

Плоские сварные каркасы объединяют в пространственные с помощью горизонтальных поперечных стержней, устанавливаемых через *1...1,5 м*.

При армировании вязаными каркасами хомуты в балках прямоугольного сечения делают замкнутыми.

В балках шириной *более 350 мм* устанавливают многоветвевые хомуты.

Диаметр хомутов вязаных каркасов принимают *не менее 6 мм* при высоте балок *до 800 мм* и *не менее 8 мм* при большей высоте.

Поперечную арматуру следует устанавливать исходя из расчета на восприятие усилий, а также с целью ограничения развития трещин, удержания продольных стержней в проектном положении и закрепления их от бокового выпучивания в любом направлении.

Поперечную арматуру устанавливают у всех поверхностей железобетонных элементов, вблизи которых ставится продольная арматура.

При этом расстояния между поперечными стержнями у каждой поверхности элемента должны быть *не более 600 мм* и не более удвоенной ширины грани элемента.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

В балках шириной **более 350мм** устанавливают многоветвевые хомуты.

Диаметр хомутов вязаных каркасов принимают **не менее 6 мм** при высоте балок **до 800мм** и **не менее 8 мм** при большей высоте.

Поперечную арматуру следует устанавливать исходя из расчета на восприятие усилий, а также с целью ограничения развития трещин, удержания продольных стержней в проектном положении и закрепления их от бокового выпучивания в любом направлении.

Поперечную арматуру устанавливают у всех поверхностей железобетонных элементов, вблизи которых ставится продольная арматура.

При этом расстояния между поперечными стержнями у каждой поверхности элемента должны быть **не более 600 мм** и не более удвоенной ширины грани элемента.

Шаг и диаметр поперечной арматуры в балках устанавливается по расчету на действие поперечной силы. Диаметр поперечной арматуры в вязаных каркасах изгибаемых элементов принимают **не менее 6 мм**.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

При этом по конструктивным условиям на опорах балок длиной $\frac{1}{4}$ *пролета* при равномерно распределенной нагрузке расстояние между поперечными стержнями (или хомутами) в элементах без отгибов должно быть:

- В железобетонных элементах, в которых поперечная сила по расчету не может быть воспринята только бетоном, следует предусматривать установку поперечной арматуры с шагом не более $0,5h_0$ и *не более 300 мм.*

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

При этом по конструктивным условиям на пропорных участках балок длиной $\frac{1}{4}$ *пролета* при равномерно распределенной нагрузке расстояние между поперечными стержнями (или хомутами) в элементах без отгибов должно быть:

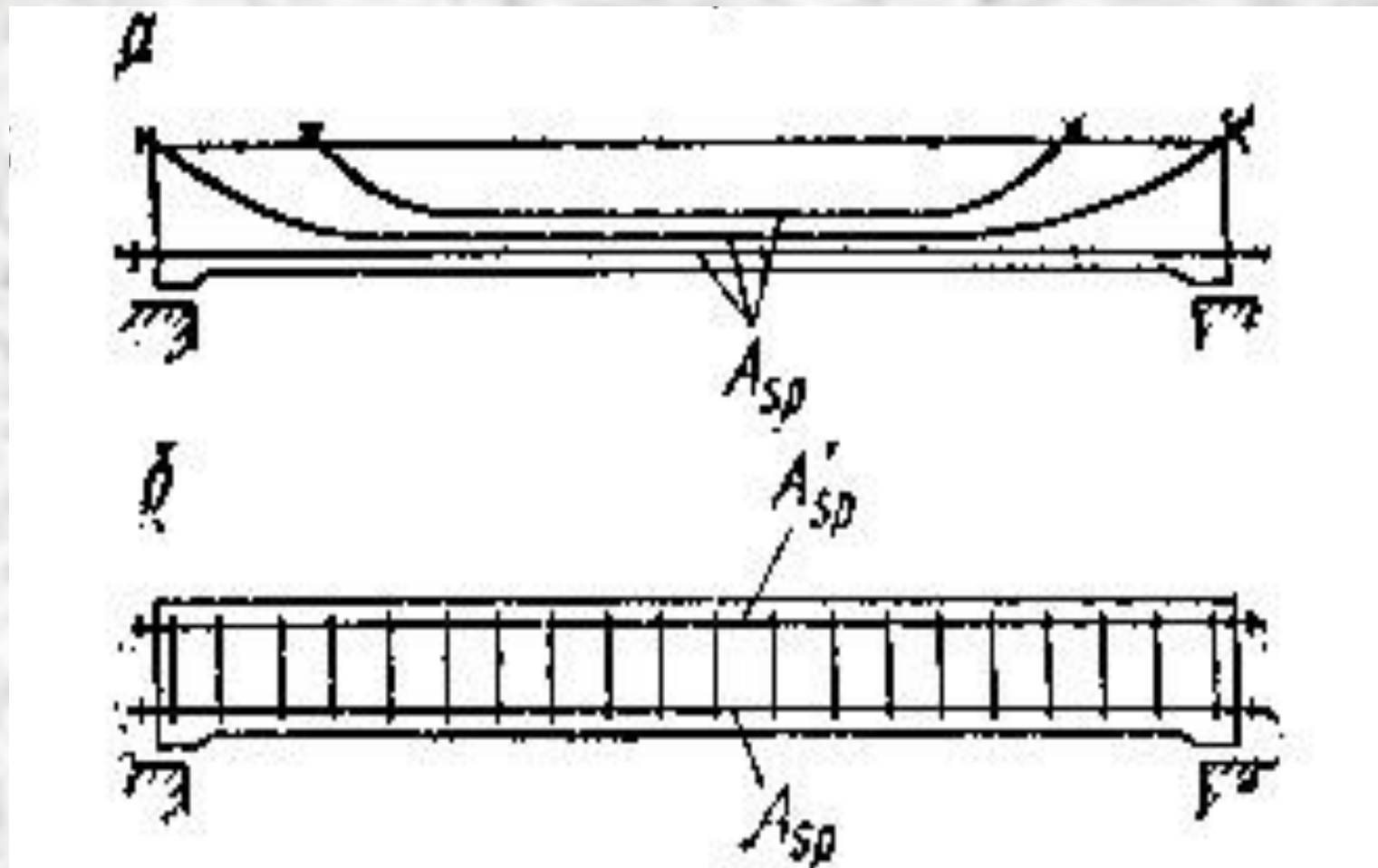
- В железобетонных элементах, в которых поперечная сила по расчету не может быть воспринята только бетоном, следует предусматривать установку поперечной арматуры с шагом не более $0,5h_0$ и *не более 300 мм*.
- В сплошных плитах, а также в многопустотных и часторебристых плитах высотой *менее 300 мм* и в балках (ребрах) высотой *менее 150 мм* на участке элемента, где поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, поперечную арматуру можно не устанавливать.

Размещение арматуры в поперечном сечении балок

При этом по конструктивным условиям на пропорных участках балок длиной $\frac{1}{4}$ *пролета* при равномерно распределенной нагрузке расстояние между поперечными стержнями (или хомутами) в элементах без отгибов должно быть:

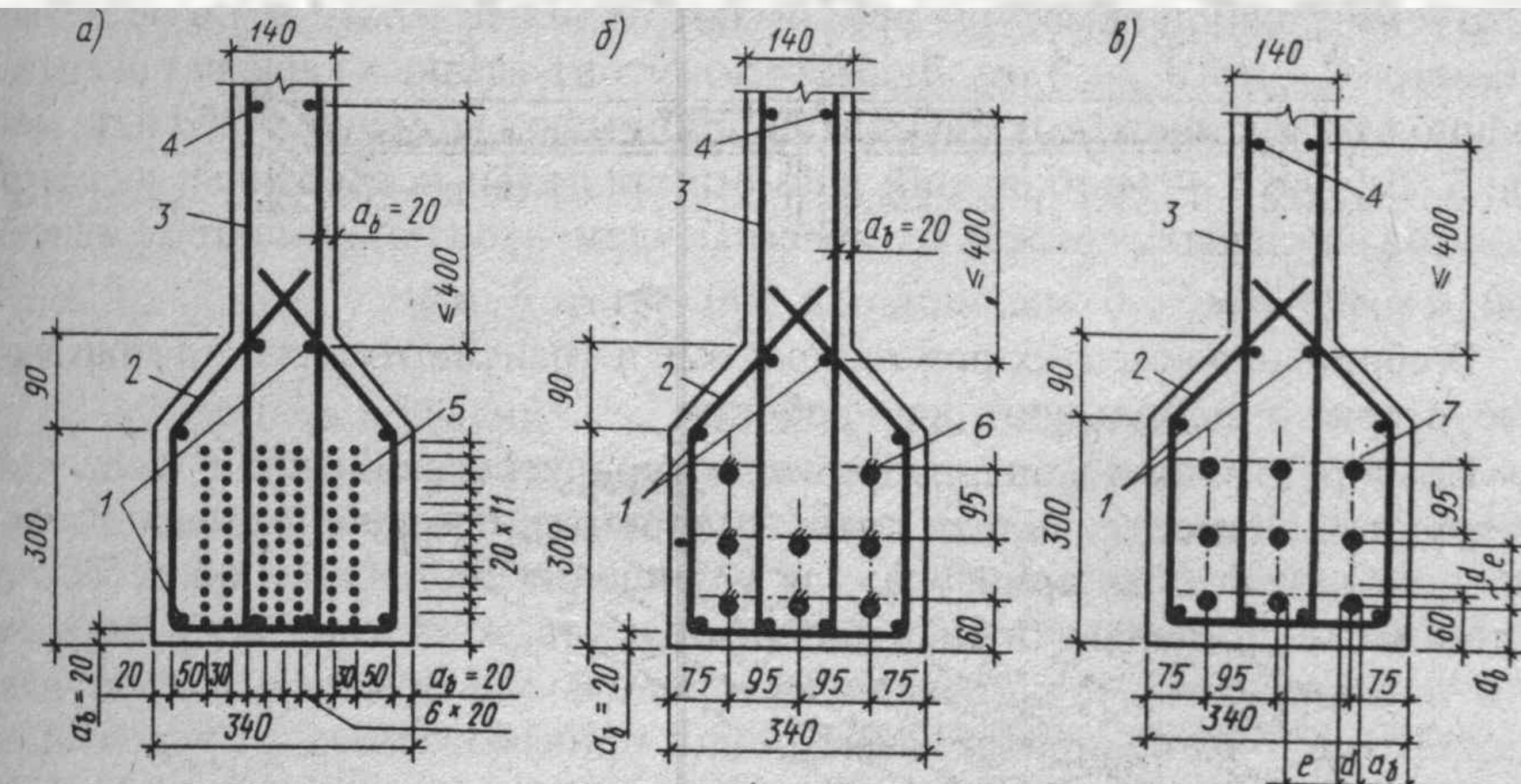
- В железобетонных элементах, в которых поперечная сила по расчету не может быть воспринята только бетоном, следует предусматривать установку поперечной арматуры с шагом не более $0,5h_0$ и не более 300 мм.
- В сплошных плитах, а также в многопустотных и часторебристых плитах высотой менее 300 мм и в балках (ребрах) высотой менее 150 мм на участке элемента, где поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, поперечную арматуру можно не устанавливать.
- В балках и ребрах высотой 150 мм и более, а также в часторебристых плитах высотой 300 мм и более на участках элемента, где поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном, следует предусматривать установку поперечной арматуры с шагом не более $0,75h_0$ и не более 500 мм.

Схемы армирования предварительно напряженных балок



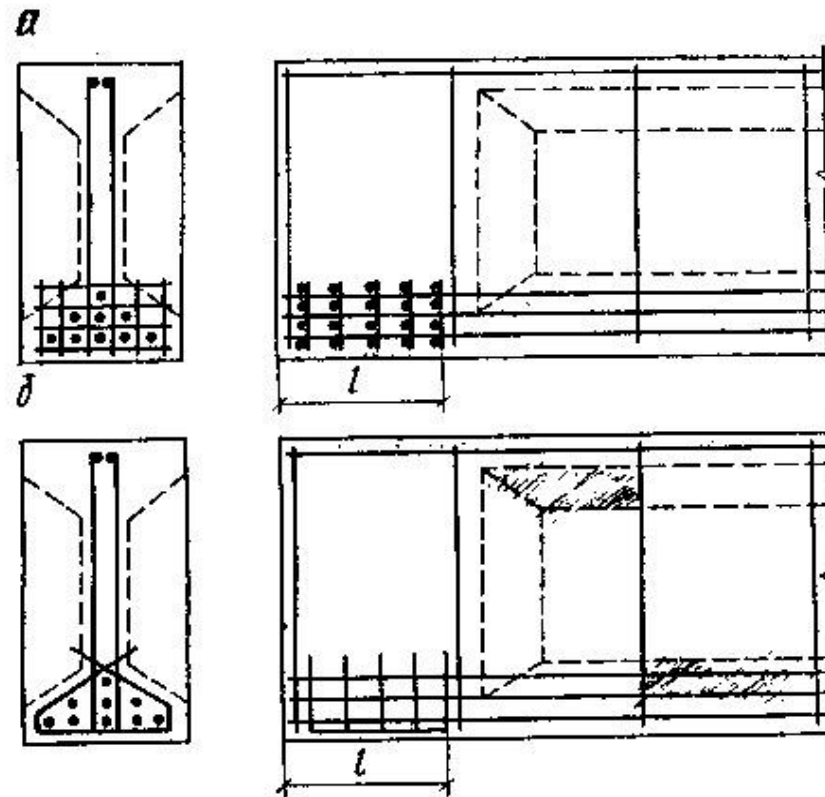
*а — криволинейной напрягаемой арматурой;
б — прямолинейной напрягаемой арматурой*

Примеры армирования растянутой зоны балки



а — отдельными проволоками; б — стержнями; в — канатами (пучками); 1 — продольная монтажная ненапрягаемая арматура; 2 — ромбические хомуты; 3 — прямоугольные хомуты; 4 — конструктивная арматура; 5 — высокопрочная проволока; 6 — отдельные стержни; 7 — канаты (пучки)

Схемы местного усиления концевых участков предварительно напряженных балок



а — поперечными сварными сетками;
б — хомутами или сварной сеткой в обхват

Расчет по нормальному сечению изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля без предварительного напряжения с одиночным армированием

Железобетонными элементами с одиночным армированием называются такие элементы, у которых расчетная продольная рабочая арматура расположена у растянутой грани.

Расчет по нормальному сечению изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля без предварительного напряжения с одиночным армированием

Железобетонными элементами с одиночным армированием называются такие элементы, у которых расчетная продольная рабочая арматура расположена у растянутой грани.

Расчет прочности по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов ведется по ***III стадии напряженно-деформированного состояния (стадии разрушения)***.

Возможны два случая разрушения изгибаемых элементов по нормальным сечениям.

Расчет по нормальному сечению изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля без предварительного напряжения с одиночным армированием

Первый вариант разрушения носит пластический характер

Разрушение элемента начинается при достижении в растянутой арматуре физического или условного предела текучести.

Появляются и раскрываются трещины в бетоне растянутой зоны, после чего происходит дробление сжатой зоны бетона.

Расчет по нормальному сечению изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля без предварительного напряжения с одиночным армированием

Первый вариант разрушения носит пластический характер

Разрушение элемента начинается при достижении в растянутой арматуре физического или условного предела текучести.

Появляются и раскрываются трещины в бетоне растянутой зоны, после чего происходит дробление сжатой зоны бетона.

Процесс разрушения протекает плавно.

Прочностные характеристики арматуры используются полностью.

Расчет по нормальному сечению изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля без предварительного напряжения с одиночным армированием

При втором варианте разрушение носит хрупкий, катастрофический характер и начинается дроблением бетона сжатой зоны

Трещины в бетоне растянутой зоны либо не образуются, либо ширина их раскрытия в момент разрушения не превышает предельно допустимой.

Расчет по нормальному сечению изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля без предварительного напряжения с одиночным армированием

При втором варианте разрушение носит хрупкий, катастрофический характер и начинается дроблением бетона сжатой зоны

Трещины в бетоне растянутой зоны либо не образуются, либо ширина их раскрытия в момент разрушения не превышает предельно допустимой.

Напряжения в растянутой арматуре не достигают физического или условного предела текучести, следовательно, прочностные свойства арматуры используются не полностью.

Расчет по нормальному сечению изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля без предварительного напряжения с одиночным армированием

Характер разрушения определяется величиной относительной высоты сжатой зоны, которая зависит от коэффициента армирования, класса бетона и арматуры.

Основные предпосылки и допущения расчета по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов

- предельное состояние наступает в случае, если сжатый бетон или растянутая арматура достигает своего предельного состояния;

Основные предпосылки и допущения расчета по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов

- предельное состояние наступает в случае, если сжатый бетон или растянутая арматура достигает своего предельного состояния;
- разрушение элемента определяется в большинстве случаев разрушением бетона в сжатой зоне;

Основные предпосылки и допущения расчета по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов

- предельное состояние наступает в случае, если сжатый бетон или растянутая арматура достигает своего предельного состояния;
- разрушение элемента определяется в большинстве случаев разрушением бетона в сжатой зоне;
- расчет элементов производится из условия равновесия внешних сил и предельных внутренних усилий;

Основные предпосылки и допущения расчета по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов

- предельное состояние наступает в случае, если сжатый бетон или растянутая арматура достигает своего предельного состояния;
- разрушение элемента определяется в большинстве случаев разрушением бетона в сжатой зоне;
- расчет элементов производится из условия равновесия внешних сил и предельных внутренних усилий;
- сопротивление бетона растяжению принимается равным нулю;

Основные предпосылки и допущения расчета по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов

- предельное состояние наступает в случае, если сжатый бетон или растянутая арматура достигает своего предельного состояния;
- разрушение элемента определяется в большинстве случаев разрушением бетона в сжатой зоне;
- расчет элементов производится из условия равновесия внешних сил и предельных внутренних усилий;
- сопротивление бетона растяжению принимается равным нулю;
- бетон в сжатой зоне представляет собою жесткопластический материал;
- напряжения в бетоне сжатой зоны равномерно распределены по высоте сечения расчетной сжатой зоны и равны призмочной прочности бетона - расчетному сопротивлению бетона осевому сжатию для предельных состояний I группы;

Основные предпосылки и допущения расчета по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов

- предельное состояние наступает в случае, если сжатый бетон или растянутая арматура достигает своего предельного состояния;
- разрушение элемента определяется в большинстве случаев разрушением бетона в сжатой зоне;
- расчет элементов производится из условия равновесия внешних сил и предельных внутренних усилий;
- сопротивление бетона растяжению принимается равным нулю;
- бетон в сжатой зоне представляет собою жесткопластический материал;
- напряжения в бетоне сжатой зоны равномерно распределены по высоте сечения расчетной сжатой зоны и равны призмочной прочности бетона - расчетному сопротивлению бетона осевому сжатию для предельных состояний I группы;
- растягивающие напряжения в арматуре достигают расчетного сопротивления осевому растяжению, если высота условной сжатой зоны бетона не превосходит граничную высоту сжатой зоны бетона;
- справедлива гипотеза плоских сечений (сечение, плоское до изгиба, остается плоским после изгиба) (малость сдвига по сравнению с углами поворота);

Основные предпосылки и допущения расчета по нормальным сечениям изгибаемых железобетонных элементов

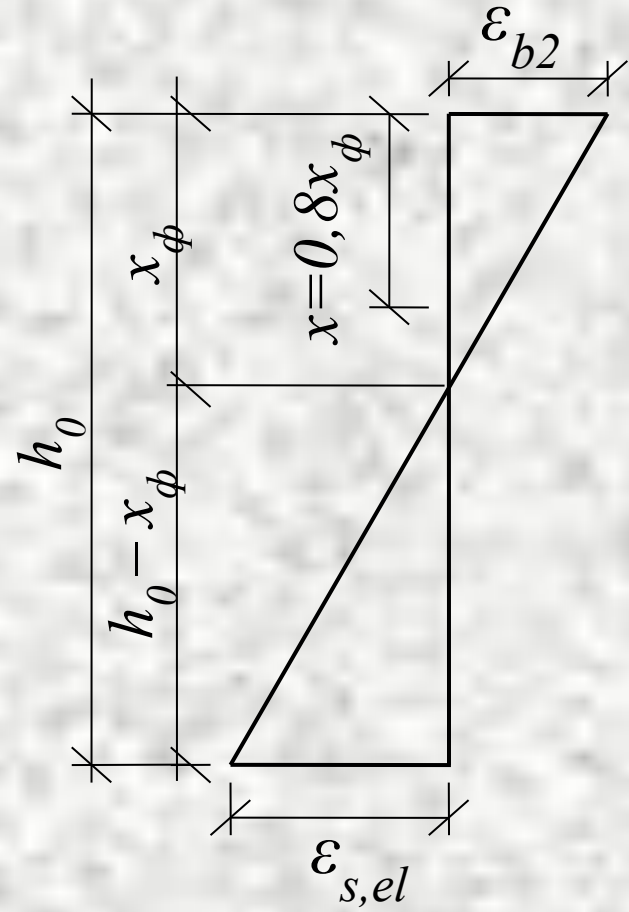
- предельное состояние наступает в случае, если сжатый бетон или растянутая арматура достигает своего предельного состояния;
- разрушение элемента определяется в большинстве случаев разрушением бетона в сжатой зоне;
- расчет элементов производится из условия равновесия внешних сил и предельных внутренних усилий;
- сопротивление бетона растяжению принимается равным нулю;
- бетон в сжатой зоне представляет собою жесткопластический материал;
- напряжения в бетоне сжатой зоны равномерно распределены по высоте сечения расчетной сжатой зоны и равны призменной прочности бетона - расчетному сопротивлению бетона осевому сжатию для предельных состояний I группы;
- растягивающие напряжения в арматуре достигают расчетного сопротивления осевому растяжению, если высота условной сжатой зоны бетона не превосходит граничную высоту сжатой зоны бетона;
- справедлива гипотеза плоских сечений (сечение, плоское до изгиба, остается плоским после изгиба) (малость сдвига по сравнению с углами поворота);

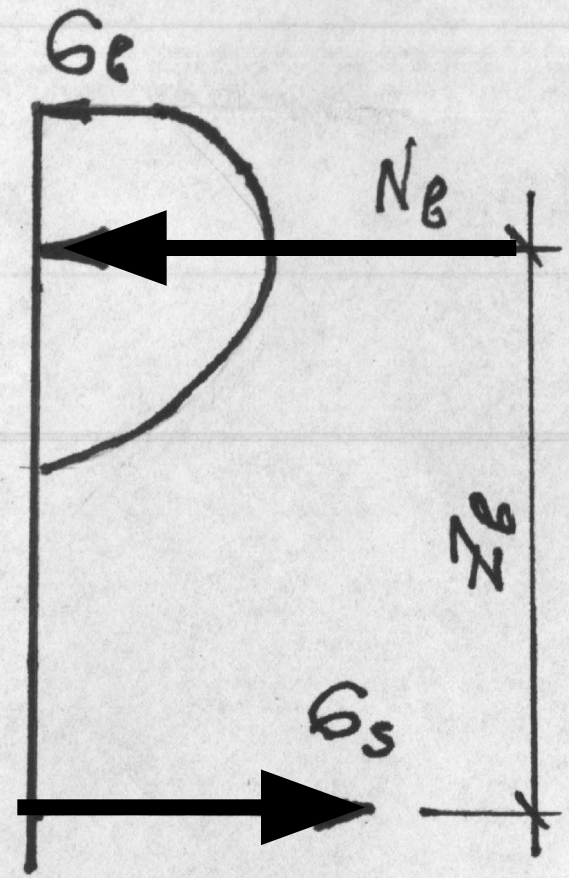
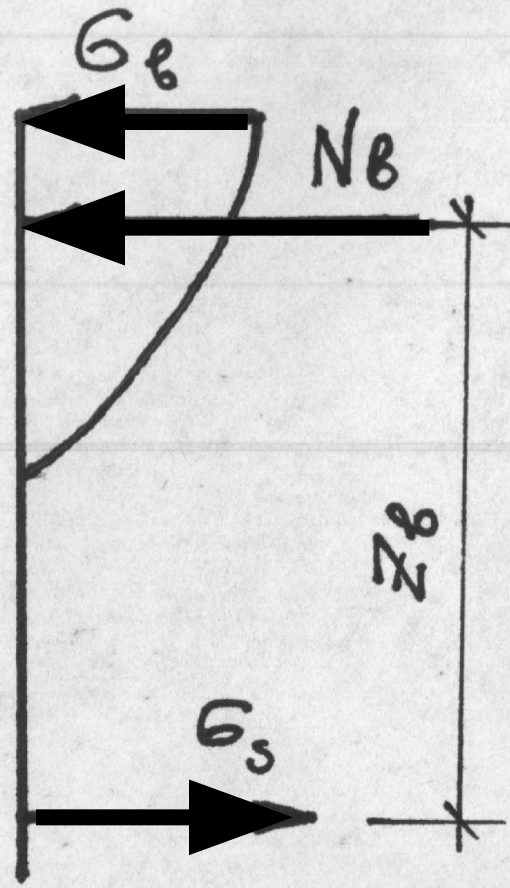
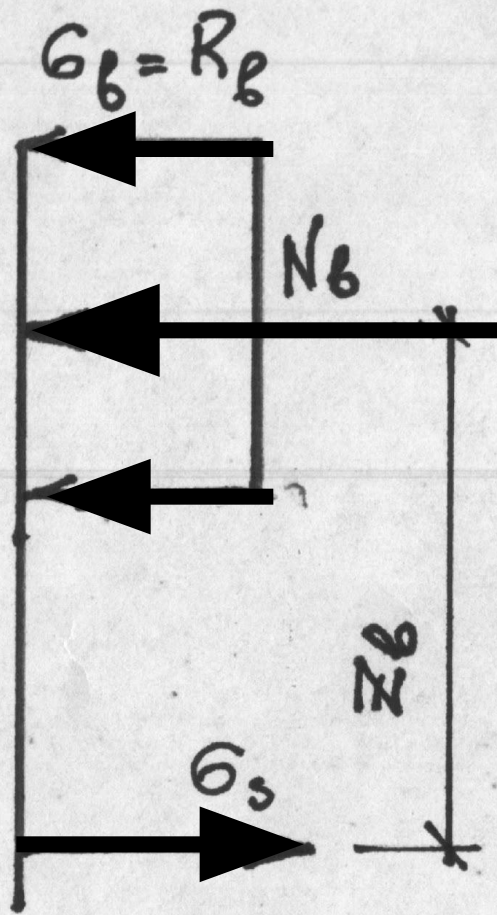
$$\varepsilon_{bi} = \frac{1}{r_x} z_{bxi}; \quad \varepsilon_{si} = \frac{1}{r_x} z_{sxi};$$

Эпюра ε

Для бетонов классов В70-В100

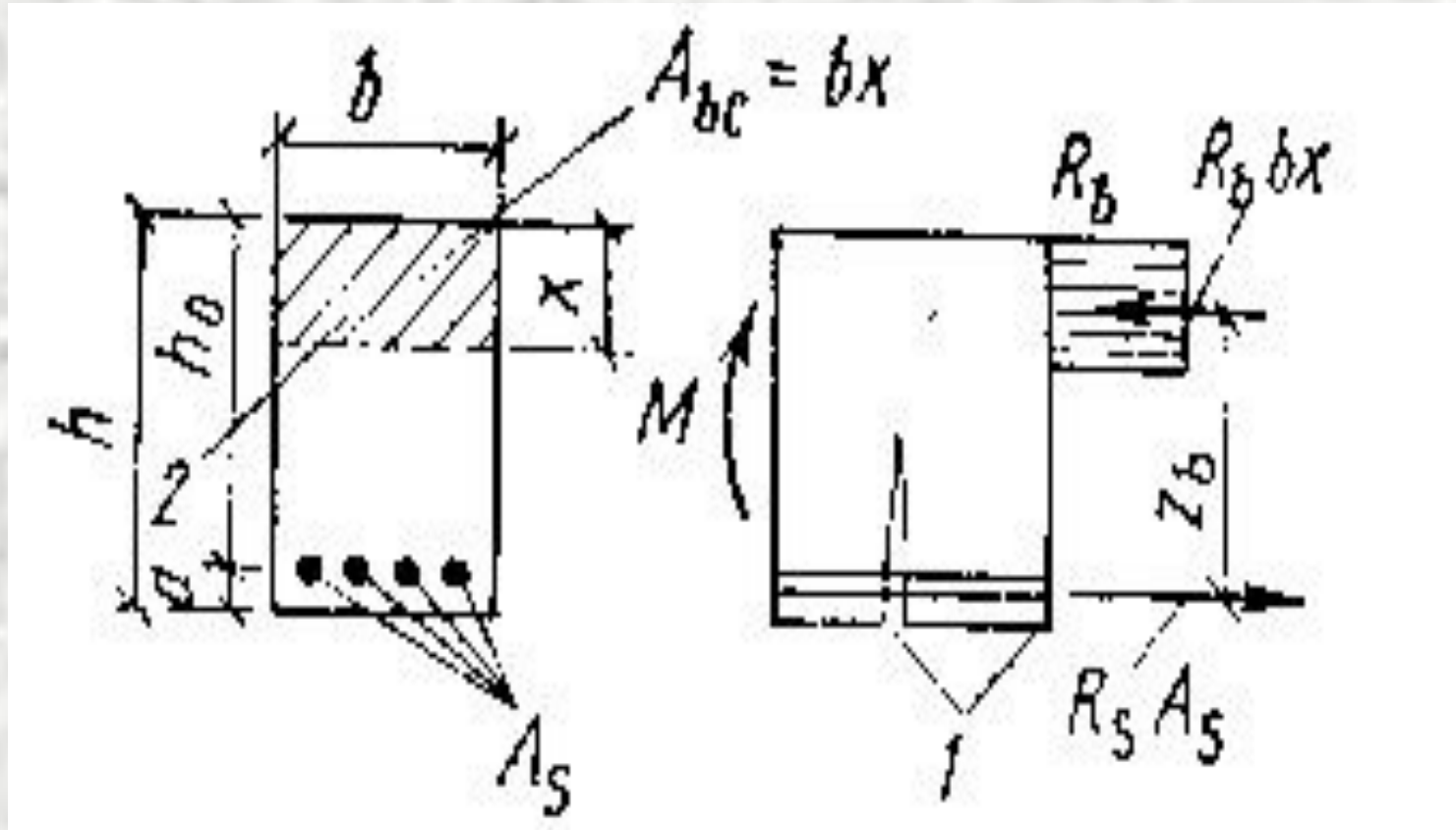
$$x = 0,7 x_{\phi}$$





$$N_b = \int_{A_b} \sigma_b dA_b$$

Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с одиночным армированием



1 — нормальные трещины; 2 — граница сжатой зоны (расчетная высота сжатой зоны бетона)

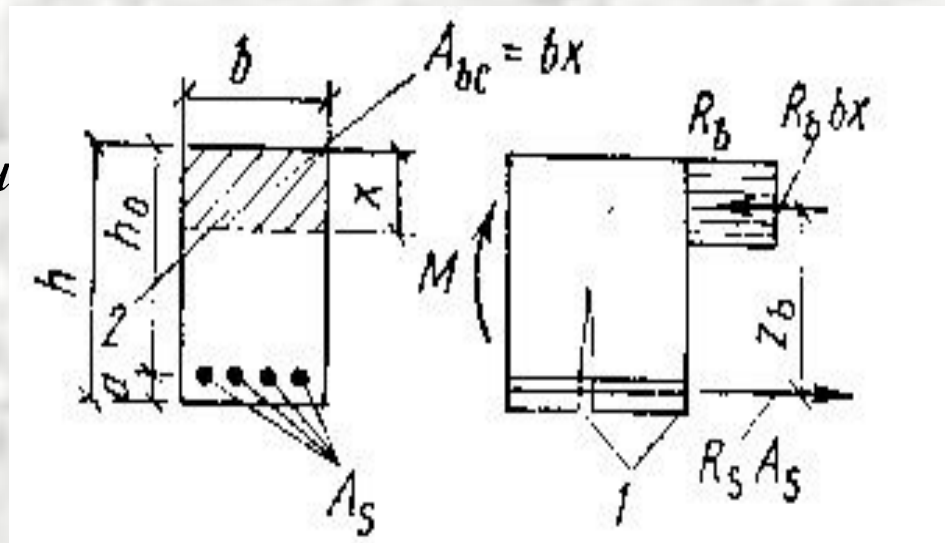
Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с одиночным армированием

Разрешающие уравнения задачи проверки несущей способности по нормальному сечению изгибаемого железобетонного элемента прямоугольной формы с одиночным армированием:

при $x \leq \xi_R h_0$ $R_s A_s = R_b b x$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x) \quad \text{или}$$

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x)$$



Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с одиночным армированием

Разрешающие уравнения задачи проверки несущей способности по нормальному сечению изгибаемого железобетонного элемента прямоугольной формы с одиночным армированием:

при $x \leq \xi_R h_0$ $R_s A_s = R_b b x$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x) \quad \text{или}$$
$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x)$$

При расчете изгибаемых железобетонных конструкций должно выполняться условие:

$$x \leq x_R$$

Выполнение этого условия соответствует пластическому характеру разрушения.

Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с одиночным армированием

Разрешающие уравнения задачи проверки несущей способности по нормальному сечению изгибаемого железобетонного элемента прямоугольной формы с одиночным армированием:

при

$$x \leq \xi_R h_0 \quad R_s A_s = R_b b x$$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x) \quad \text{или}$$

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x)$$

При расчете изгибаемых железобетонных конструкций должно выполняться условие:

$$x \leq x_R$$

Выполнение этого условия соответствует пластическому характеру разрушения.

Если $x \geq x_R$, разрушение будет иметь хрупкий характер.

Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с одиночным армированием

Разрешающие уравнения задачи проверки несущей способности по нормальному сечению изгибаемого железобетонного элемента прямоугольной формы с одиночным армированием:

при

$$x \leq \xi_R h_0 \quad R_s A_s = R_b b x$$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x) \quad \text{или}$$

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x)$$

При расчете изгибаемых железобетонных конструкций должно выполняться условие:

$$x \leq x_R$$

Выполнение этого условия соответствует пластическому характеру разрушения.

Если $x \geq x_R$, разрушение будет иметь хрупкий характер.

Невыполнение этого условия допускается только в случае, если площадь сечения продольной растянутой арматуры определена из расчета элемента **по II группе предельных состояний или по конструктивным соображениям.**

Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с одиночным армированием

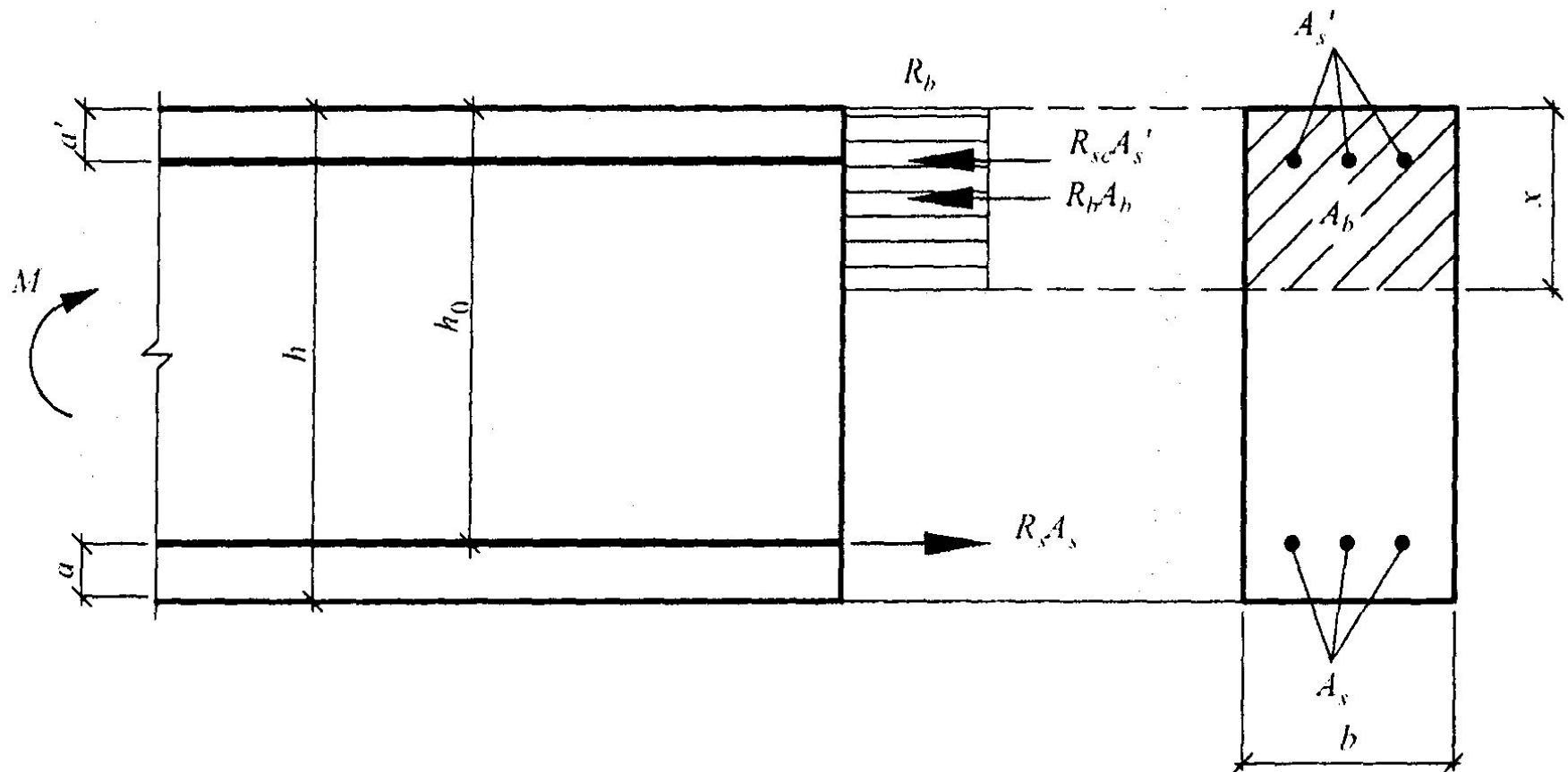
В этом случае, в качестве второго разрешающего уравнения допускается использовать выражение:

$$M \leq R_b b h_0^2 \alpha_R, \quad \alpha_R = \xi_R (1 - 0,5 \xi_R),$$

$$\text{или} \quad M \leq R_b b h_0^2 (0,7 \alpha_R + 0,3 \alpha_m),$$

$$\text{где:} \quad \alpha_m = \xi (1 - 0,5 \xi)$$

Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с двойным армированием



Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с двойным армированием

Разрешающие уравнения задачи проверки несущей способности по нормальному сечению изгибаемого железобетонного элемента прямоугольной формы с двойным армированием:

$$x \leq \xi_R h_0 \quad R_s A_s = R_b b x + R_{sc} A'_s$$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (0,5x - a')$$

или

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с двойным армированием

Разрешающие уравнения задачи проверки несущей способности по нормальному сечению изгибаемого железобетонного элемента прямоугольной формы с двойным армированием:

$$x \leq \xi_R h_0 \quad R_s A_s = R_b b x + R_{sc} A'_s$$

$$M \leq R_s A_s (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (0,5x - a')$$

$$\text{или} \quad M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

В этом случае, в качестве второго разрешающего уравнения допускается использовать выражение:

$$M \leq R_b b h_0^2 \alpha_R + R_{sc} A'_s (h_0 - a'),$$

$$\alpha_R = \xi_R (1 - 0,5\xi_R),$$

или

$$M \leq R_b b h_0^2 (0,7\alpha_R + 0,3\alpha_m) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'),$$

$$\text{где:} \quad \alpha_m = \xi (1 - 0,5\xi)$$

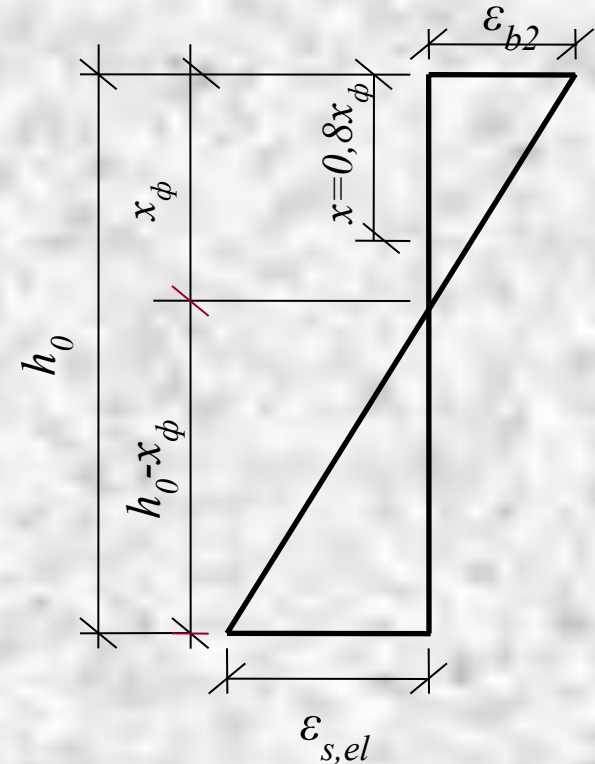
Граничная относительная высота сжатой зоны бетона (СНиП 52-01-2003 АР)

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}};$$

$$\text{где: } \varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s}; \quad \varepsilon_{b2} = 0,0035$$

Для бетонов классов В70-В100

$$x = 0,7 x_\phi$$



Вывод формулы ξ_R (СП 52-101-2003)

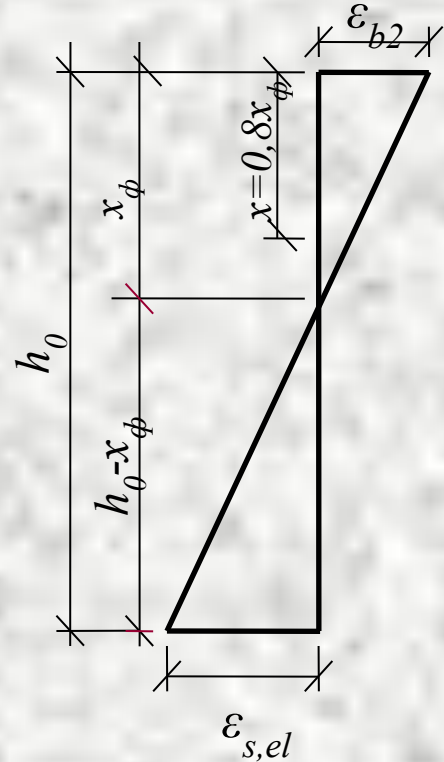
$$x_{\Phi} = \frac{x}{0,8}, \quad x = 0,8 \cdot x_{\Phi}, \quad \frac{\varepsilon_{b,ult}}{x_{\Phi}} = \frac{\varepsilon_{s,el}}{h_0 - x_{\Phi}};$$

$$x_{\Phi} \cdot \varepsilon_{s,el} + x_{\Phi} \cdot \varepsilon_{b,ult} = h_0 \cdot \varepsilon_{b,ult};$$

$$x_{\Phi} = \frac{h_0}{\varepsilon_{b,ult} + \varepsilon_{s,el}} = \frac{h_0}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}};$$

$$x_R = \frac{0,8 \cdot h_0}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}}; \quad \xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}} \cdot \left(\frac{E_s}{E_b} \right)} = \frac{0,8}{1 + \frac{R_s}{700}},$$

$$\text{где: } \varepsilon_{b,ult} = 3,5 \cdot 10^{-3}; \quad R_s = \varepsilon_{s,el} \cdot E_s$$



Граничная относительная высота сжатой зоны бетона (СНиП 2.03.01-84*)

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{s,cu}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)};$$

где: $\sigma_{sR} = R_s$; $\varepsilon_s = \frac{R_s}{E_s}$;

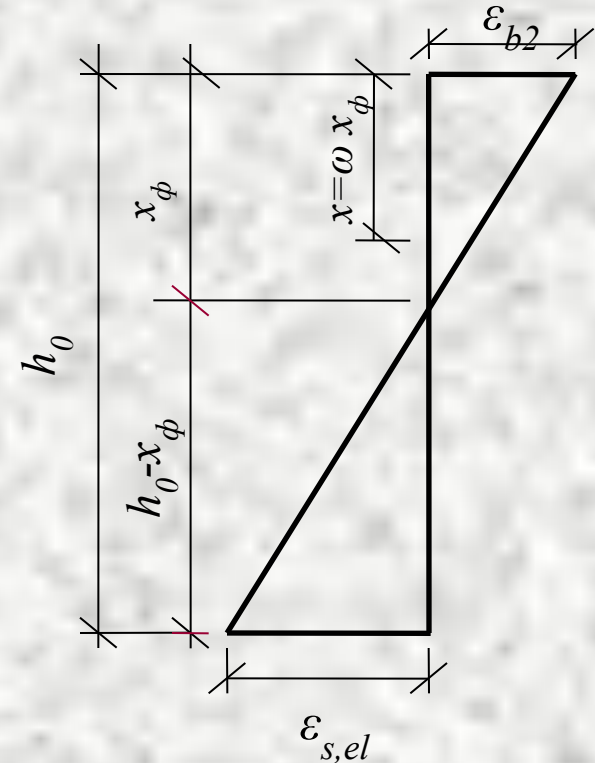
$$\omega = \alpha - 0,008R_b;$$

$\alpha = 0,85$ – для тяжелого бетона;

$$\sigma_{s,cu} = 400 \text{ МПа при } \gamma_{b2} \geq 1,0;$$

$$\sigma_{s,cu} = 500 \text{ МПа при } \gamma_{b2} = 0,9$$

$$\varepsilon_{b2} = \frac{\sigma_{s,cu}}{E_s \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}$$



Вывод формулы ξ_R (СНиП 2.03.01-84*)

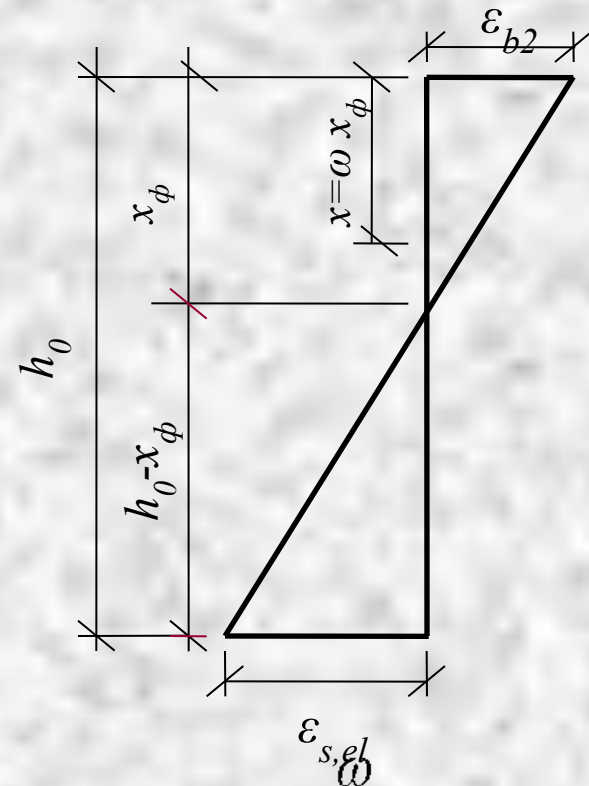
$$x_\Phi = \frac{x}{\omega}, \quad x = x_\Phi \cdot \omega, \quad \varepsilon_{b,ult} = \frac{\varepsilon_{bu}}{1 - \omega/1,1};$$

$$\frac{\varepsilon_{b,ult}}{x_\Phi} = \frac{\varepsilon_{s,el}}{h_0 - x_\Phi}; \quad x_\Phi \cdot \varepsilon_{s,el} + x_\Phi \cdot \varepsilon_{b,ult} = h_0 \cdot \varepsilon_{b,ult};$$

$$x_\Phi = \frac{h_0}{\varepsilon_{b,ult} + \varepsilon_{s,el}} = \frac{h_0}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}} = \frac{h_0}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{bu}} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)};$$

$$x = x_R = \frac{\omega \cdot h_0}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}}; \quad \xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{bu}} \cdot \left(\frac{E_s}{E_s}\right) \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{\varepsilon_{s,el} \omega}{1 + \frac{R_s}{\sigma_{sc,u}} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)},$$

$$где: \quad \sigma_{sc,u} = 400 = \varepsilon_{bu} \cdot E_s = 2,0 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5; \quad R_s = \varepsilon_{s,el} \cdot E_s$$



Граничная относительная высота сжатой зоны бетона, ξ_R

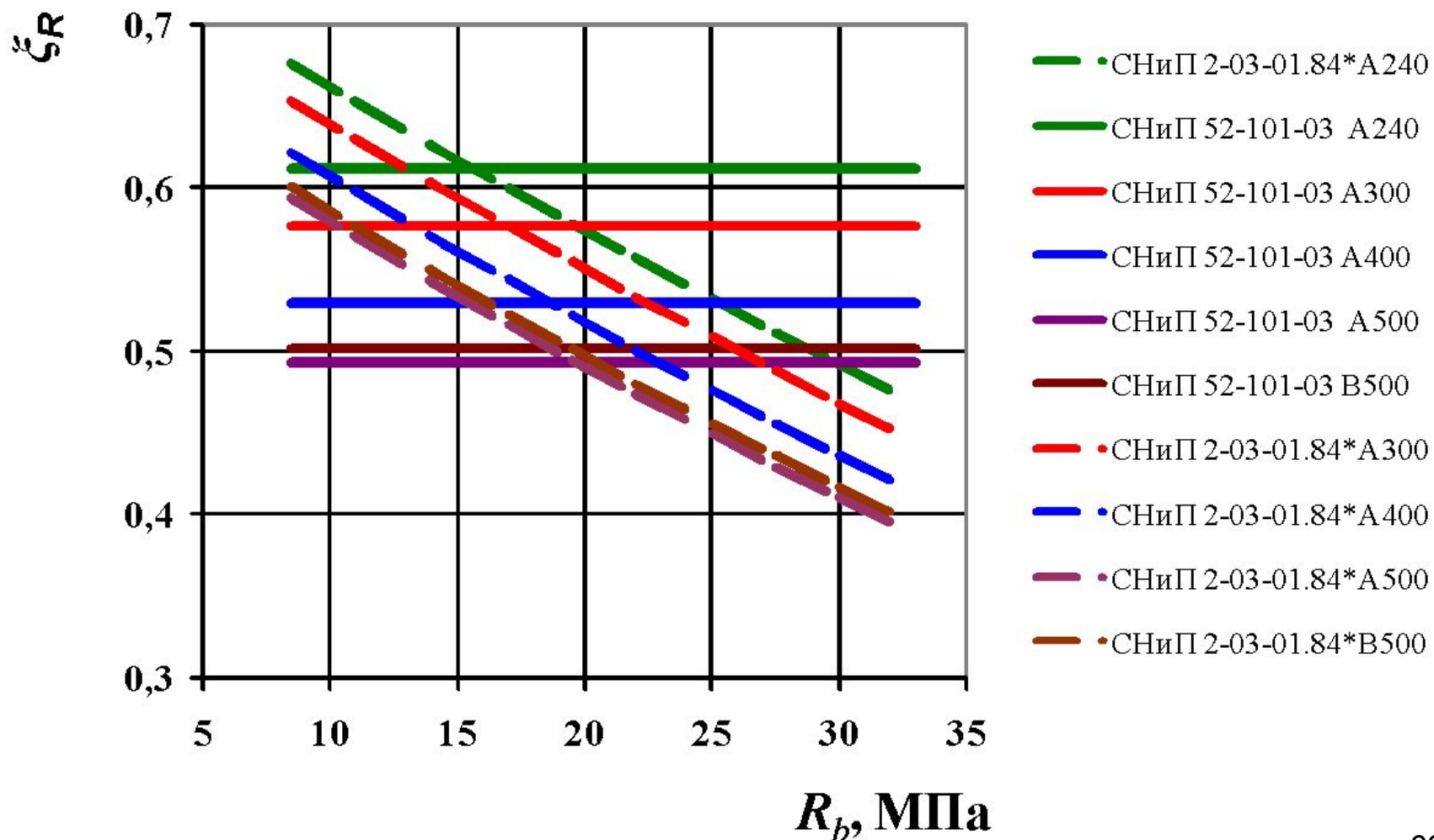


График зависимости $\sigma-\xi$

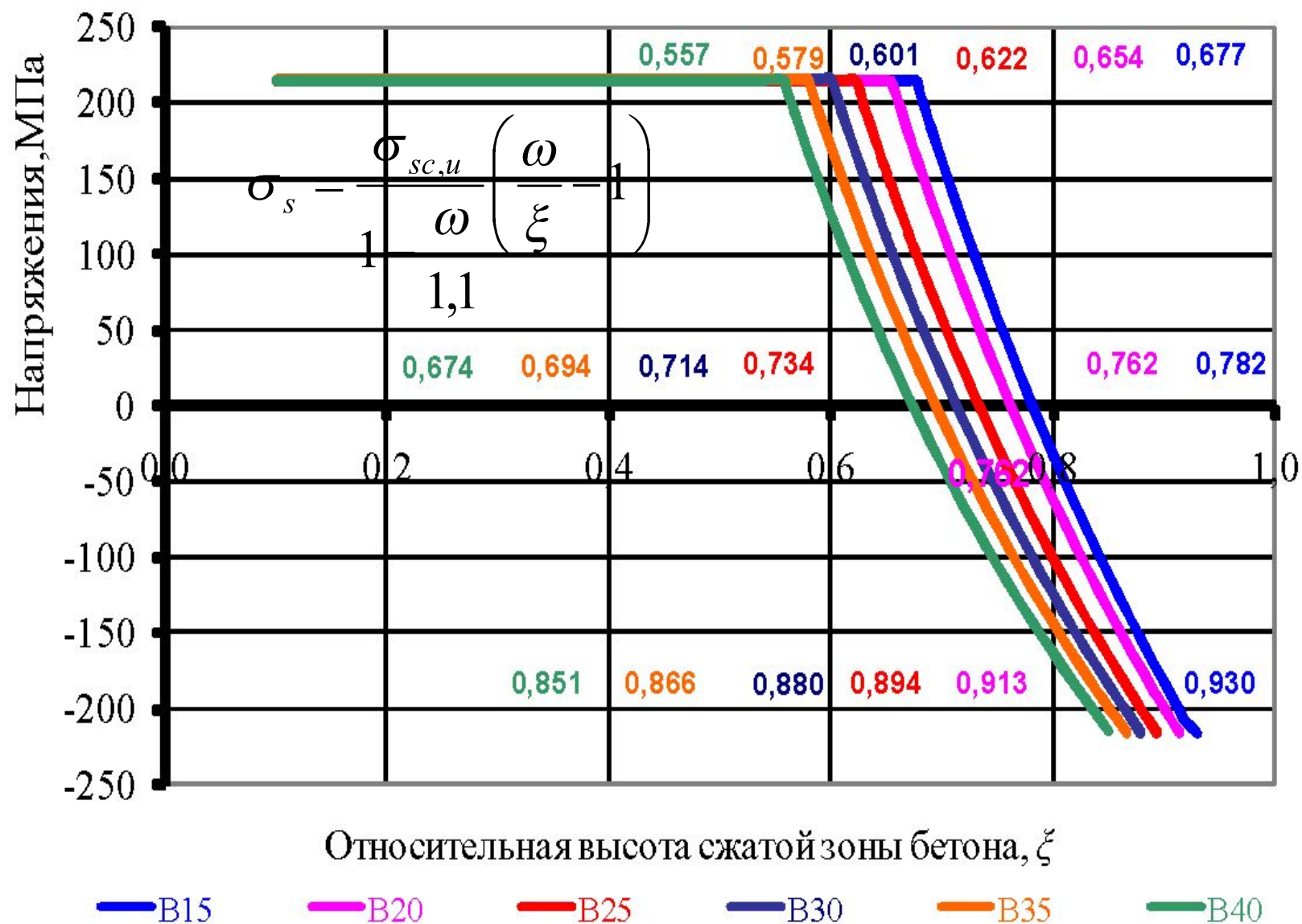


График зависимости $\sigma-\xi$

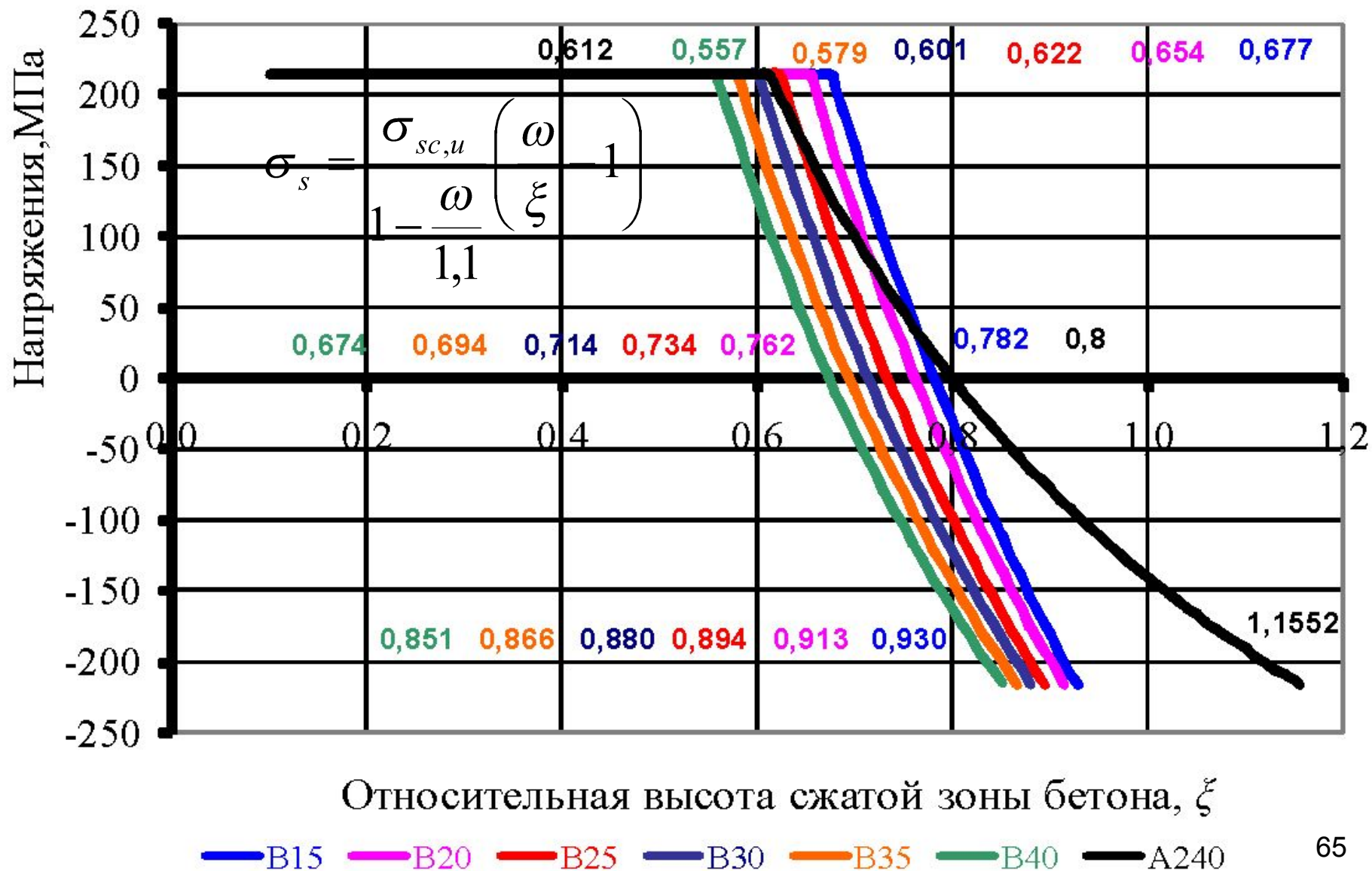


График зависимости $\sigma-\xi$

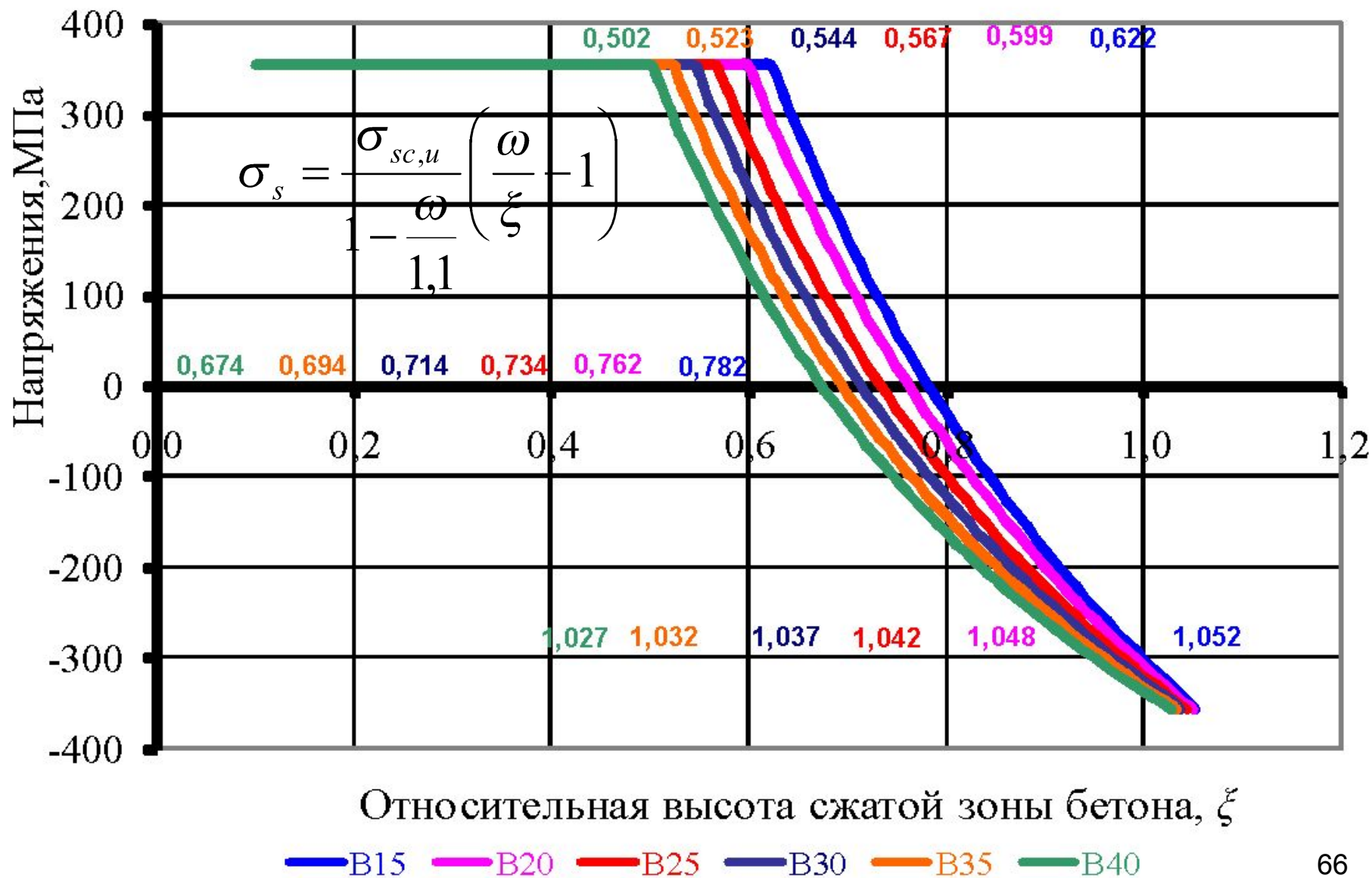


График зависимости $\sigma-\xi$

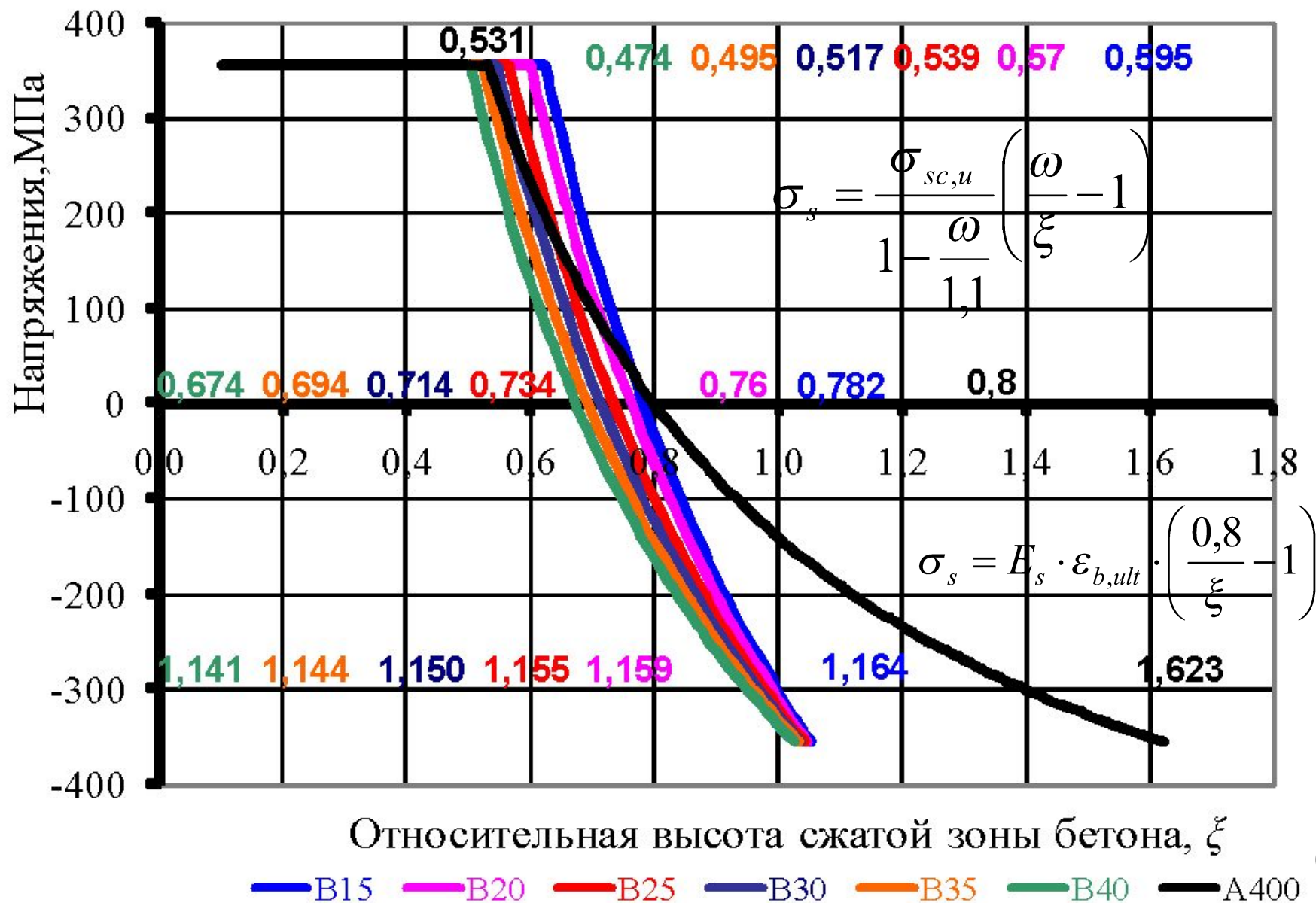
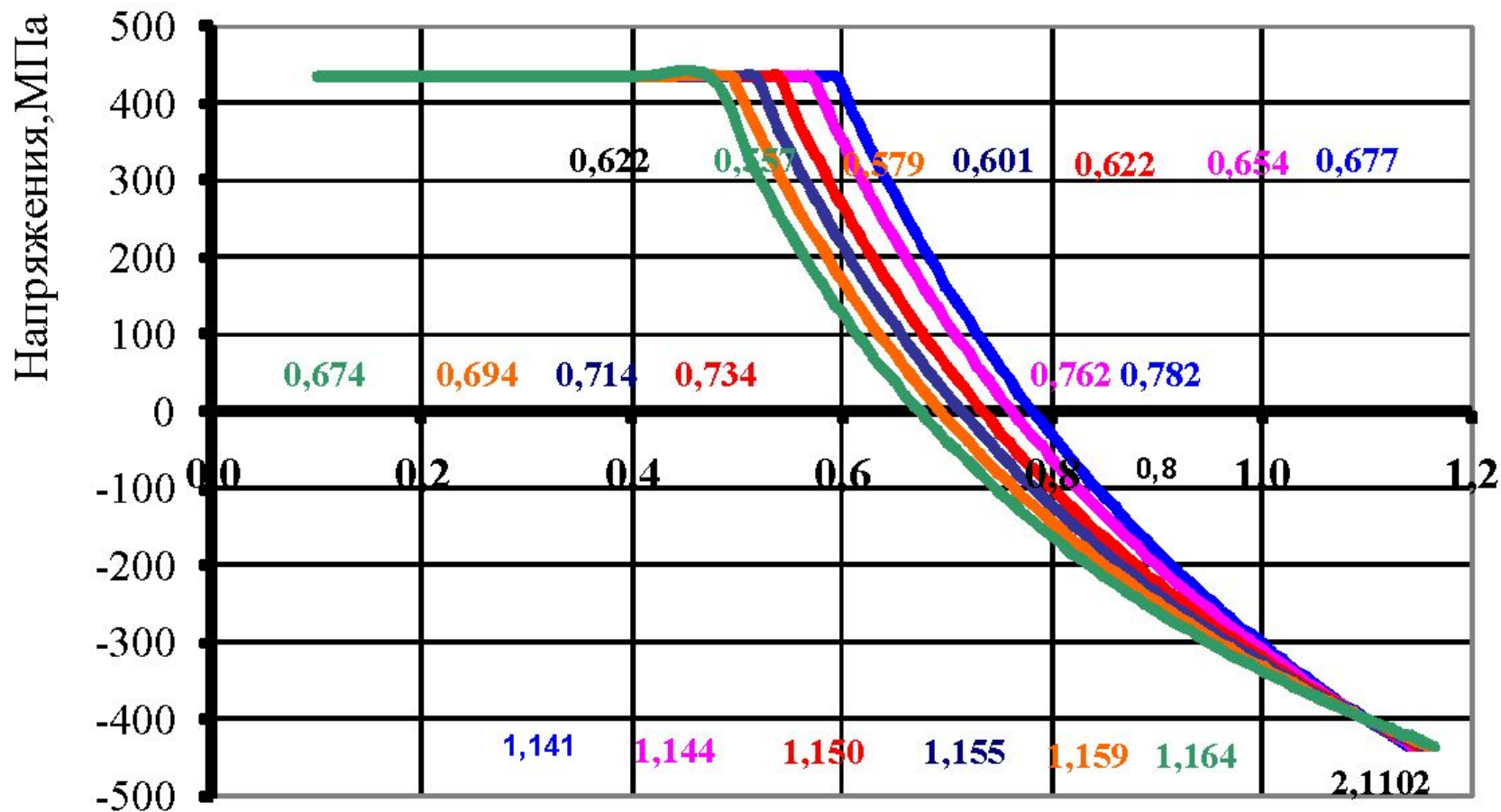


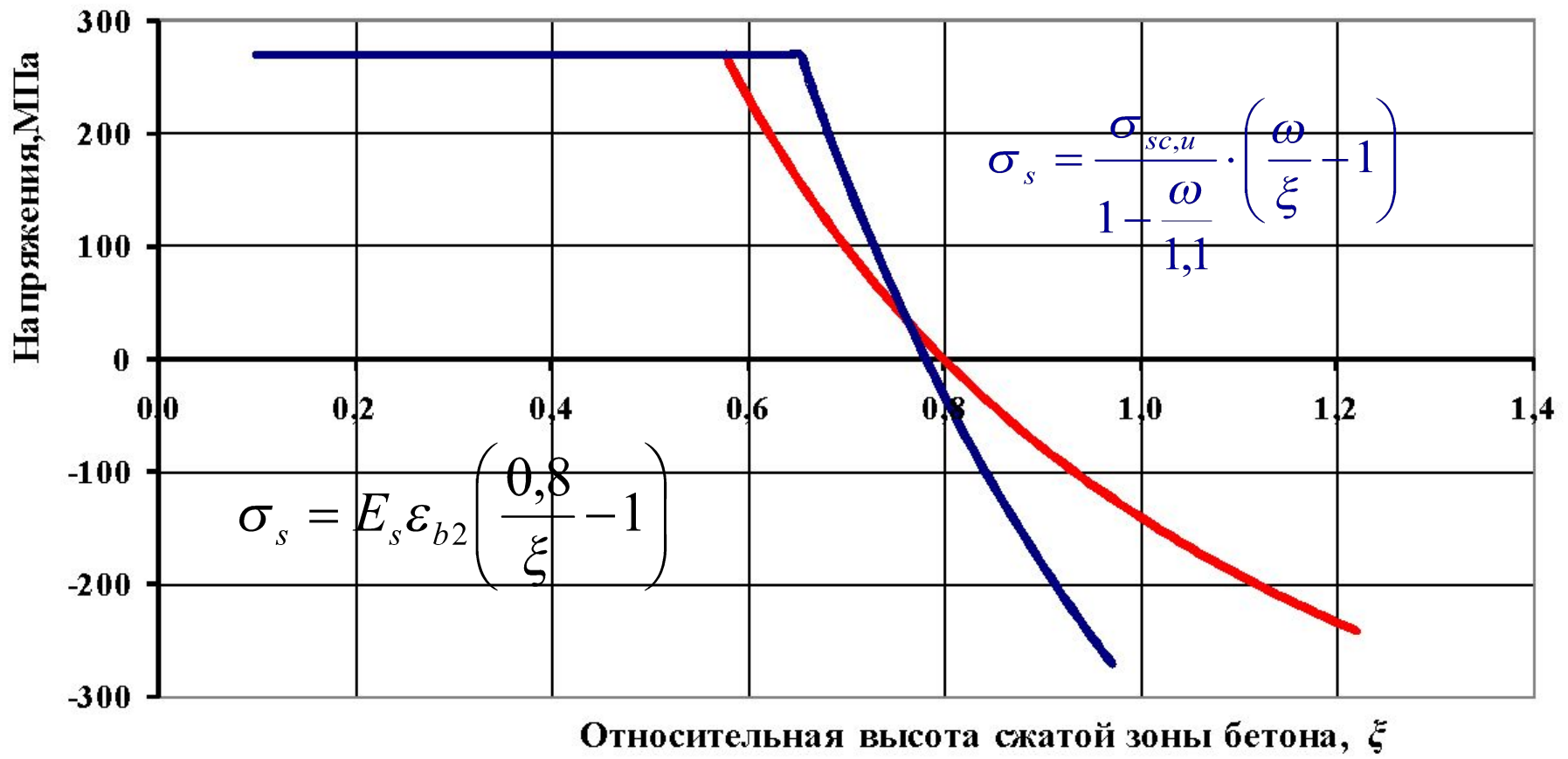
График зависимости $\sigma-\xi$



Относительная высота сжатой зоны бетона, ξ

— B15 — B20 — B25 — B30 — B35 — B40

График зависимости $\sigma-\xi$



— СНиП 52-101-2003 A300

— СНиП 2.03.01-84* B15 A300

График зависимости $\sigma-\xi$

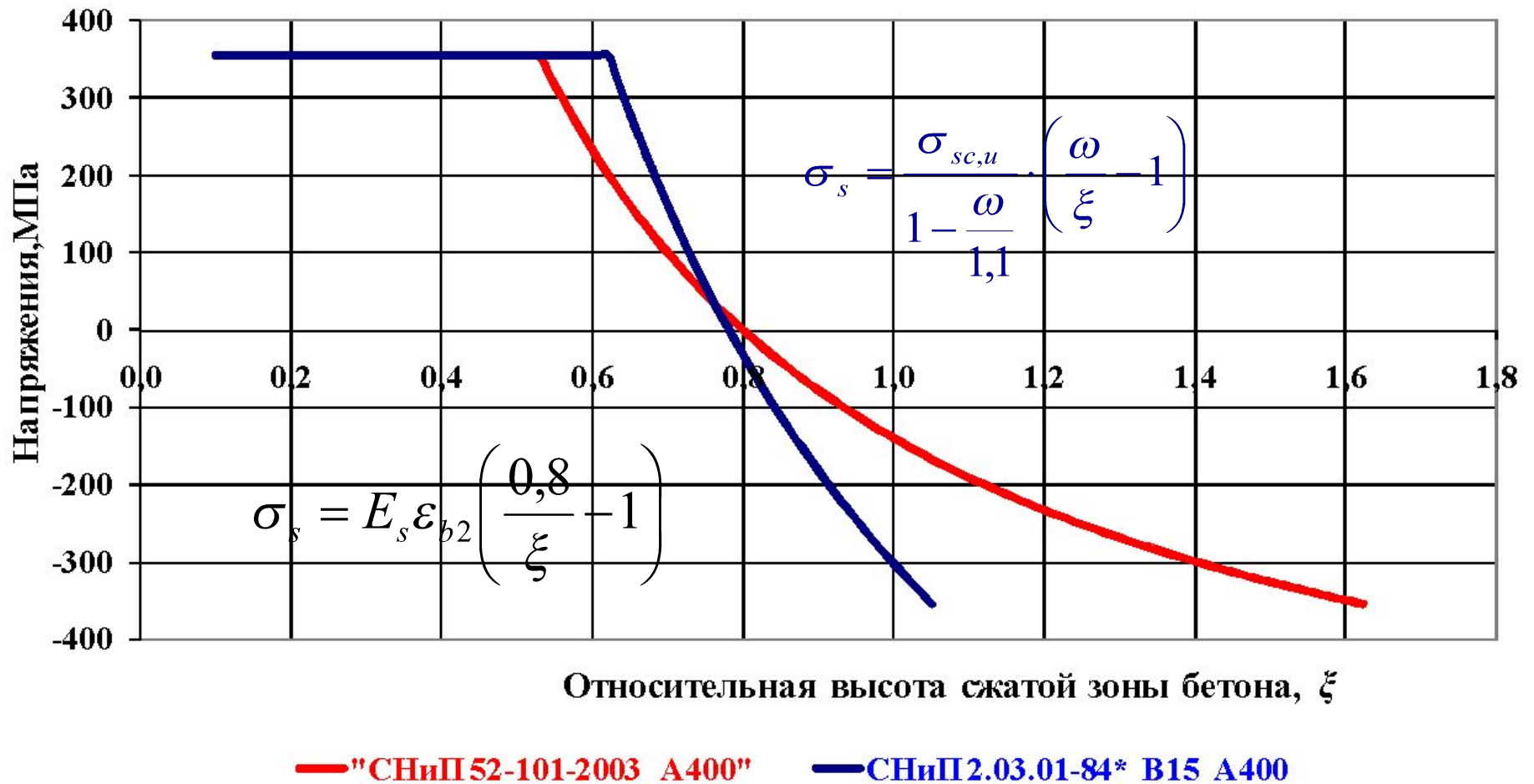


График зависимости $\sigma-\xi$

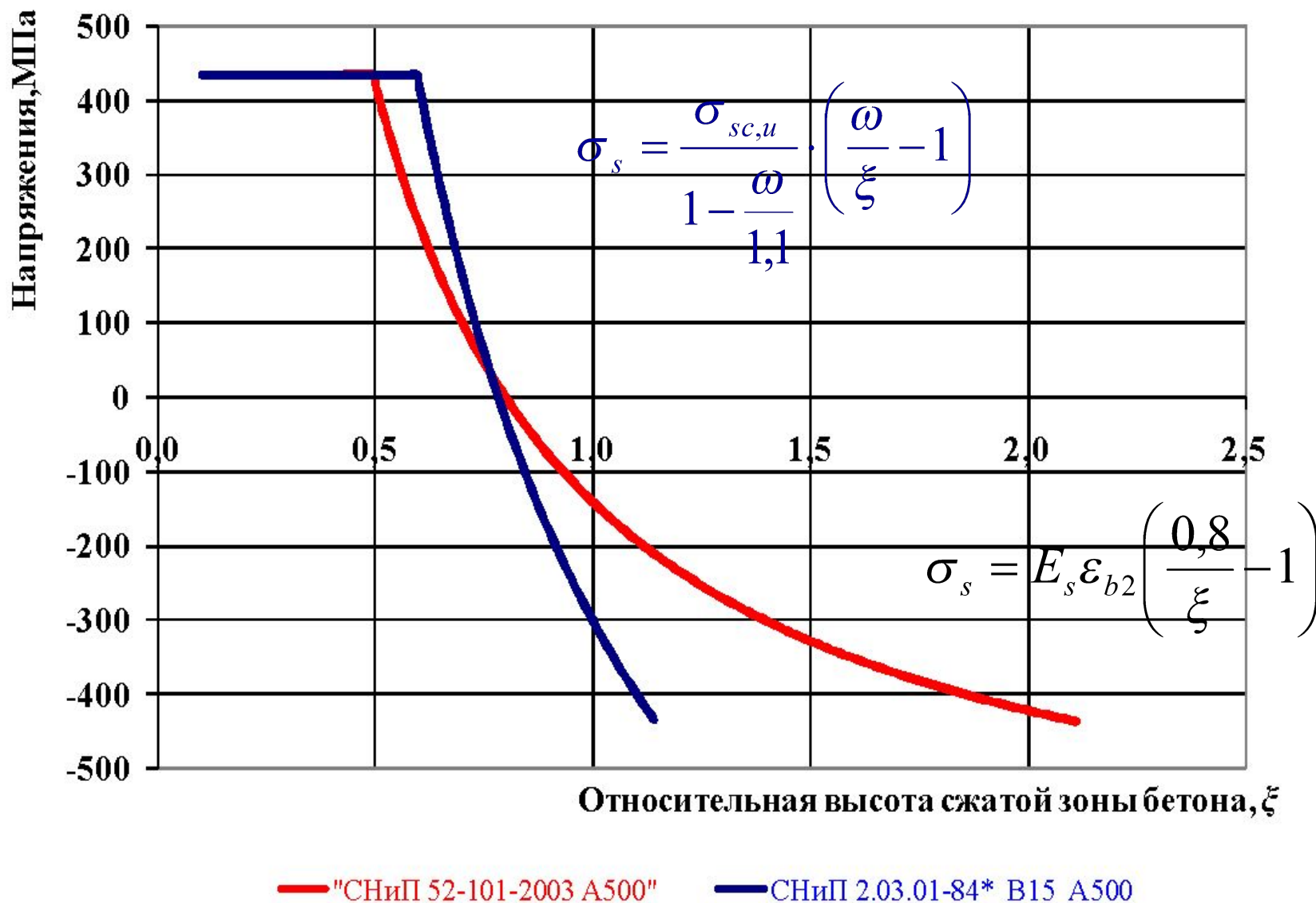
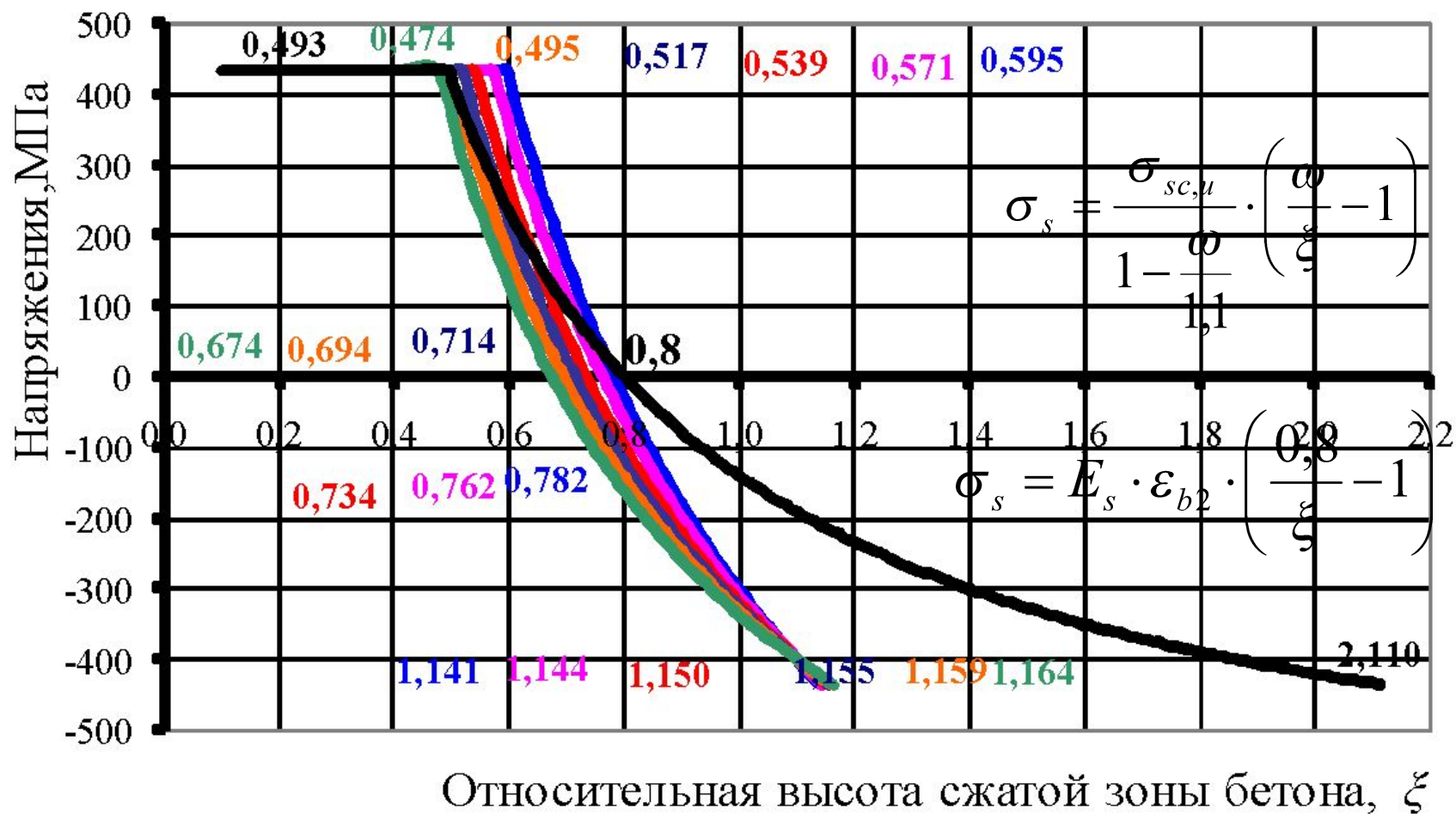
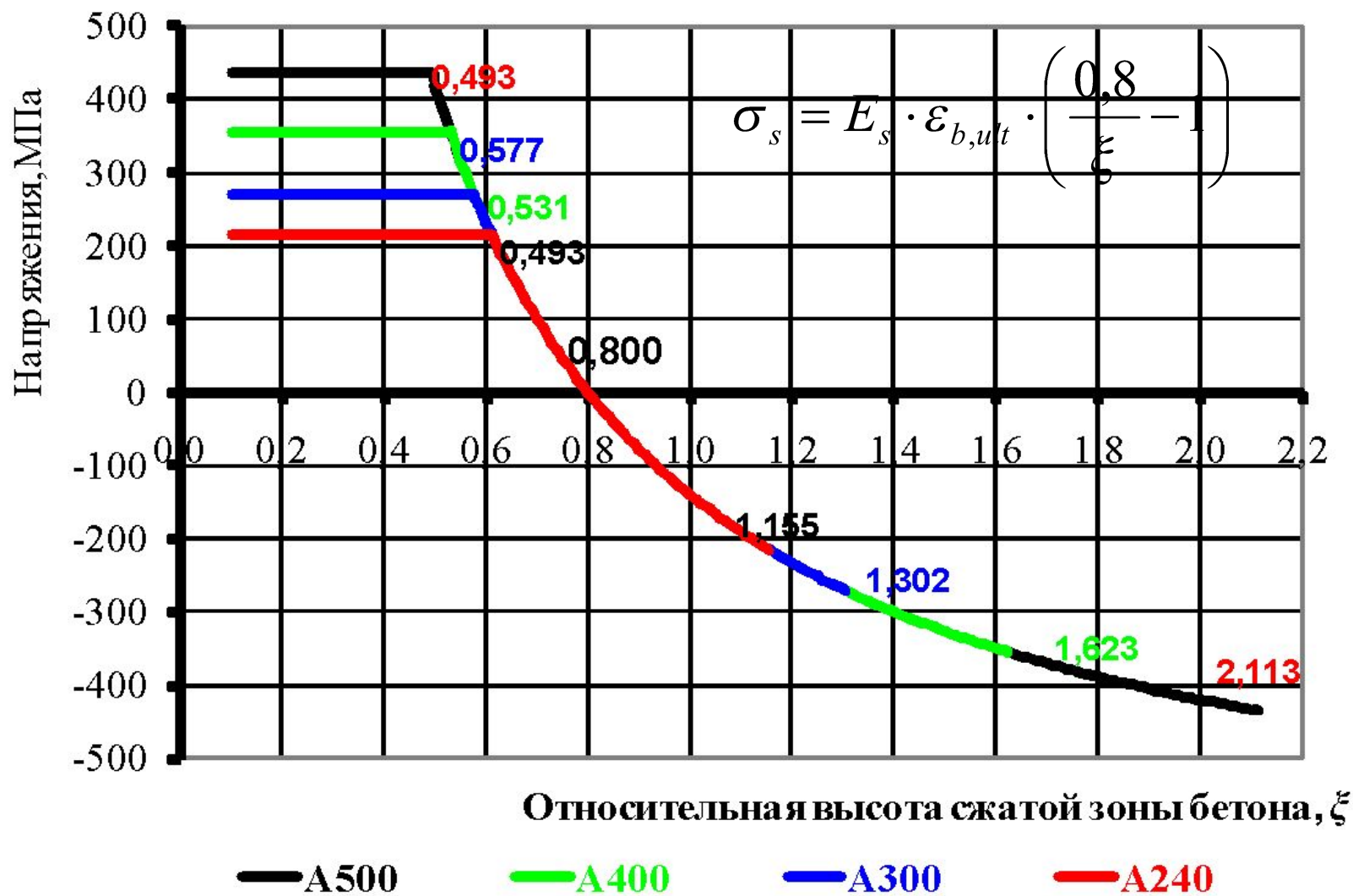


График зависимости $\sigma - \xi$

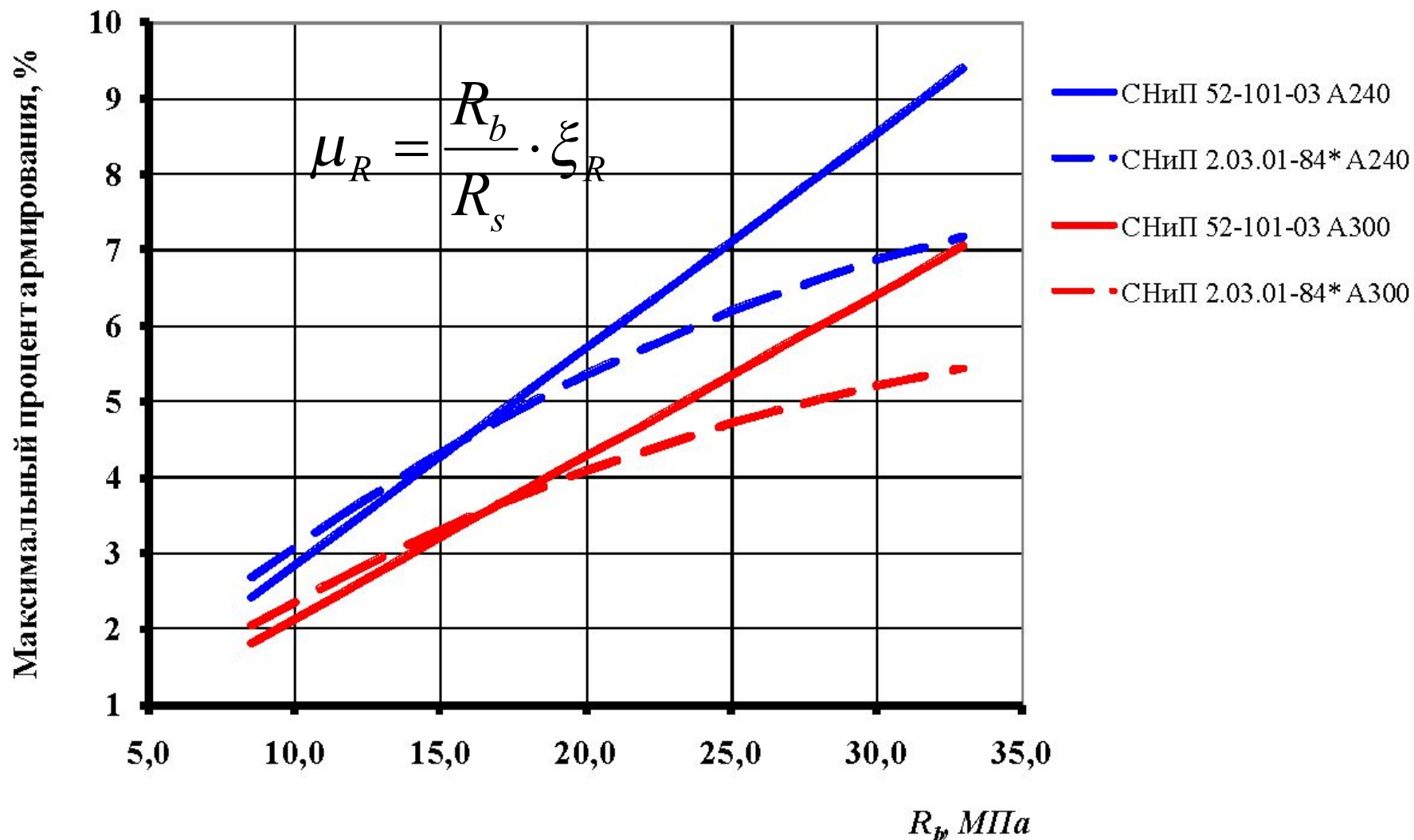


— B15 — B20 — B25 — B30 — B35 — B40 — A500

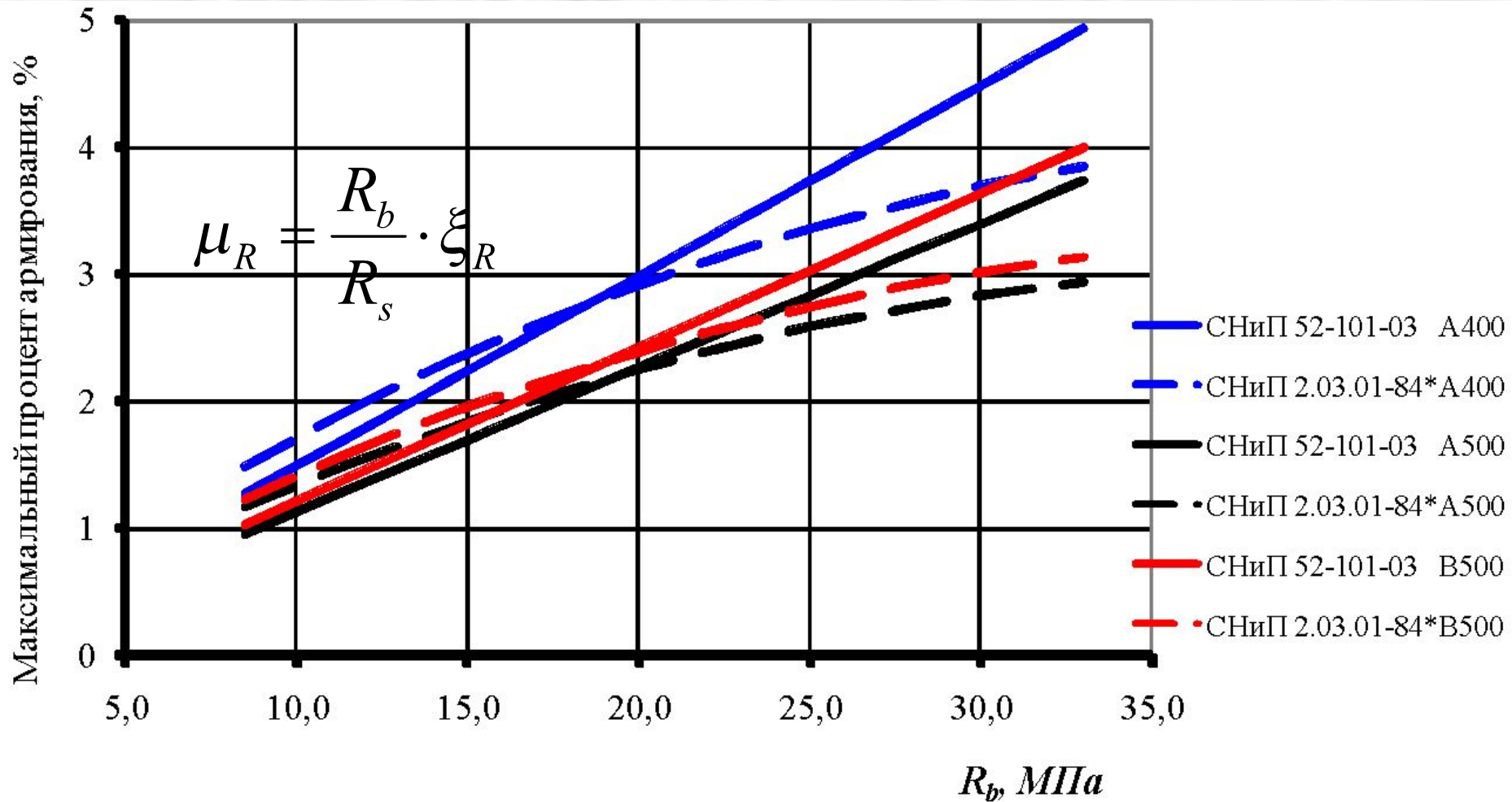
График зависимости $\sigma - \xi$



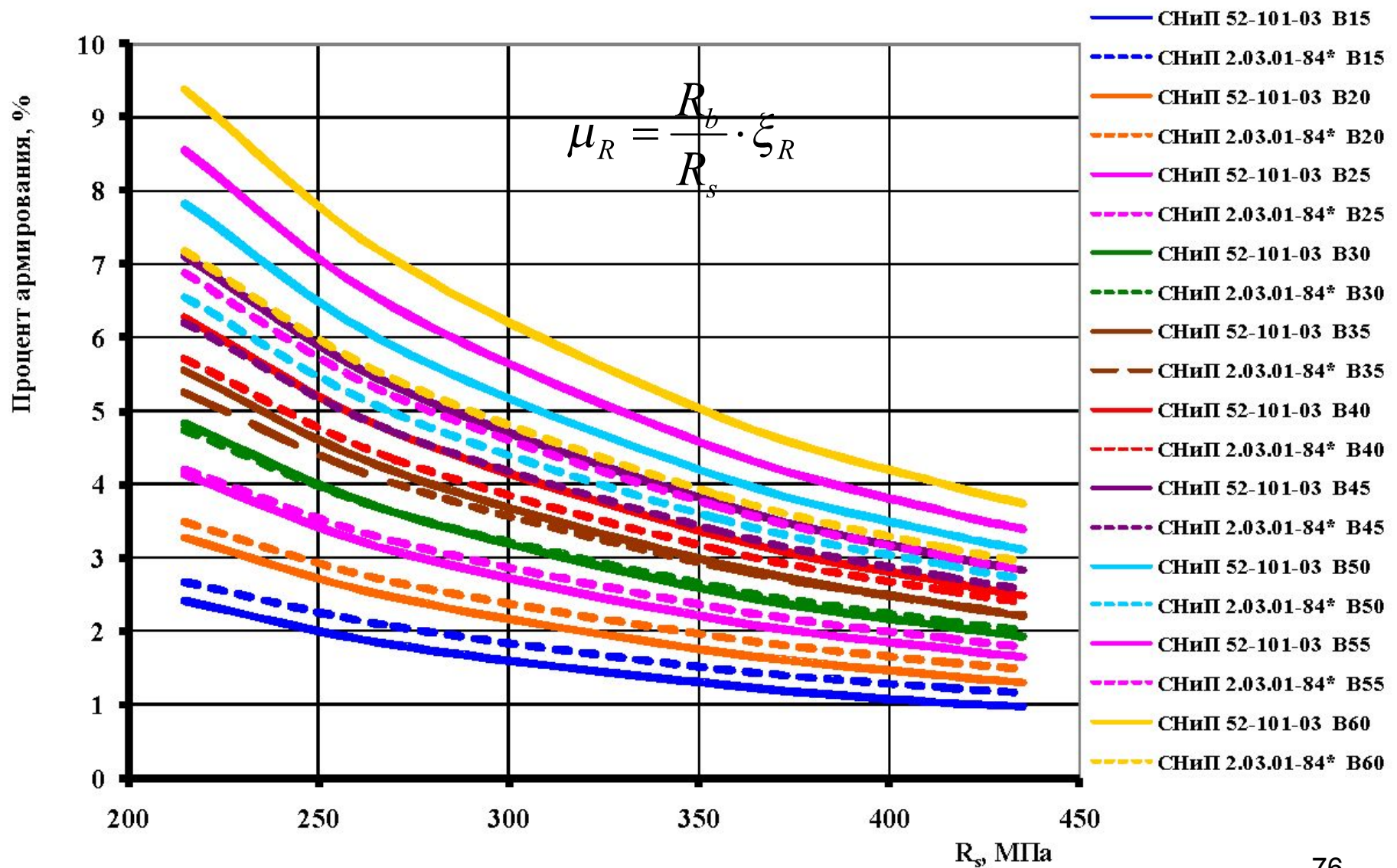
Зависимость μ_R от расчетного сопротивления бетона



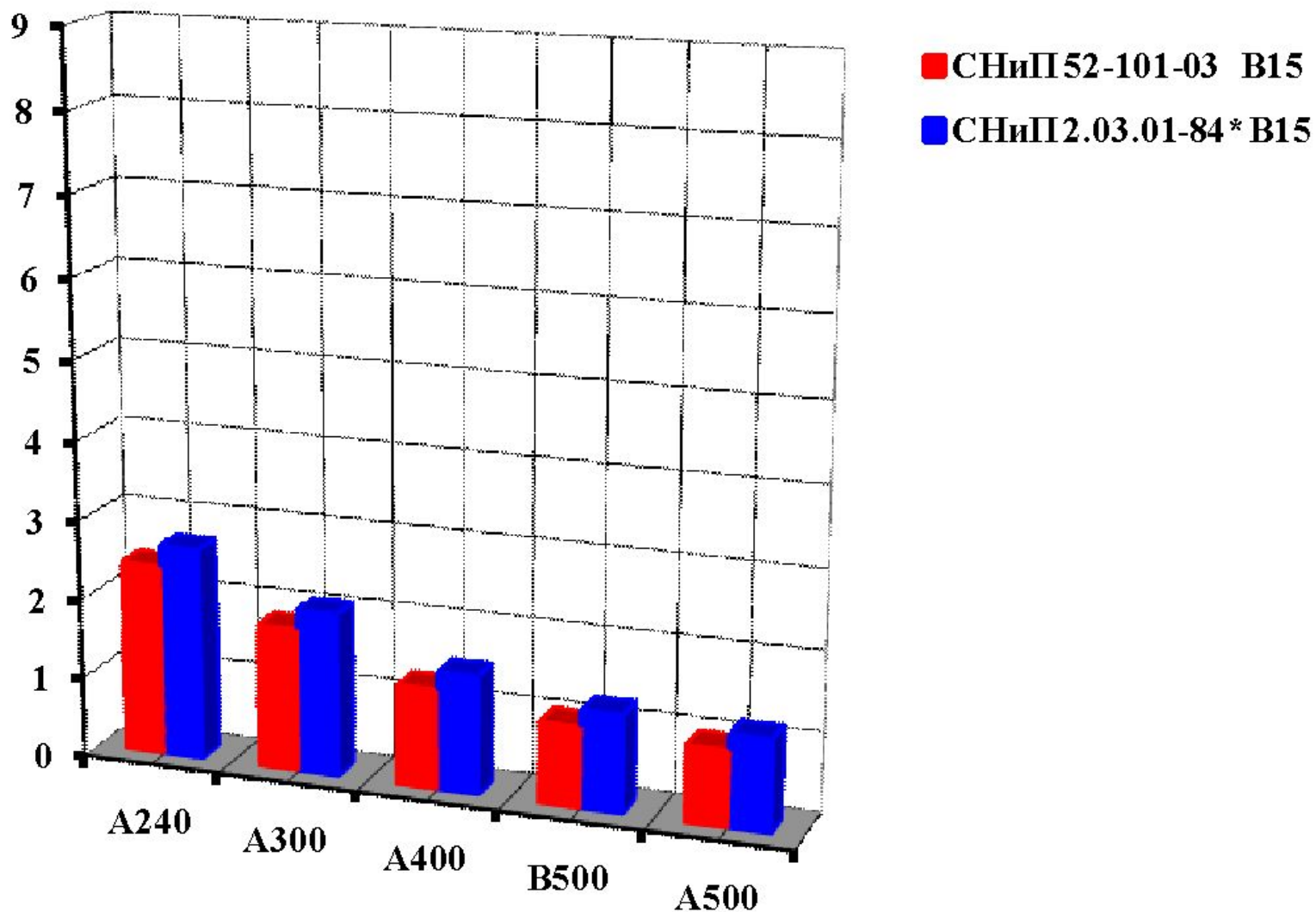
Зависимость μ_R от расчетного сопротивления бетона



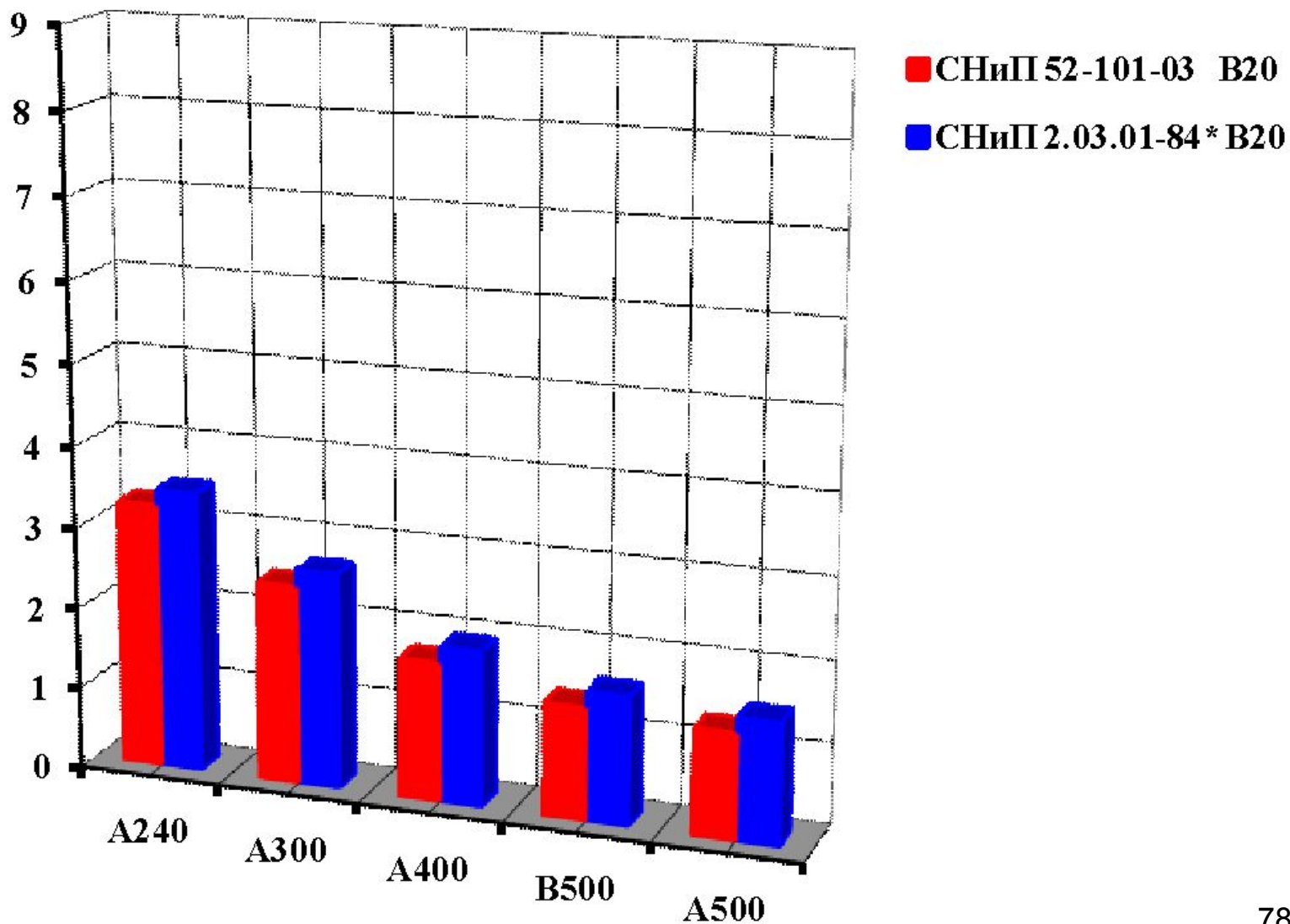
Зависимость μ_R от класса арматуры



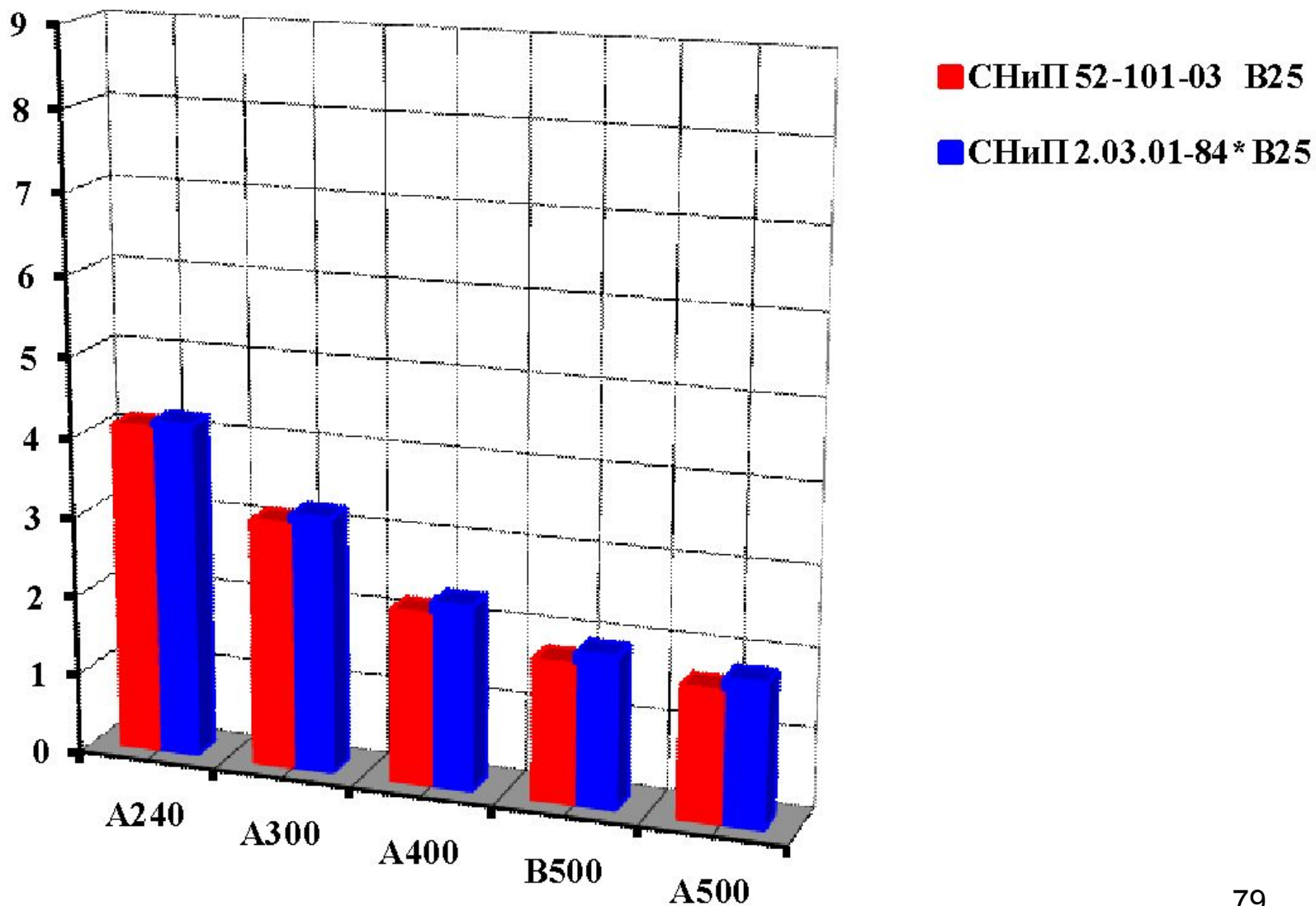
Зависимость μ_R от класса арматуры



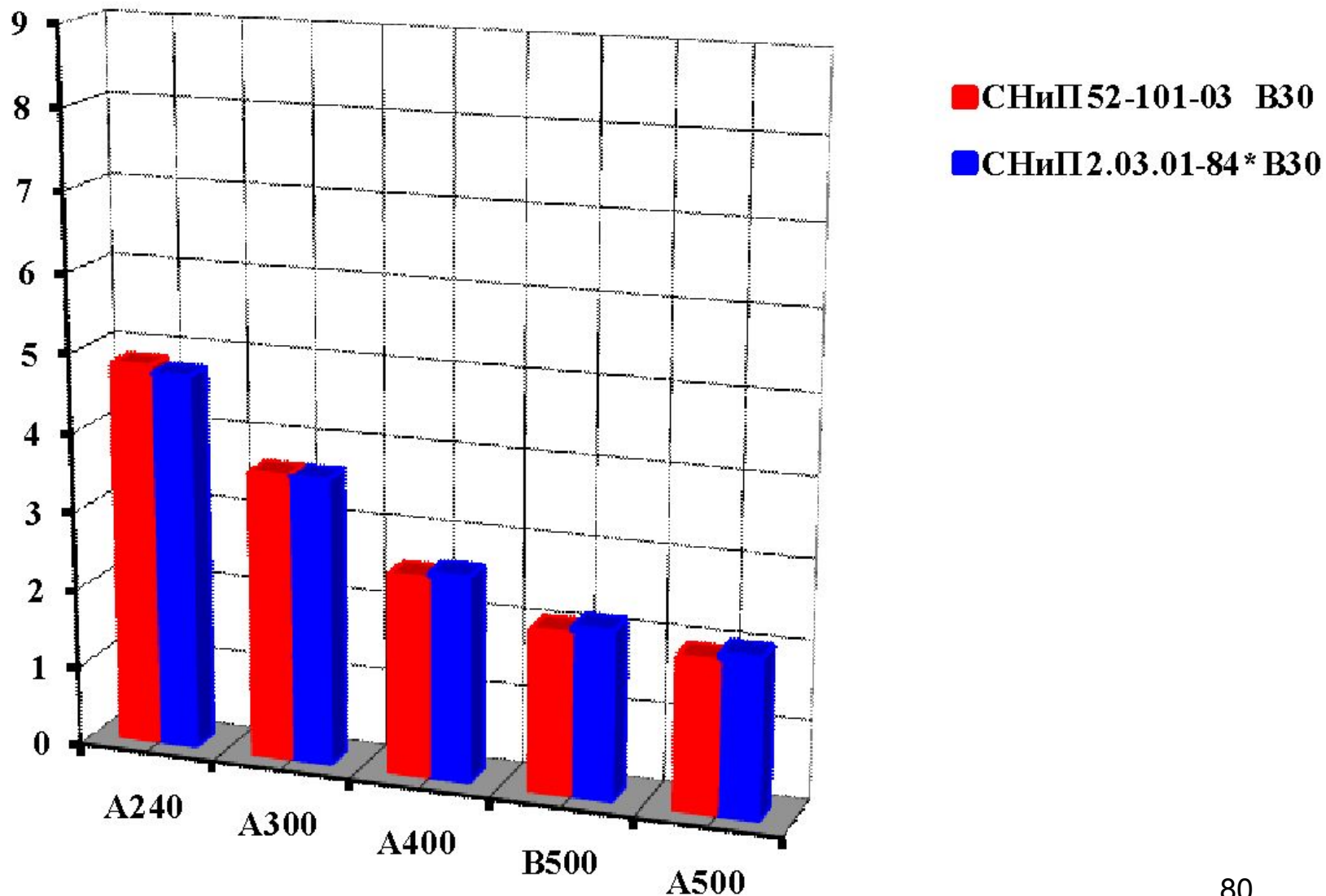
Зависимость μ_R от класса арматуры



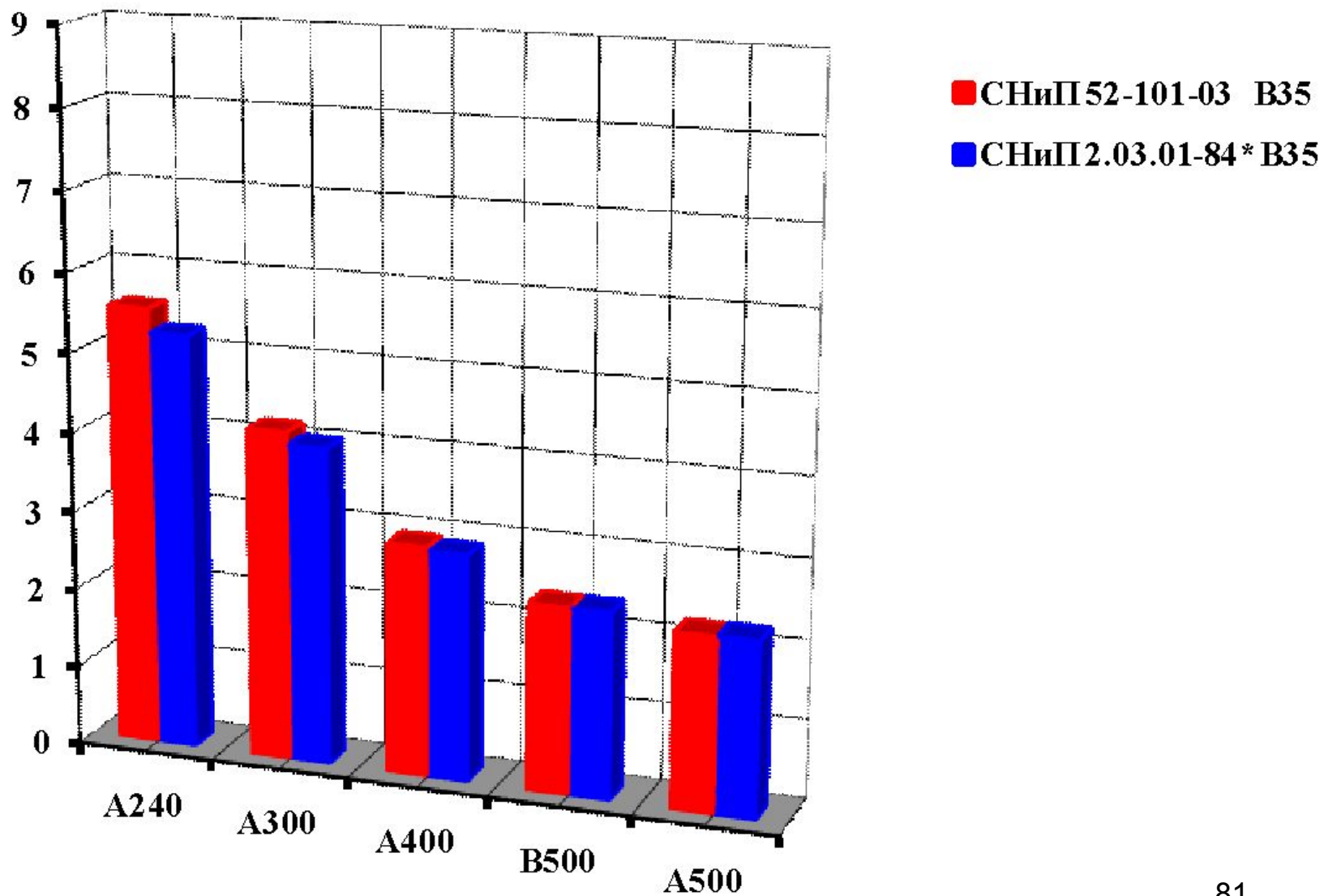
Зависимость μ_R от класса арматуры



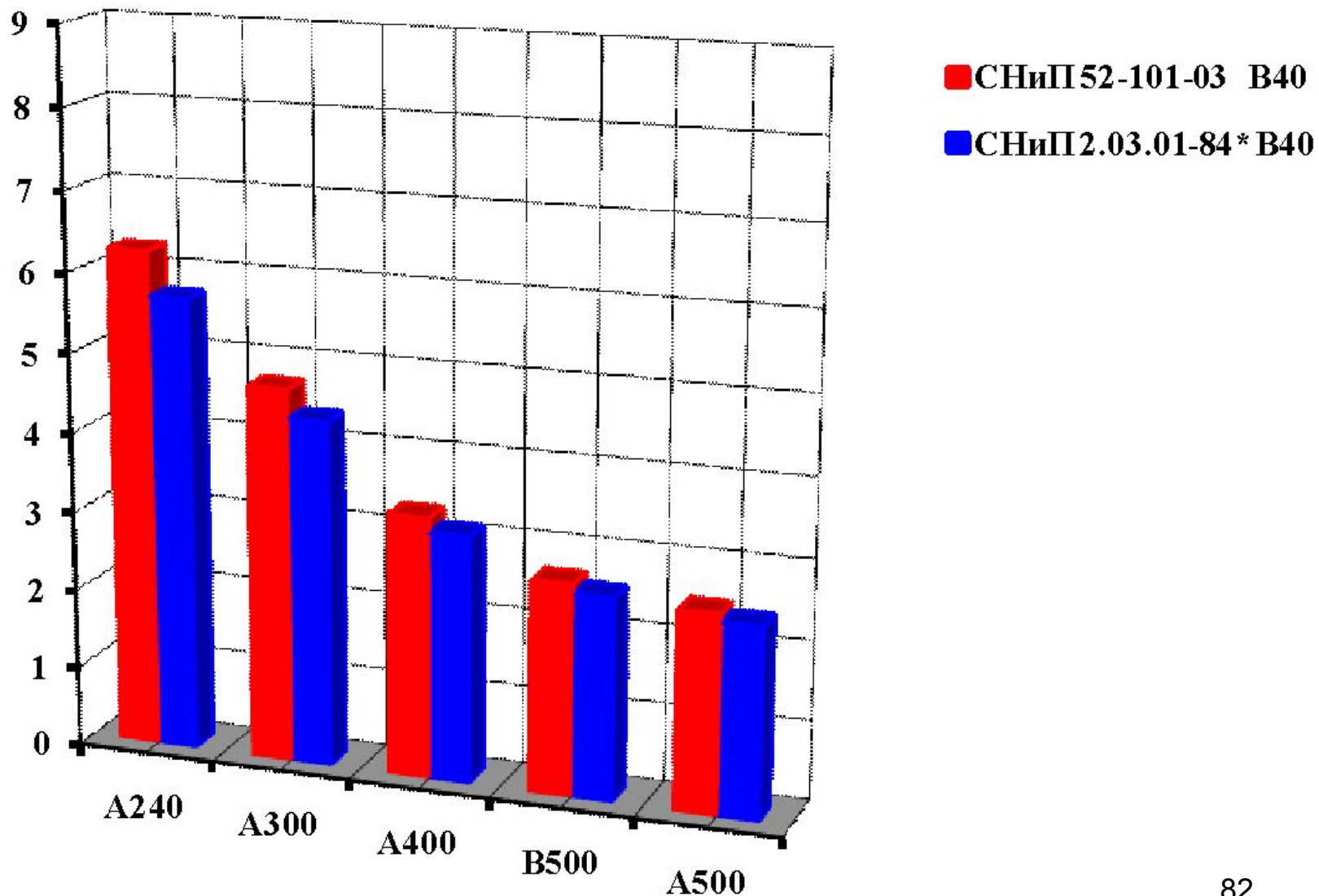
Зависимость μ_R от класса арматуры



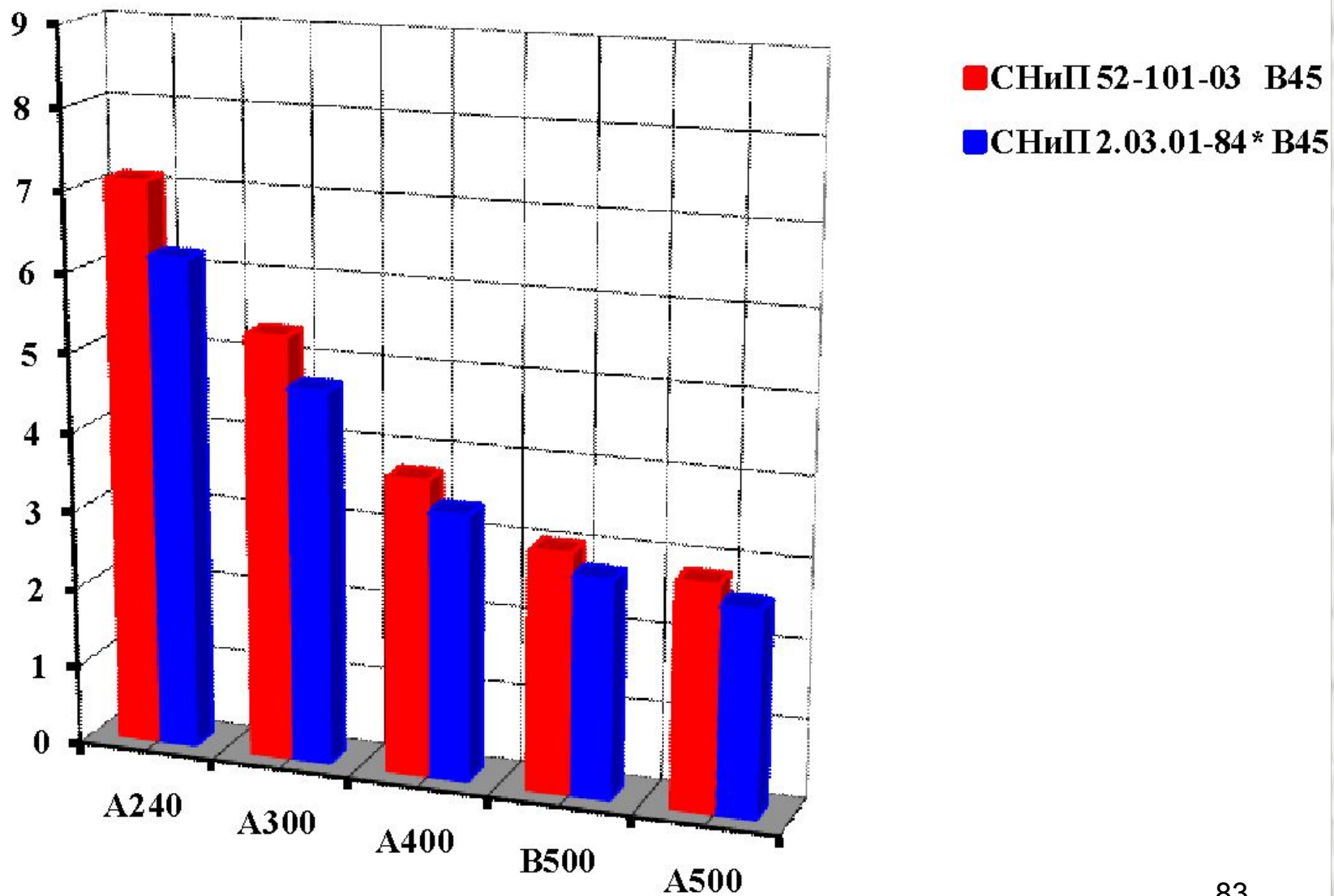
Зависимость μ_R от класса арматуры



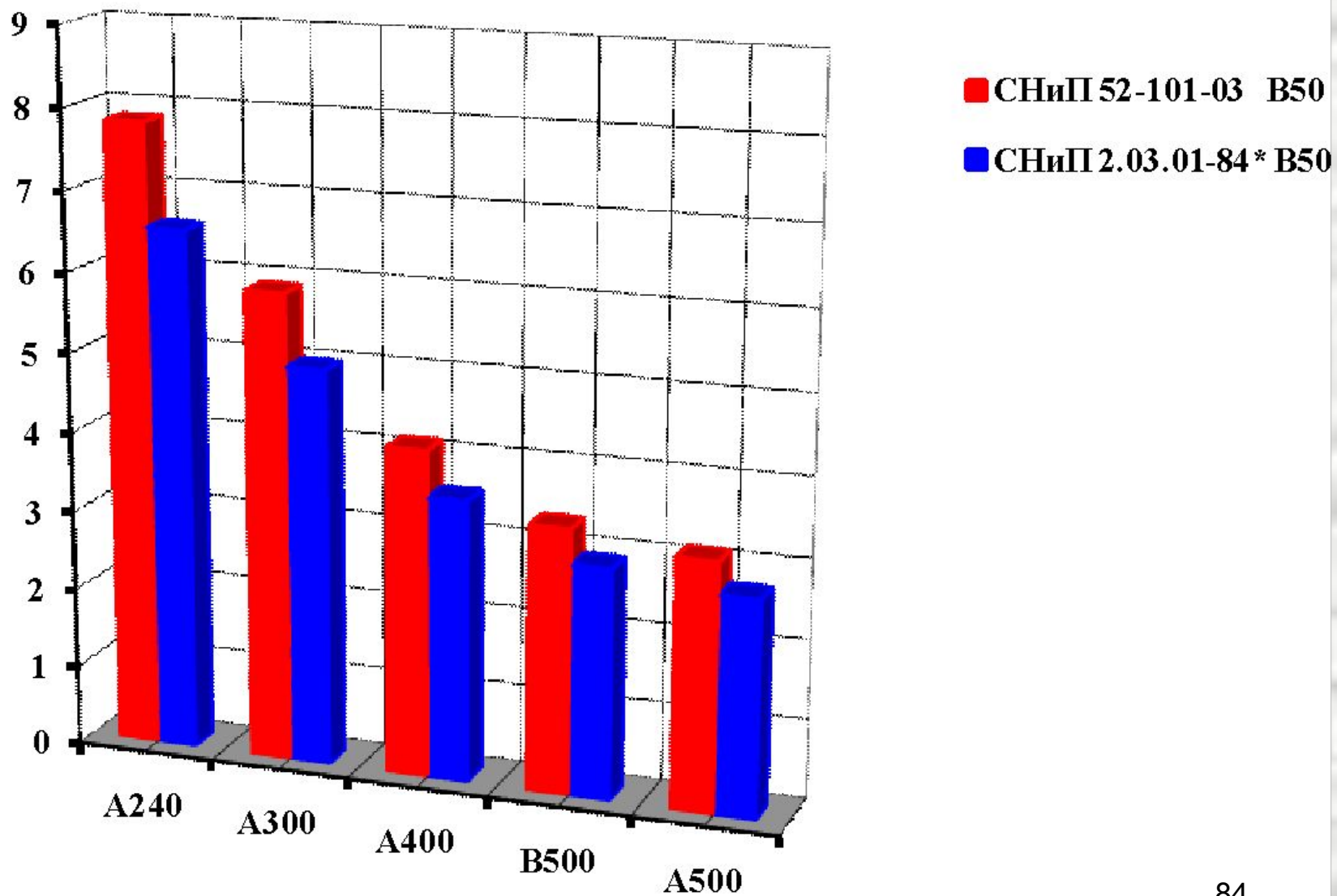
Зависимость μ_R от класса арматуры



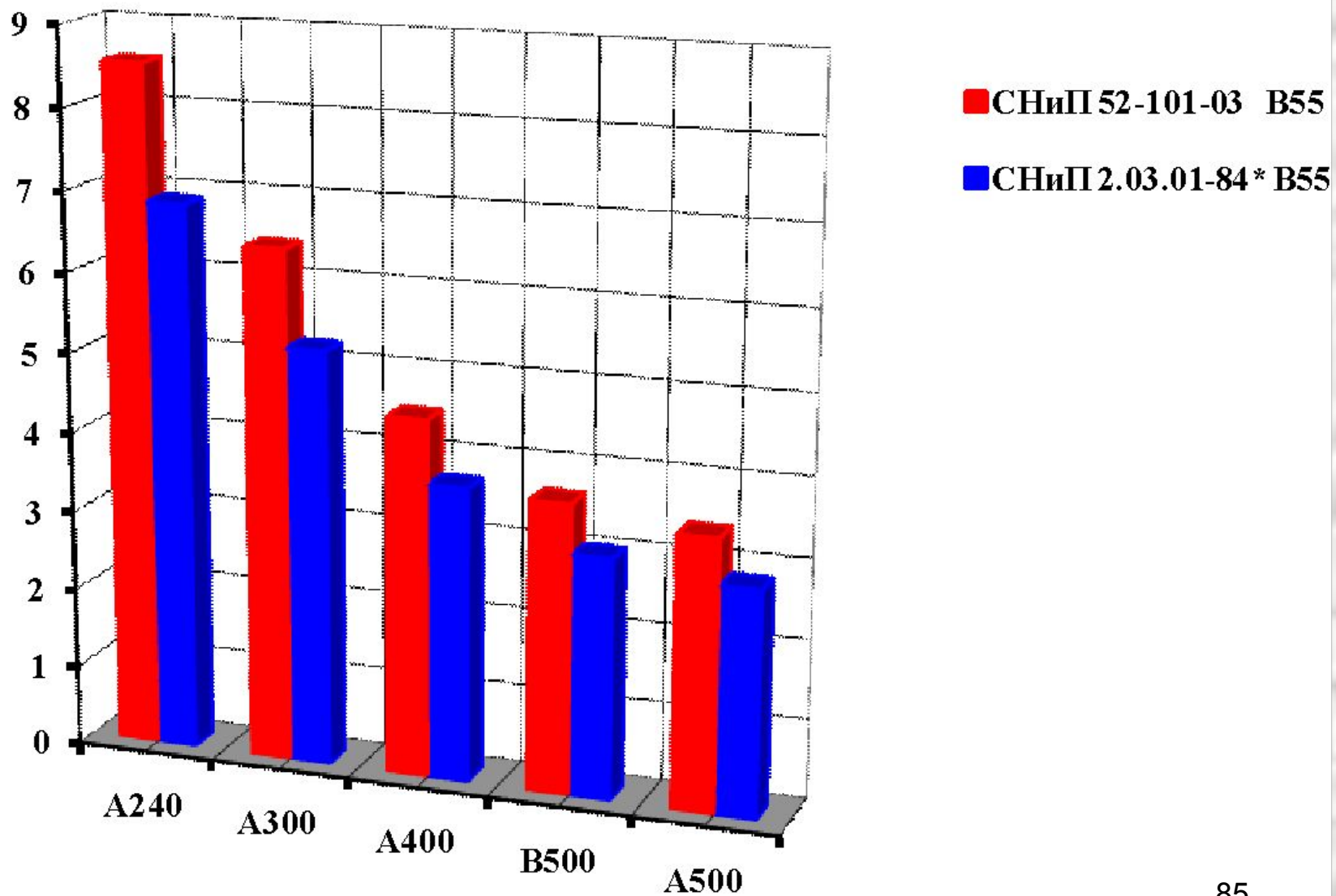
Зависимость μ_R от класса арматуры



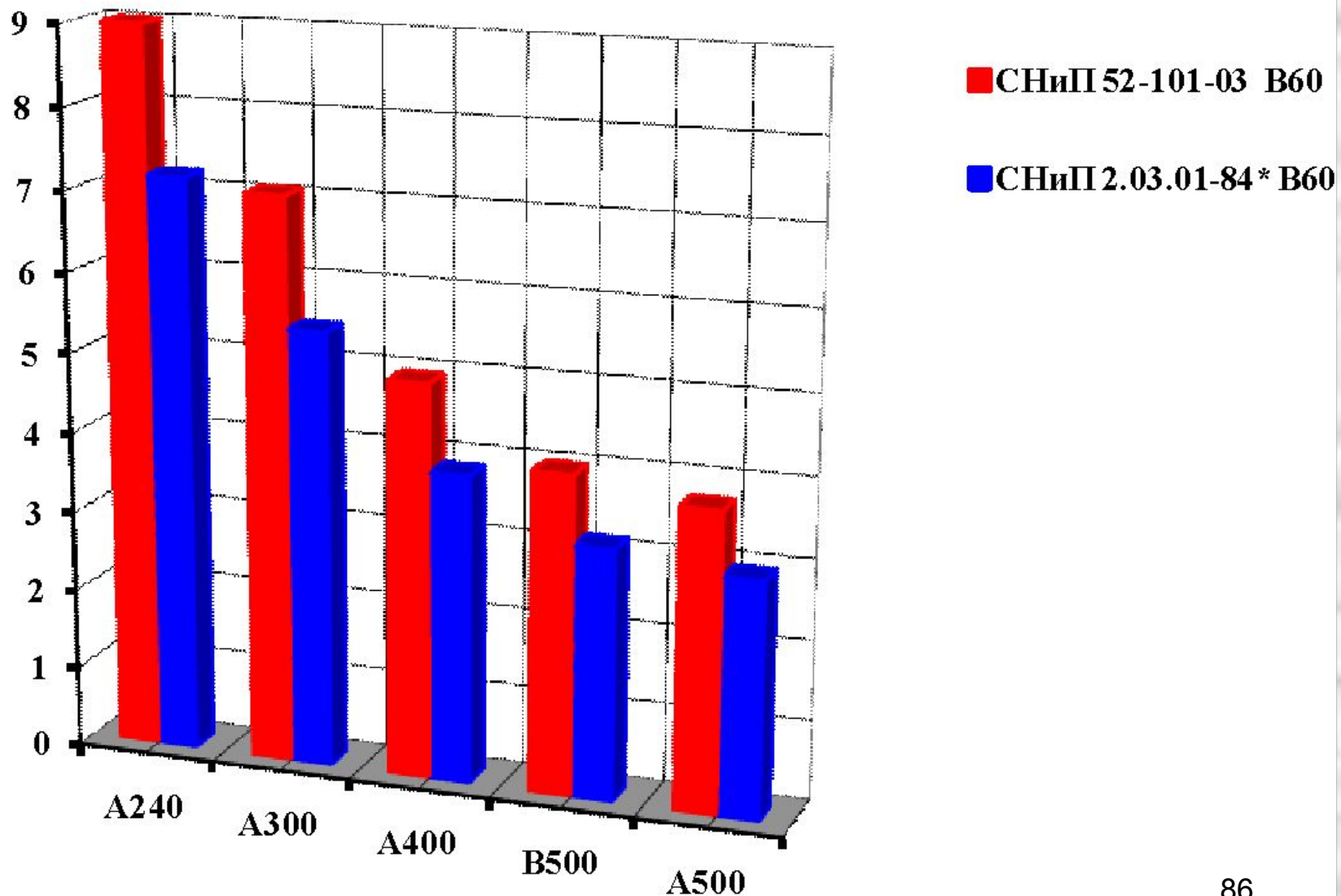
Зависимость μ_R от класса арматуры



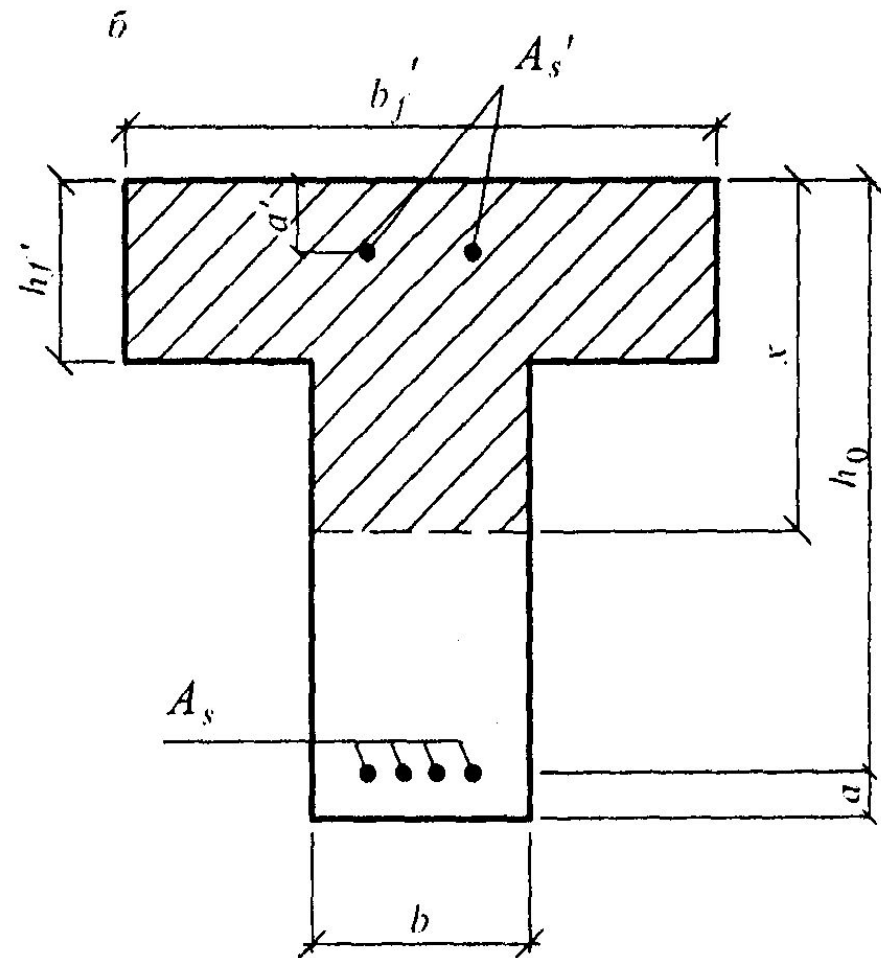
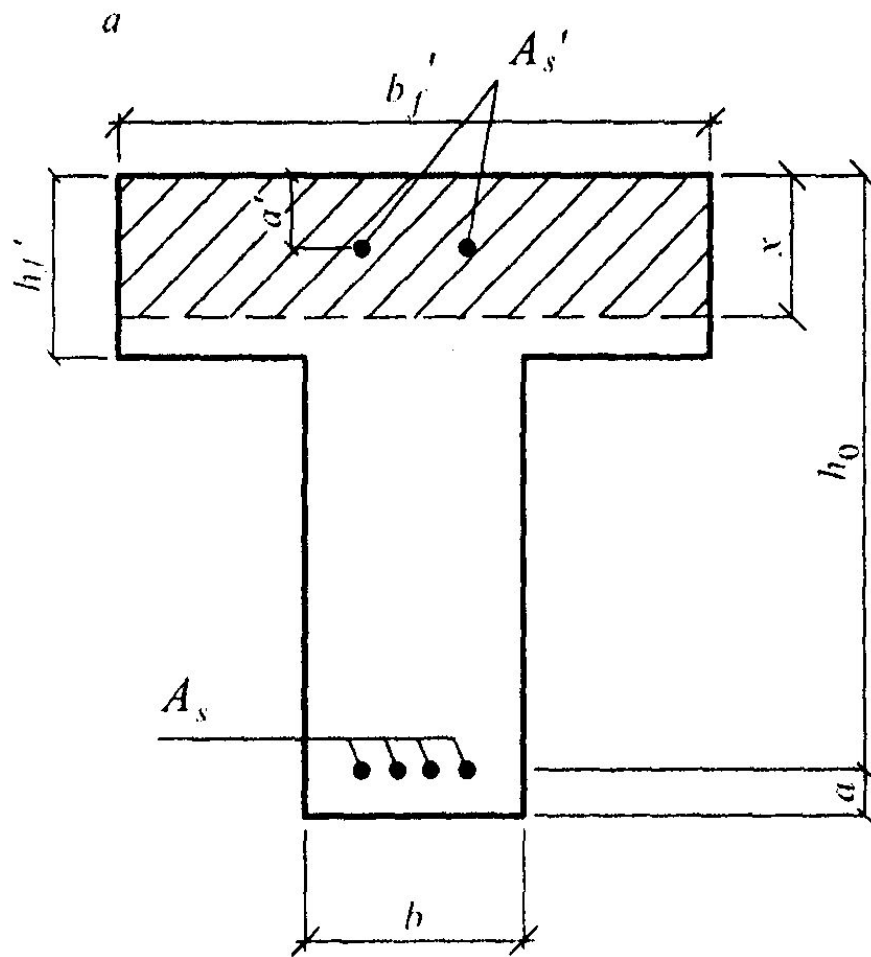
Зависимость μ_R от класса арматуры



Зависимость μ_R от класса арматуры



Изгибаемый элемент прямоугольного профиля с двойным армированием



Нелинейная деформационная модель расчета железобетонных конструкций по нормальным сечениям

Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяют с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению.

Нелинейная деформационная модель расчета железобетонных конструкций по нормальным сечениям

Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяют с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению.

Для этого нормальное сечение условно разделяют на малые участки:

- при косом внецентренном сжатии (растяжении) и косом изгибе - по высоте и ширине сечения;
- при внецентренном сжатии (растяжении) и изгибе плоскости оси симметрии поперечного сечения элемента - только по высоте сечения.

Нелинейная деформационная модель расчета железобетонных конструкций по нормальным сечениям

Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяют с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению.

Для этого нормальное сечение условно разделяют на малые участки:

- при косом внецентренном сжатии (растяжении) и косом изгибе - по высоте и ширине сечения;
- при внецентренном сжатии (растяжении) и изгибе плоскости оси симметрии поперечного сечения элемента - только по высоте сечения.

Напряжения в пределах малых участков принимают равномерно распределенными (усредненными).

Нелинейная деформационная модель расчета железобетонных конструкций по нормальным сечениям

Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяют с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению.

Для этого нормальное сечение условно разделяют на малые участки:

- при косом внецентренном сжатии (растяжении) и косом изгибе - по высоте и ширине сечения;
- при внецентренном сжатии (растяжении) и изгибе плоскости оси симметрии поперечного сечения элемента - только по высоте сечения.

Напряжения в пределах малых участков принимают равномерно распределенными (усредненными).

При расчете элементов с использованием деформационной модели принимают:

- значения сжимающей продольной силы, а также сжимающих напряжений и деформаций укорочения бетона и арматуры - со знаком «минус»;

Нелинейная деформационная модель расчета железобетонных конструкций по нормальным сечениям

Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяют с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению.

Для этого нормальное сечение условно разделяют на малые участки:

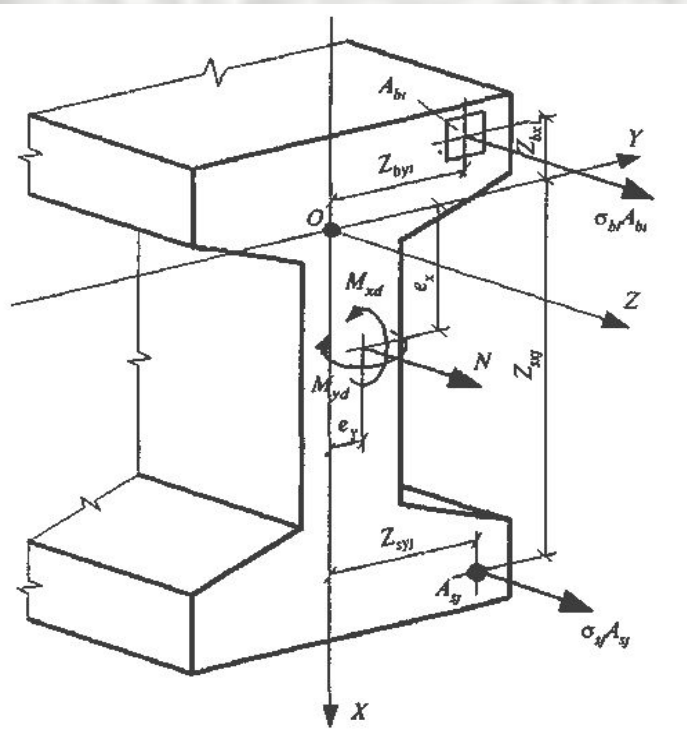
- при косом внецентренном сжатии (растяжении) и косом изгибе - по высоте и ширине сечения;
- при внецентренном сжатии (растяжении) и изгибе плоскости оси симметрии поперечного сечения элемента - только по высоте сечения.

Напряжения в пределах малых участков принимают равномерно распределенными (усредненными).

При расчете элементов с использованием деформационной модели принимают:

- значения сжимающей продольной силы, а также сжимающих напряжений и деформаций укорочения бетона и арматуры - со знаком «минус»;
- значения растягивающей продольной силы, а также растягивающих напряжений и деформаций удлинения бетона и арматуры - со знаком «плюс».

Расчетная схема нормального сечения железобетонного элемента



Знаки координат центров тяжести арматурных стержней и выделенных участков бетона, а также точки приложения продольной силы принимают в соответствии с назначенной системой координат XOY .

В общем случае начало координат этой системы (точка O на рисунке) располагают в произвольном месте в пределах поперечного сечения элемента.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете по прочности усилия и деформации в сечении, нормальном к продольной оси элемента, определяют на основе нелинейной деформационной модели, использующей уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в сечении элемента, а также следующие положения:

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете по прочности усилия и деформации в сечении, нормальном к продольной оси элемента, определяют на основе нелинейной деформационной модели, использующей уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в сечении элемента, а также следующие положения:

- распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимают по линейному закону (гипотеза плоских сечений);

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете по прочности усилия и деформации в сечении, нормальном к продольной оси элемента, определяют на основе нелинейной деформационной модели, использующей уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в сечении элемента, а также следующие положения:

- распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимают по линейному закону (гипотеза плоских сечений);
- СВЯЗЬ между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры принимают в виде диаграмм состояния (деформирования) бетона и арматуры;

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете по прочности усилия и деформации в сечении, нормальном к продольной оси элемента, определяют на основе нелинейной деформационной модели, использующей уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в сечении элемента, а также следующие положения:

- распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимают по линейному закону (гипотеза плоских сечений);
- связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры принимают в виде диаграмм состояния (деформирования) бетона и арматуры;
- сопротивление бетона растянутой зоны допускается не учитывать, принимая при $\varepsilon_{bi} \geq 0$ напряжения $\sigma_{bi} = 0$.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете по прочности усилия и деформации в сечении, нормальном к продольной оси элемента, определяют на основе нелинейной деформационной модели, использующей уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в сечении элемента, а также следующие положения:

- распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимают по линейному закону (гипотеза плоских сечений);
- связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры принимают в виде диаграмм состояния (деформирования) бетона и арматуры;
- сопротивление бетона растянутой зоны допускается не учитывать, принимая при $\varepsilon_{bi} \geq 0$ напряжения $\sigma_{bi} = 0$.

В отдельных случаях (например, изгибаемые и внецентренно сжатые бетонные конструкции, в которых не допускают трещины) расчет по прочности производят с учетом работы растянутого бетона.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете нормальных сечений по прочности в общем случае используют:

- уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в нормальном сечении элемента:

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{sxj}$$

$$M_y = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{syj}$$

$$N = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj}$$

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете нормальных сечений по прочности в общем случае используют:

- уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в нормальном сечении элемента:

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{sxj}$$

$$M_y = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{syj}$$

$$N = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj}$$

- уравнения, определяющие распределение деформаций по сечению элемента:

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} Z_{byj}$$

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{sxi} + \frac{1}{r_y} Z_{syj}$$

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете нормальных сечений по прочности в общем случае используют:

- уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в нормальном сечении элемента:

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{sxj} \quad M_y = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{syj} \quad N = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj}$$

- уравнения, определяющие распределение деформаций по сечению элемента:

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} Z_{byi} \quad \varepsilon_{si} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{sxi} + \frac{1}{r_y} Z_{syi}$$

- зависимости, связывающие напряжения и относительные деформации бетона и арматуры:

$$\sigma_{bi} = E_b \nu_{bi} \varepsilon_{bi} \quad \sigma_{sj} = E_s \nu_{sj} \varepsilon_{sj}$$

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

При расчете нормальных сечений по прочности в общем случае используют:

- уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в нормальном сечении элемента:

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{sxj} \quad M_y = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{syj} \quad N = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj}$$

- уравнения, определяющие распределение деформаций по сечению элемента:

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} Z_{byj} \quad \varepsilon_{si} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{sxi} + \frac{1}{r_y} Z_{syj}$$

- зависимости, связывающие напряжения и относительные деформации бетона и арматуры:

$$\sigma_{bi} = E_b \nu_{bi} \varepsilon_{bi} \quad \sigma_{sj} = E_s \nu_{sj} \varepsilon_{sj}$$

$$M_x = M_{xd} + N e_x \quad M_y = M_{yd} + N e_y \quad \nu_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_b \varepsilon_{bi}} \quad \nu_{si} = \frac{\sigma_{si}}{E_s \varepsilon_{si}}$$

Расчет нормальных сечений железобетонных элементов по прочности производят из условий

$$|\varepsilon_{b,\max}| \leq \varepsilon_{b2} \quad |\varepsilon_{s,\max}| \leq \varepsilon_{s2}$$