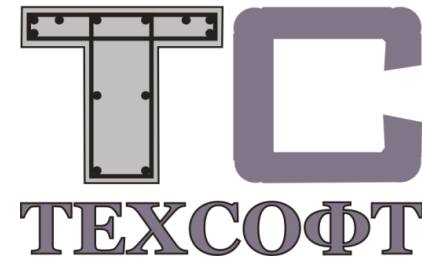




Международный форум  
высотного и уникального  
строительства

МВЦ «Екатеринбург-Экспо»  
23-25 сентября 2015



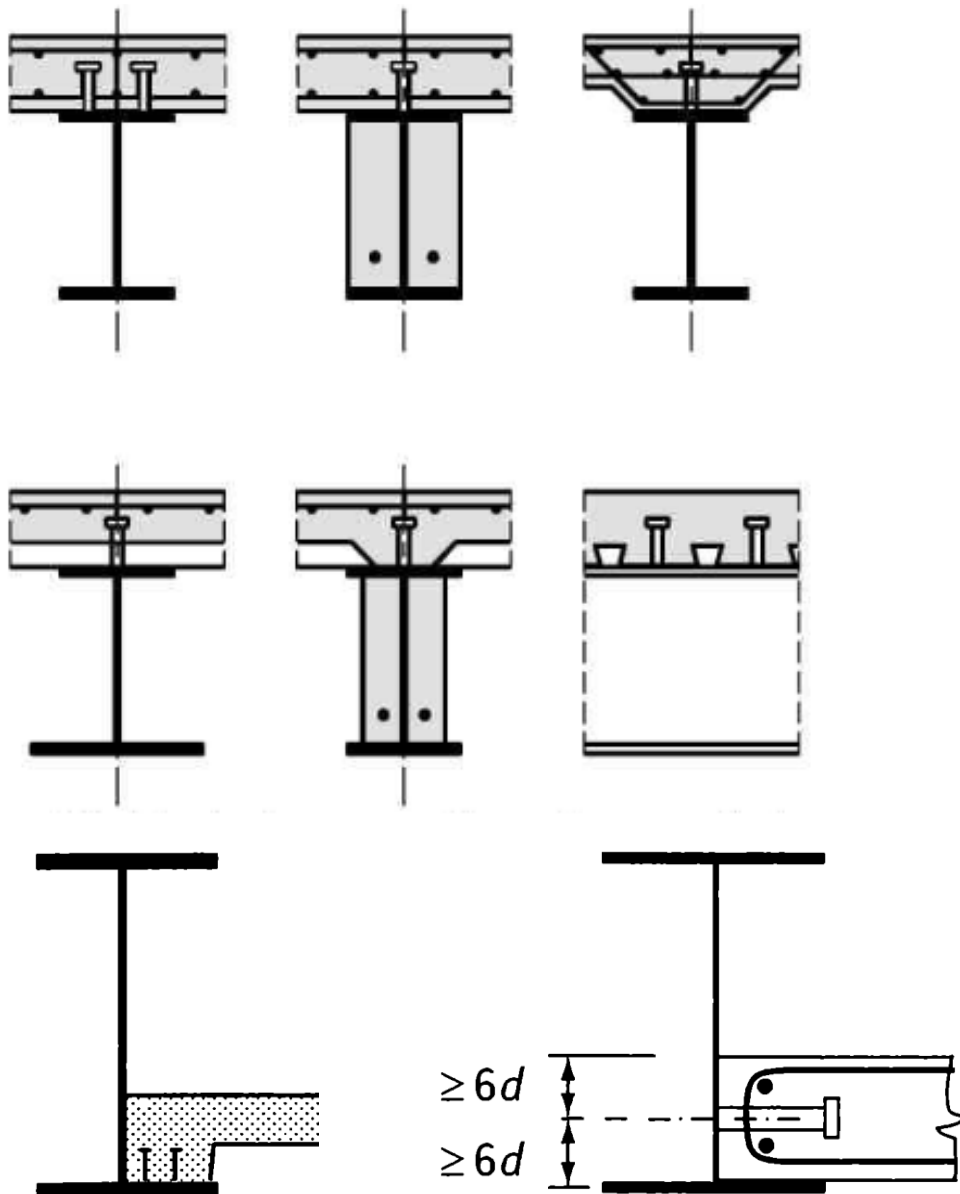
**Вопросы расчета сталежелезобетонных перекрытий в  
рамках разработки СТО АРСС «Сталежелезобетонные  
конструкции»**

**Семенов В.А.**  
***(ООО Техсофт, Москва)***

# Расчет сталежелезобетонных перекрытий

1. Основные гипотезы и предпосылки, используемые для расчетов сталежелезобетонных перекрытий.
2. Расчеты по прочности.
3. Примеры расчетов сечений сталежелезобетонных перекрытий.

# Типичные сечения



## **Основные гипотезы**

Расчеты следует выполнять, как правило, исходя из гипотезы плоских сечений, без учета податливости швов объединения стальной и железобетонной частей.

Напряжения в сжатом бетоне следует определять по нелинейной деформационной модели, согласно СП 63.13330.2012.

Напряжения в арматуре следует определять по билинейным диаграммам, приведенным в СП 63.13330.2012.

Напряжения в конструкционной стали при сжатии или растяжении следует определять по СП 16.13330.2011.

При действии усилий в плоскости симметрии нормальных сечений и арматурой, расположенной у граней сечения перпендикулярных плоскости изгиба допускается производить расчет на основе предельных усилий.

## Основные предпосылки

Определение усилий и расчет поперечного сечения следует выполнять по стадиям, число которых определяется количеством частей сечения, последовательно включаемых в работу.

Учитываемую в составе сечения расчетную ширину железобетонной плиты следует определять как сумму расчетных величин свесов плиты в обе стороны от оси стальной конструкции.

Расчетное значение свеса плиты **следует, как правило, определять пространственным расчетом**; допускается принимать приближенное значение в соответствии с таблицей СП 35.13330.2011.

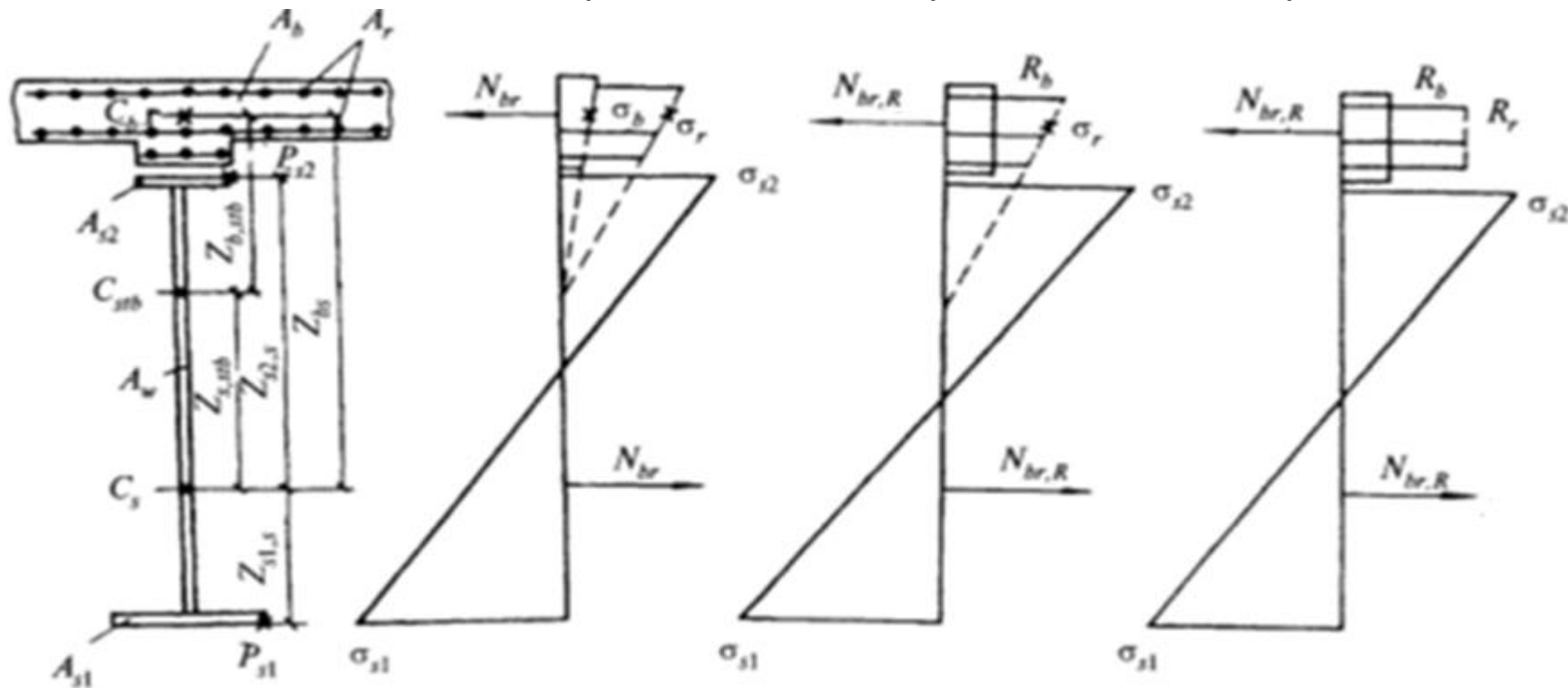
# Расчеты по прочности (положительный момент)

Расчет на основе предельных усилий (СП 35.13330.2011)

Случай А

Случай Б

Случай В

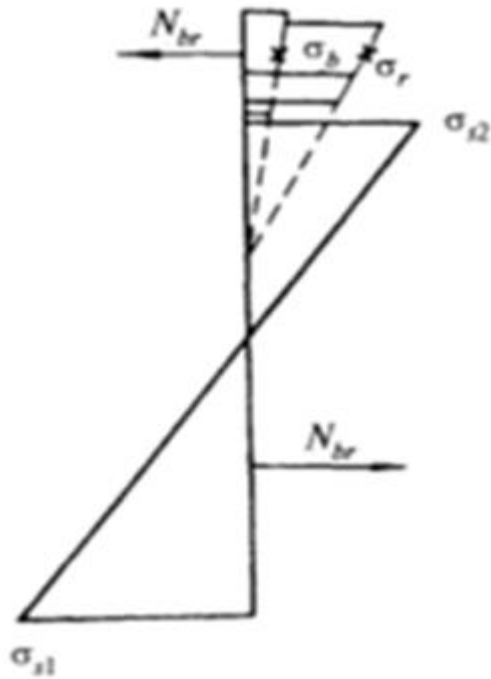


$$N = N_{br} = A_b \sigma_b + A_r \sigma_r \text{ — в случае А}$$

$$N = N_{br,R} = A_b R_b + A_r \sigma_r \text{ — в случае Б при проверке нижнего пояса}$$

$$N = N_{br,R} = A_b R_b + A_r R_r \text{ — в случае Б при проверке верхнего пояса, а также в случае В}$$

# Расчет на основе предельных усилий (Случай А)



$$N = N_{br} = A_b \sigma_b + A_r \sigma_r$$

Критерии:

$$E_b I_b \leq 0,2 E_{st} I_s$$

$$\sigma_b = \frac{M_2}{n_b W_{b, stb}} - \sigma_{bi} < \gamma_{bi} R_b$$

$$\sigma_r = \frac{M_2}{n_r W_{b, stb}} + \sigma_{ri} < \gamma_{si} R_r$$

Проверки:

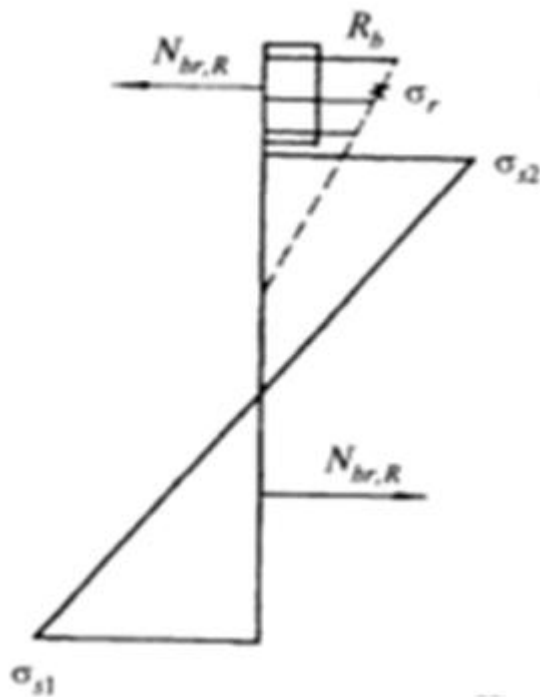
Стального верхнего пояса

$$\frac{M - Z_{bs} N_{br}}{\kappa_4 W_{s2, s}} - \frac{N_{br}}{A_s} < \gamma_1 \gamma_c R_y$$

Стального нижнего пояса

$$\frac{M - Z_{bs} N_{br}}{\kappa_3 W_{s1, s}} + \frac{N_{br}}{A_s} < \gamma_c R_y$$

## Расчет на основе предельных усилий (Случай Б)



$$N = N_{br,R} = A_b R_b + A_r R_r$$

Критерии:

$$\sigma_b = \frac{M_2}{n_b W_{b, stb}} - \sigma_{bi} \geq \gamma_{bi} R_b$$

$$\sigma_r = \frac{M_2}{n_r W_{b, stb}} + \sigma_{ri} < \gamma_{si} R_r$$

Проверки:

Стального верхнего пояса

$$\frac{M - Z_{bs} N_{br,R}}{\kappa_3 W_{s2,s}} - \frac{N_{br,R}}{A_s} < \gamma_c R_y$$

$$N = N_{br,R} = A_b R_b + A_r R_r$$

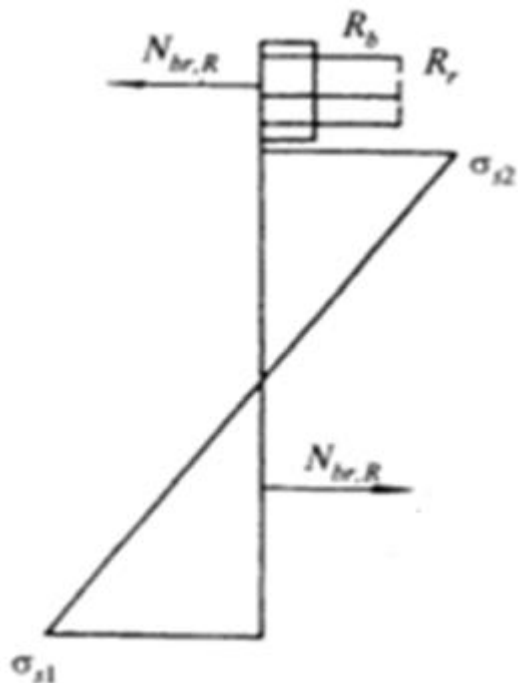
Стального нижнего пояса

$$\frac{M - Z_{bs} N_{br,R}}{\kappa_3 W_{s1,s}} + \frac{N_{br,R}}{A_s} < \gamma_c R_y$$

$$N = N_{br,R} = A_b R_b + A_r \sigma_r$$



## Расчет на основе предельных усилий (Случай В)



$$N = N_{br,R} = A_b R_b + A_r R_r$$

### Критерии:

$$\sigma_b = \frac{M_2}{n_b W_{b, stb}} - \sigma_{bi} \geq \gamma_{bi} R_b$$

$$\sigma_r = \frac{M_2}{n_r W_{b, stb}} + \sigma_{ri} \geq \gamma_{si} R_r$$

## Проверки:

$$\frac{k}{E_{st}} \left( \frac{M_2 - Z_{bs} N_{br,R}}{W_{bs}} - \frac{N_{br,R}}{A_s} \right) < \mathcal{E}_{b,\text{lim}}$$

$$\mathcal{E}_{b,\text{lim}} = 0,0016$$

# Железобетона

# Стального верхнего пояса

$$\frac{M - Z_{bs} N_{br,R}}{\kappa_3 W_{s2,s}} - \frac{N_{br,R}}{A_s} < \gamma_c R_y$$

# Стального нижнего пояса

$$\frac{M - Z_{bs}N_{br,R}}{\kappa_3 W_{s1,s}} + \frac{N_{br,R}}{A_s} < \gamma_c R_y$$

## Случай Д

# Расчет на основе предельных усилий (Случай Г)

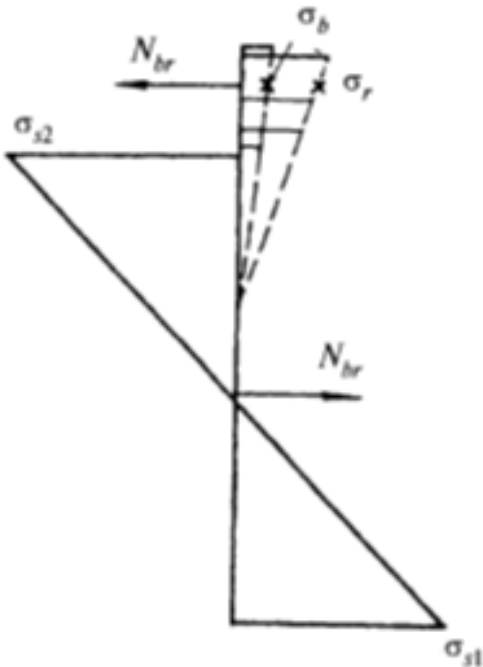
$$N = N_{br} = A_b \sigma_b + A_r \sigma_r$$

Критерии:

$$E_b I_b \leq 0,2 E_{st} I_s$$

$$\sigma_b = \frac{M_2}{n_b W_{b, stb}} - \sigma_{bi} > 0,1 \gamma_{bi} R_b$$

Проверки:



Стального верхнего пояса

$$\frac{-M + Z_{bs} N_{br}}{\kappa_5 W_{s2,s}} + \frac{N_{br}}{A_s} \leq \gamma_2 \gamma_c R_y$$

Стального нижнего пояса

$$\frac{-M + Z_{bs} N_{br}}{\kappa_3 W_{s1,s}} - \frac{N_{br}}{A_s} \leq \gamma_c R_y$$

# Расчет на основе предельных усилий (Случай Д)

Критерии:

$$\sigma_b = \frac{M_2}{n_b W_{b, stb}} - \sigma_{bi} \leq 0,1 \gamma_{bi} R_b$$

Проверки:

$$\sigma_r = \frac{-M_2 + Z_{b, s\psi} A_b \sigma_{bi}}{\psi_{cr} n_r W_{r, s\psi}} + \frac{A_b \sigma_{bi}}{\psi_{cr} n_r A_{s\psi}} - \sigma_{r, i} \leq \gamma_{si} R_r$$

Арматуры

Стального верхнего пояса

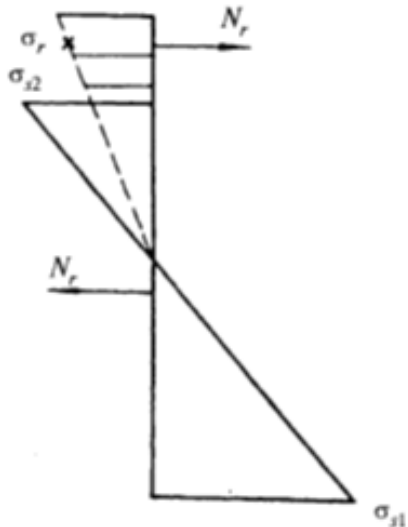
$$\frac{-M - Z_{rs} N_{rR}}{\kappa_3 W_{s2, s}} - \frac{N_{rR}}{A_s} < \gamma_c R_y$$

$$N = N_{rR} = A_r R_r$$

Стального нижнего пояса

$$\frac{-M - Z_{rs} N_r}{\kappa_3 W_{s1, s}} + \frac{N_r}{A_s} < \gamma_c R_y$$

$$N = N_r = A_r \sigma_r \leq A_r R_r$$



# Расчет на основе предельных усилий (Случай Д)

Критерии:

$$\sigma_b = \frac{M_2}{n_b W_{b, stb}} - \sigma_{bi} \leq 0,1 \gamma_{bi} R_b$$

Проверки:

$$\sigma_r = \frac{-M_2 + Z_{b, s\psi} A_b \sigma_{bi}}{\psi_{cr} n_r W_{r, s\psi}} + \frac{A_b \sigma_{bi}}{\psi_{cr} n_r A_{s\psi}} - \sigma_{r, i} \leq \gamma_{si} R_r$$

Арматуры

Стального верхнего пояса

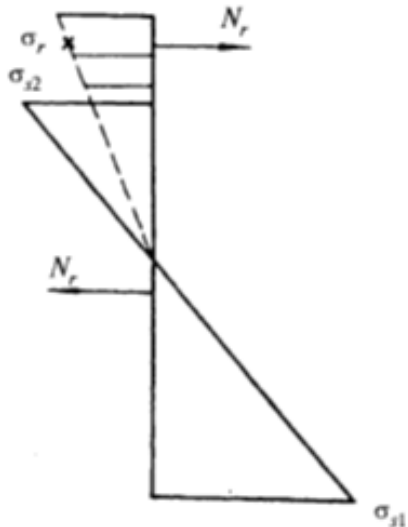
$$\frac{-M - Z_{rs} N_{rR}}{\kappa_3 W_{s2, s}} - \frac{N_{rR}}{A_s} < \gamma_c R_y$$

$$N = N_{rR} = A_r R_r$$

Стального нижнего пояса

$$\frac{-M - Z_{rs} N_r}{\kappa_3 W_{s1, s}} + \frac{N_r}{A_s} < \gamma_c R_y$$

$$N = N_r = A_r \sigma_r \leq A_r R_r$$



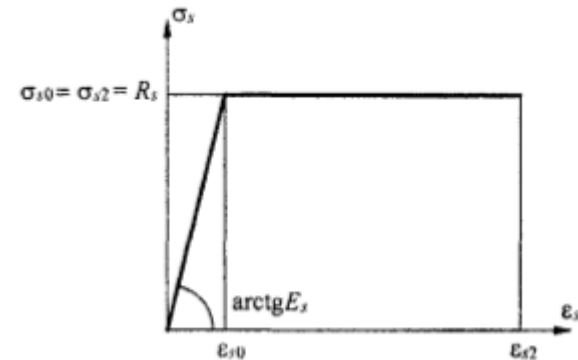
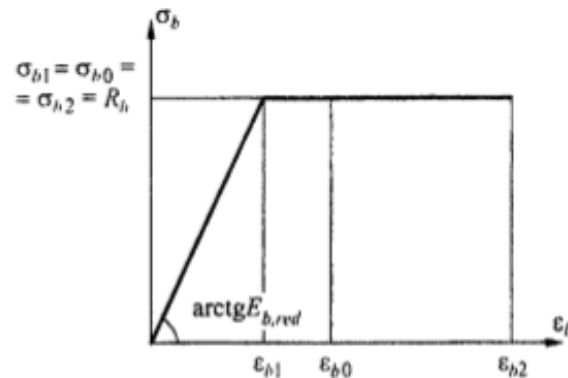
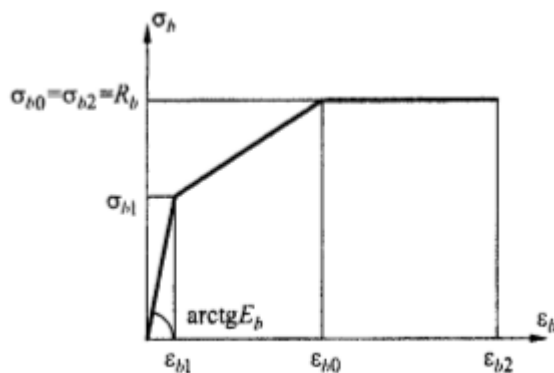
# Расчеты по прочности

## Расчет на основе НДМ

Напряжения в сжатом бетоне следует определять по нелинейной деформационной модели, согласно СП 63.13330.2012.

Напряжения в арматуре следует определять по билинейным диаграммам, приведенным в СП 63.13330.2012.

Напряжения в конструкционной стали при сжатии или растяжении следует определять по СП 16.13330.2011.



# **Расчеты по прочности**

## **Расчет на поперечную силу**

Несущую способность по поперечной силе сталежелезобетонного сечения следует принимать равной несущей способности стального сечения.

Несущую способность по поперечной силе стального сечения следует определять по СП 16.13330.2011.

# Расчеты по прочности

## Расчет объединения

Сдвигающее усилие по шву объединения железобетонной плиты и стальной конструкции следует определять по формуле

$$S_i = (\sigma_{b1} A_b + \sigma_{r1} A_r) - (\sigma_{b2} A_b + \sigma_{r2} A_r)$$

$\sigma_{b1}, \sigma_{b2}$  — напряжения в центре тяжести поперечного сечения бетона соответственно в правом и левом сечениях расчетного участка плиты

$\sigma_{r1}, \sigma_{r2}$  — напряжения в продольной арматуре соответственно в тех же сечениях



## **Устойчивость плоской формы изгиба**

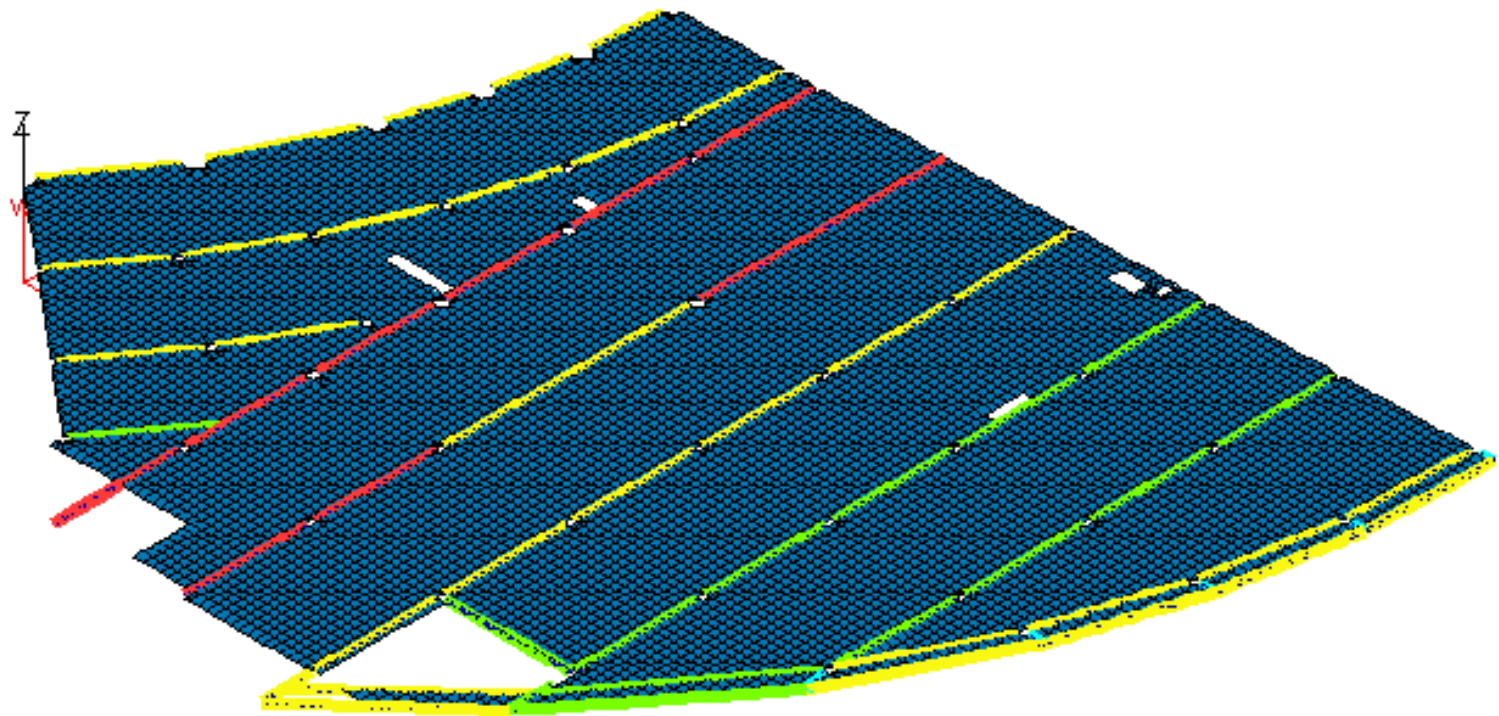
Стальную полку, прикрепленную к железобетонной плите посредством соединительных деталей, можно считать устойчивой против смещения из плоскости изгиба при условии, что железобетонная плита также устойчива против такого смещения.

Во всех других случаях сжатые стальные полки следует проверять на устойчивость из плоскости изгиба, используя для этого методы, приведенные в СП 16.13330.2011 и учитывая влияние последовательности возведения.

## **Расчеты по предельным состояниям второй группы**

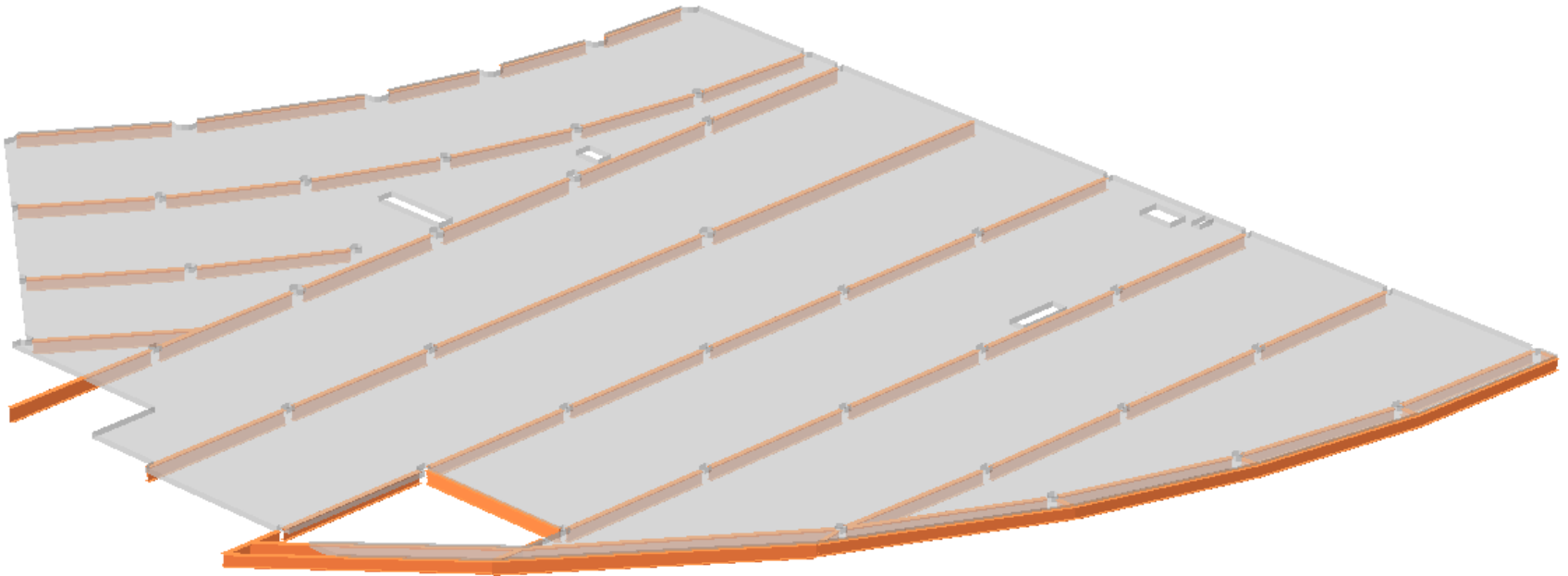
Расчет железобетонных плит по трещиностойкости при совместной работе со стальными конструкциями следует выполнять в соответствии с требованиями соответствующих разделов СП 63.13330.2010, СП 35.13330.2011. При этом в расчетах по образованию трещин предельные значения растягивающих и сжимающих напряжений в бетоне следует сопоставлять с напряжениями в крайней фибре бетона упруго работающего сталежелезобетонного сечения, вычисленными от эксплуатационных нагрузок.

# Примеры расчета



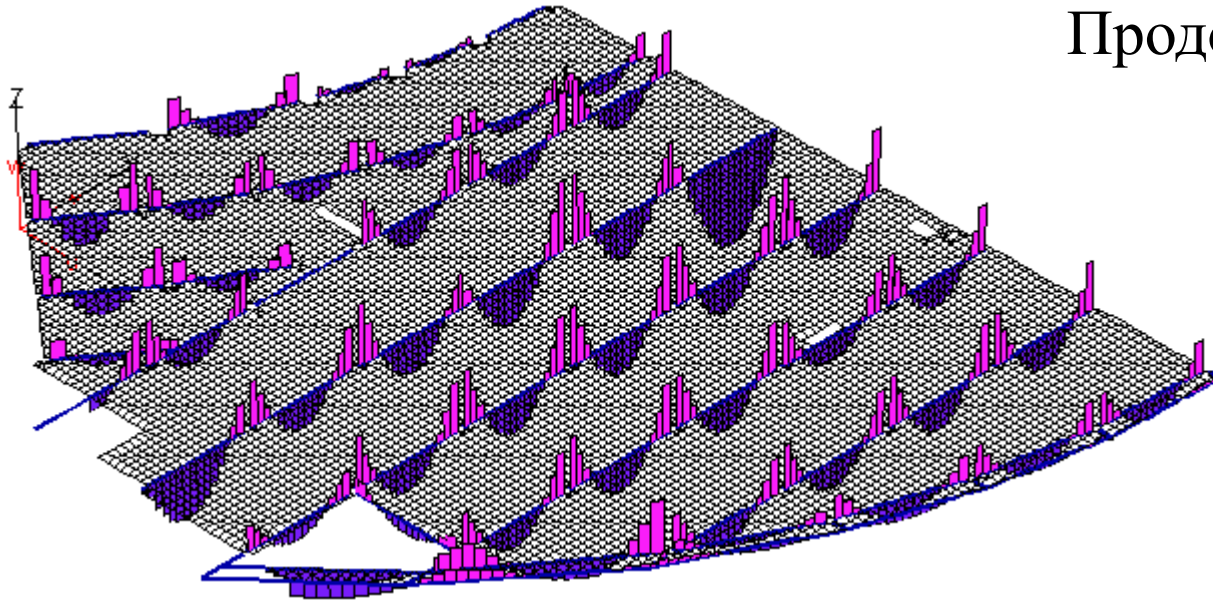
Материалы			
№	Имя	Цвет	Описание
1	материал 1 (3D балка)	Red	NPR DVTB1   5061....
2	материал 2 (3D балка)	Yellow	NPR DVTB1   4062....
3	материал 3 (3D балка)	Green	NPR DVTB1   4561....
4	материал 4 (3D балка)	Cyan	NPR DVTB1   3062....
5	материал 5 (изотр.)	Blue	Изотропный

# Примеры расчета

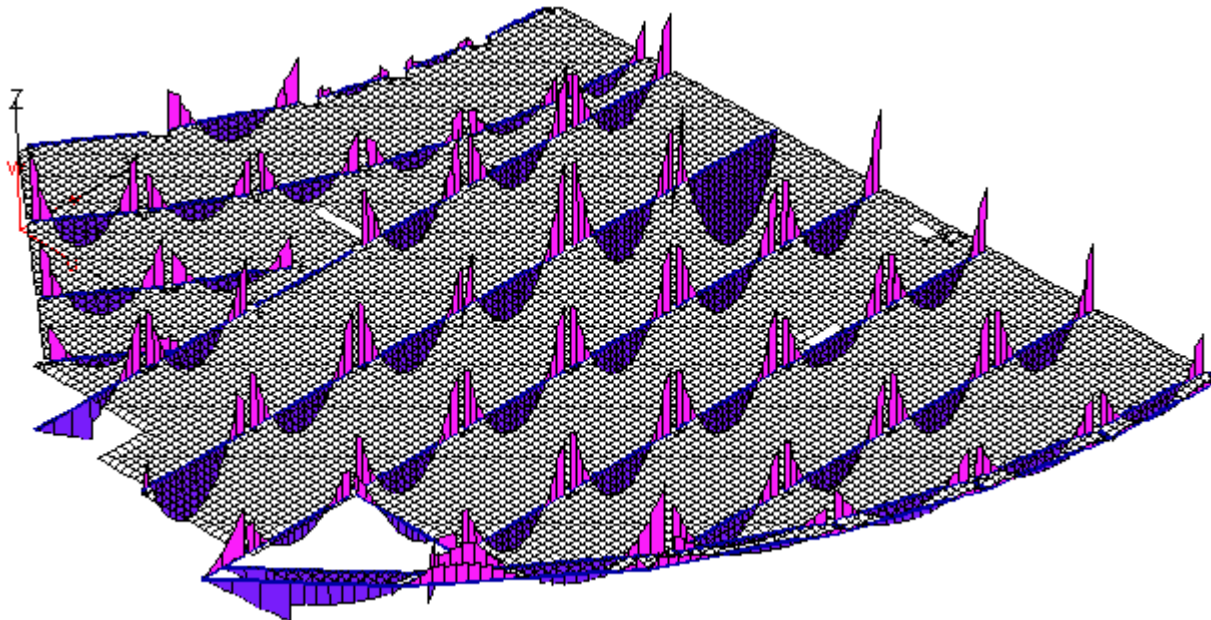


# Примеры расчета

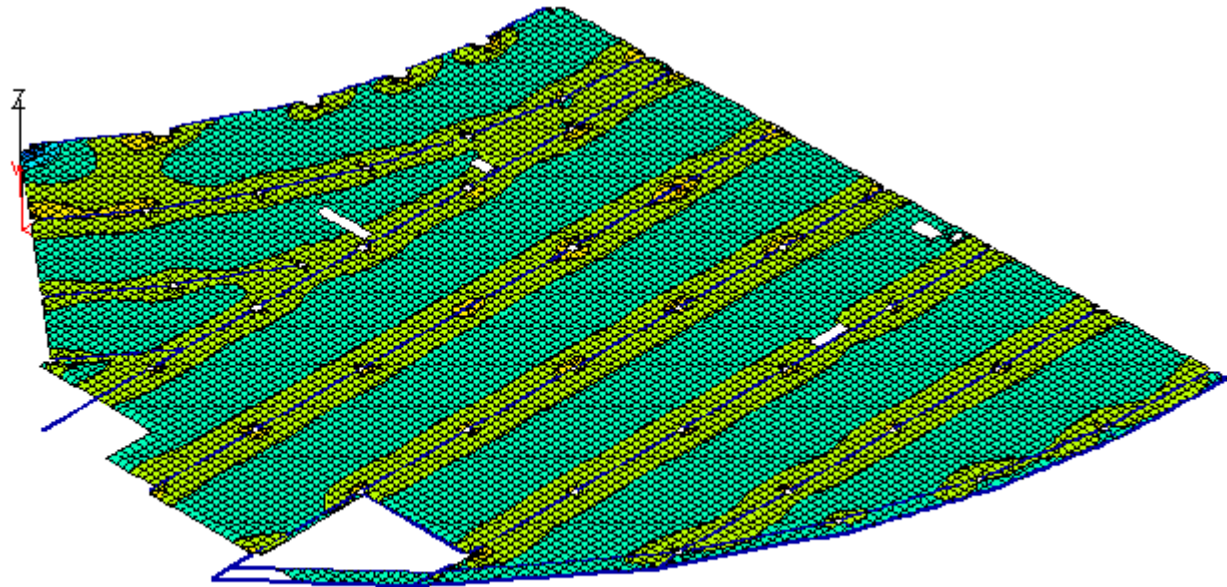
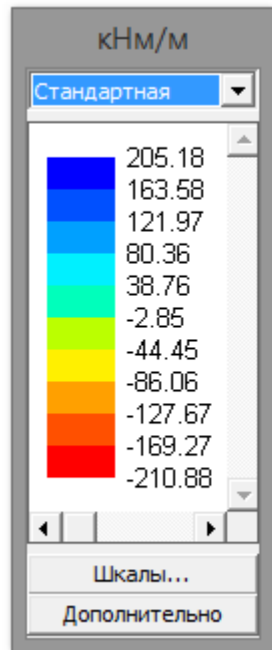
Продольное усилие



Момент

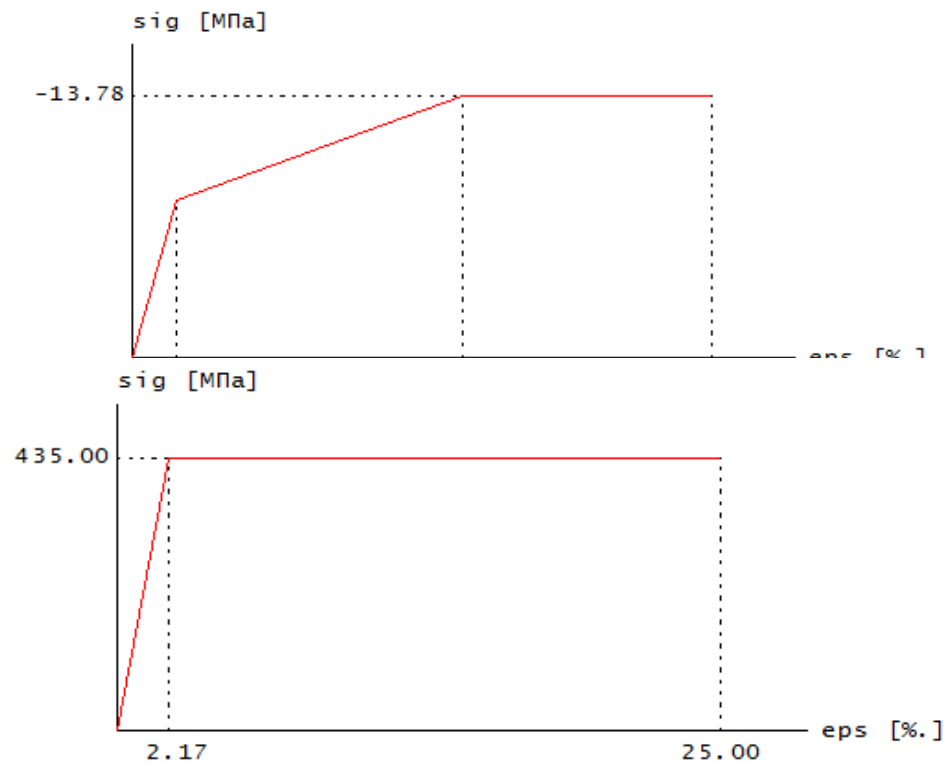
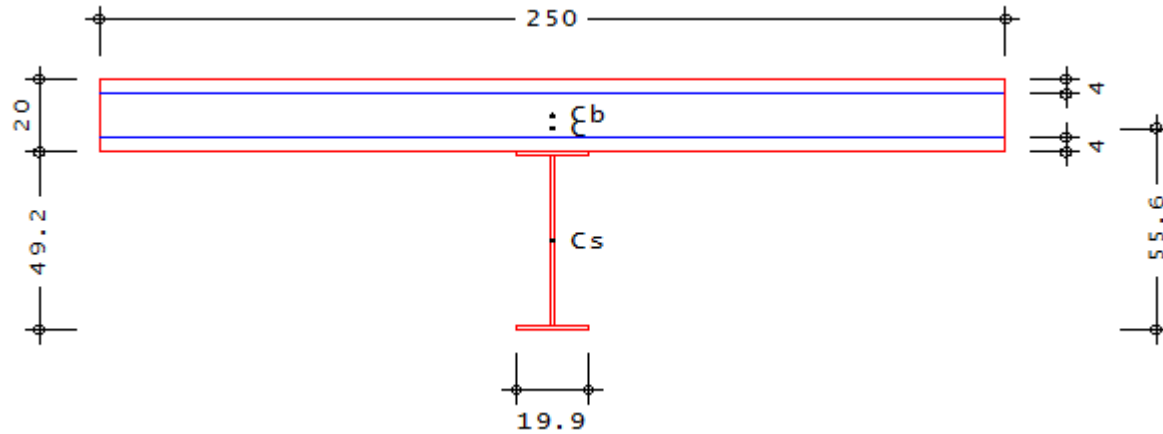


# Примеры расчета



Изгибающий момент  $M_r$

# Примеры расчета



# Примеры расчета

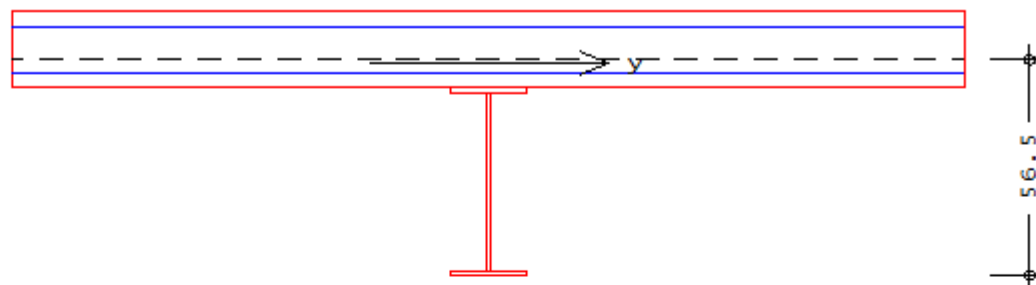
## Расчет

### Проверка несущей способности

#### Предельные усилия

N [кН]	M <sub>y</sub> [кНм]	N <sub>u</sub> [кН]	M <sub>y u</sub> [кНм]	γ <sub>u</sub>
0.0	845.0	0.0	937.2	1.109

#### Нейтральная линия



#### Кривизна

$$\kappa_y = 0.00301 \text{ 1/м}$$

#### Деформации бетона

Максимальная деформация		Минимальная деформация	
ε [‰]	σ [МПа]	ε [‰]	σ [МПа]
0.22	0.00	-0.38	-8.61

#### Деформации арматуры

Максимальная деформация		Минимальная деформация	
ε [‰]	σ [МПа]	ε [‰]	σ [МПа]
0.10	19.80	-0.26	-52.38

#### Деформации стали

Максимальная деформация		Минимальная деформация	
ε [‰]	σ [МПа]	ε [‰]	σ [МПа]
1.70	350.00	0.22	45.18



# Примеры расчета

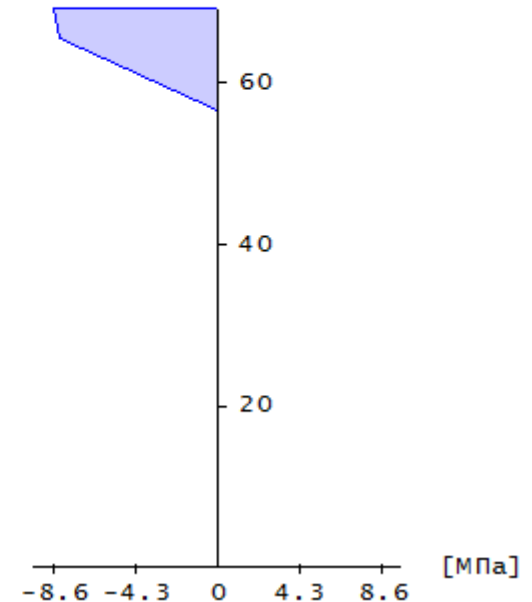
Усилия в частях сечения относительно их центральных осей

$N_b$ [кН]	$M_b$ [кНм]	$N_s$ [кН]	$M_s$ [кНм]
-1775.9	104.6	1775.9	218.1

Эпюры напряжений

в стали

в бетоне

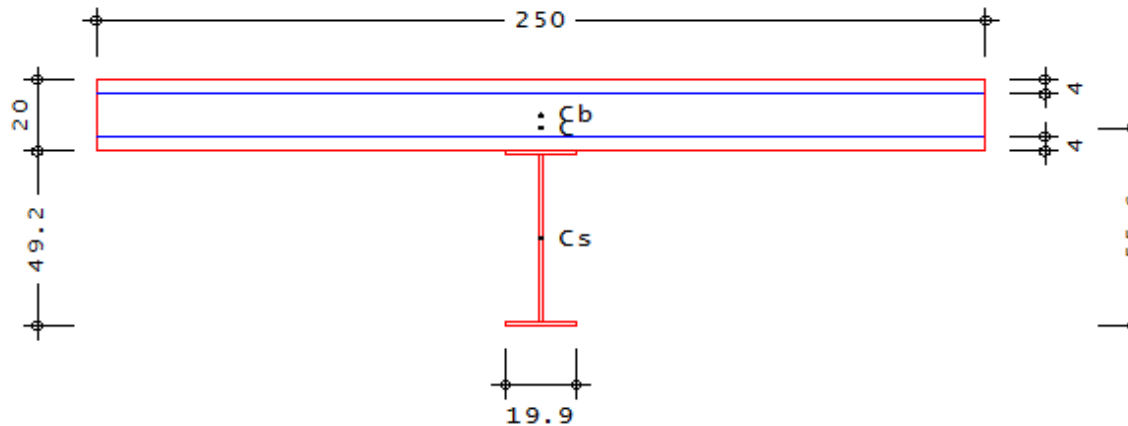


Сдвигающее усилие по шву объединения плиты и профиля при  $Q_s = 100.0$  кН

$a_{12}$ [м]	$M_{y1}$ [кНм]	$M_{y2}$ [кНм]	$N_{b1}$ [кН]	$N_{b2}$ [кН]	$S$ [кН/м]
0.469	937.2	890.3	-1775.9	-1685.0	194.0

$a_{12}$  – расстояние между расчетными сечениями ( $\leq 1$  м)

# Примеры расчета



## Расчет

Проверка несущей способности по СП 35.13330.2011

Изгибающий момент  $M_y = 845.0$  кНм  
 Поперечная сила  $Q_x = 100.0$  кН

Расчетный случай А

Отношение жесткостей  $EI_b / EI_c = 0.74 > 0.2$

$I_b$ [см <sup>4</sup> ]	$I_c$ [см <sup>4</sup> ]	$I_{с, т б}$ [см <sup>4</sup> ]	$Z_{b, c}$ [см]	$Z_{b, с, т б}$ [см]	$Z_{с, 1, c}$ [см]	$Z_{с, 2, c}$ [см]
178667	35198	157658	34.6	3.6	24.6	24.6

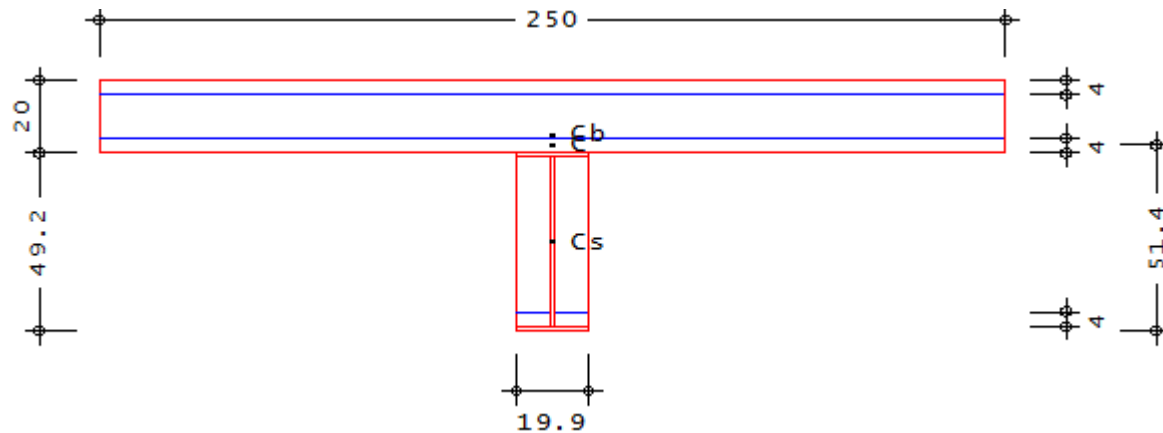
$\sigma_b$ [МПа]	$\sigma_c$ [МПа]	$N_{b, c}$ [кН]	$\eta$ [-]	$\kappa$ [-]	$\kappa_3$ [-]	$\kappa_4$ [-]	$m_1$ [-]
2.8	18.7	1493.9	3.565	1.083	1.295	1.080	1.200

Данные при определении  $\kappa$  согласно (8.26)

$R_s$ [МПа]	$\tau_m$ [МПа]	$\kappa_1$ [-]
203.0	23.7	1.083

Проверка 1	Проверка 2	Проверка 3
-	0.110 ≤ 1	0.981 ≤ 1

# Примеры расчета (обетонированное сечение)



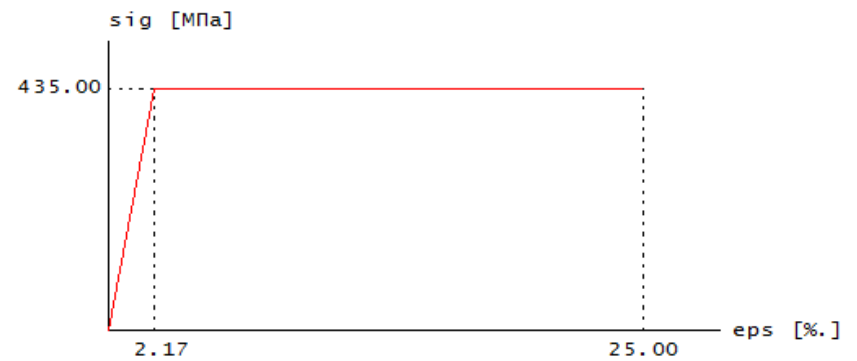
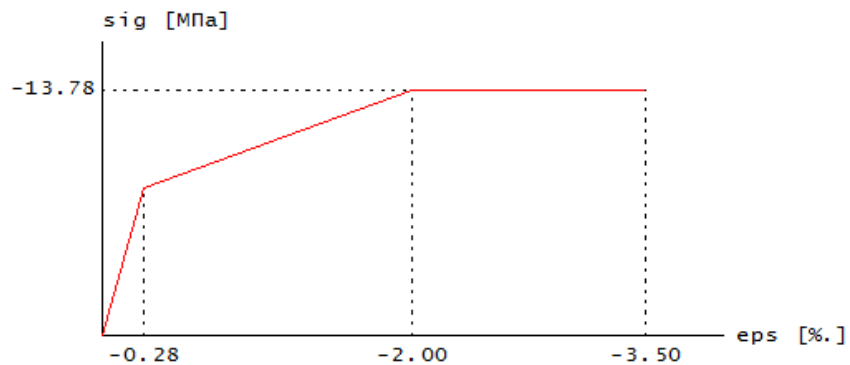
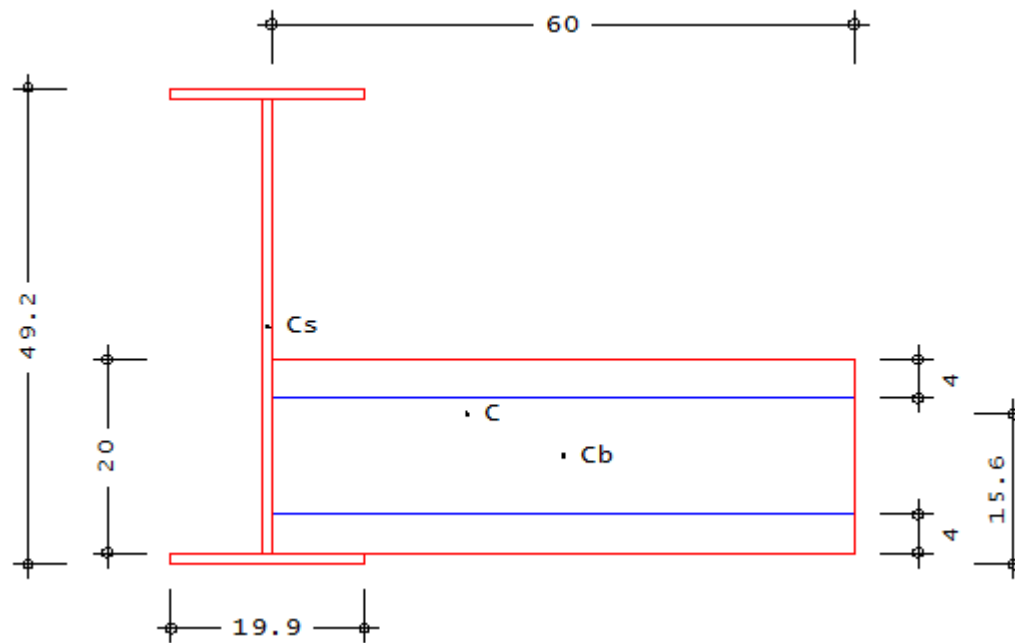
Расчет

Проверка несущей способности

Предельные усилия

N [кН]	$M_y$ [кНм]	$N_u$ [кН]	$M_{y,u}$ [кНм]	$\gamma_u$
0.0	845.0	0.0	1020.6	1.208

# Примеры расчета (плита на нижней полке)



# Примеры расчета (плита на нижней полке)

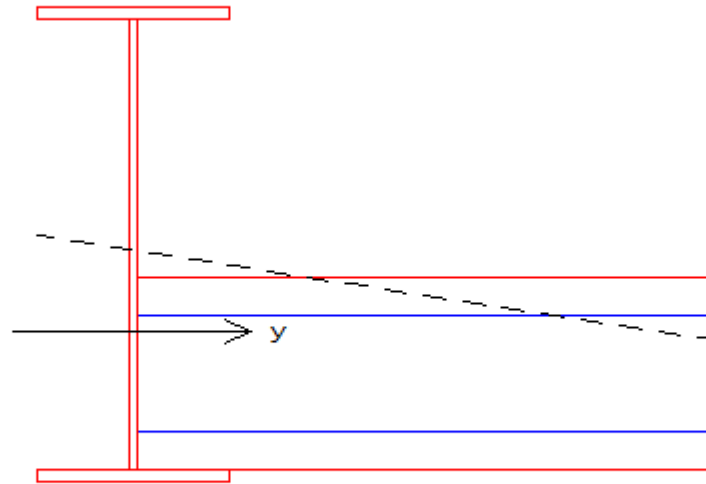
Расчет

Проверка несущей способности

Предельные усилия

N [кН]	$M_y$ [кНм]	$N_u$ [кН]	$M_{yu}$ [кНм]	$\gamma_u$
0.0	440.0	0.0	480.3	1.092

Нейтральная линия



Угол наклона нейтральной линии = 8.8 град

Кривизны  $\kappa_y / \kappa_z = 0.00636 / 0.00098$  1/м

# Примеры расчета (плита на нижней полке)

Деформации  
бетона

Максимальная деформация		Минимальная деформация	
$\varepsilon$ [%.]	$\sigma$ [МПа]	$\varepsilon$ [%.]	$\sigma$ [МПа]
1.45	0.00	-0.41	-8.71

Деформации  
арматуры

Максимальная деформация		Минимальная деформация	
$\varepsilon$ [%.]	$\sigma$ [МПа]	$\varepsilon$ [%.]	$\sigma$ [МПа]
1.19	238.42	-0.16	-32.13

Деформации  
стали

Максимальная деформация		Минимальная деформация	
$\varepsilon$ [%.]	$\sigma$ [МПа]	$\varepsilon$ [%.]	$\sigma$ [МПа]
1.62	334.75	-1.70	-350.00

Знак '+' при растяжении, знак '-' при сжатии

Усилия в частях  
сечения относительно  
их центральных осей

$N_b$ [кН]	$M_b$ [кНм]	$N_s$ [кН]	$M_s$ [кНм]
68.5	10.1	-68.5	461.0

Сдвигающее усилие по шву объединения плиты и профиля при  $Q_s = 100.0$  кН

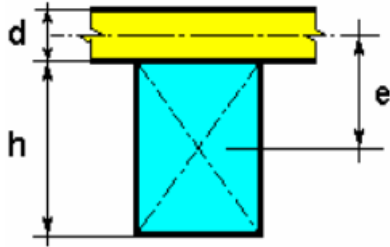
$a_{12}$ [м]	$M_{y1}$ [кНм]	$M_{y2}$ [кНм]	$N_{b1}$ [кН]	$N_{b2}$ [кН]	$S$ [кН/м]
0.240	480.3	456.3	68.5	65.2	13.9

$a_{12}$  - расстояние между расчетными сечениями ( $\leq 1$ м)

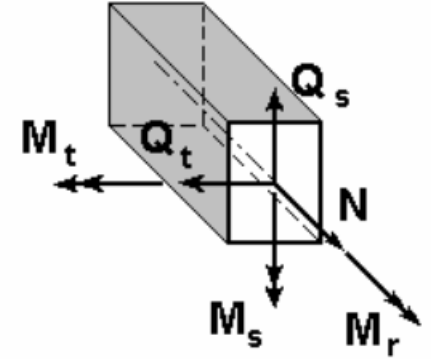
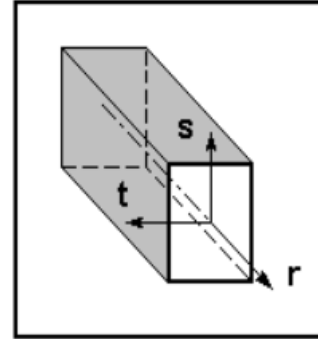
# Плита и стержень

3D - модель (оболочка + стержень)

Расчетная модель



$$e = \frac{d + h}{2}$$



Степени свободы:

$$u_x, u_y, u_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$$

Усилия:

$$S_r, S_s, S_{rs}, m_r, m_s, m_{rs}, q_r, q_s$$

$$N, Q_s, Q_t, M_r, M_s, M_t$$

$$M_{t,расч} = f(M_t, e_2, N, m_r, e_1, s_r, b_0)$$

$$M_{s,расч} = f(M_s, b_0, s_r)$$

$$N_{расч} = f(N, b_0, s_r)$$

$$M_{r,расч} = f(M_r, e_2, Q_t, e_1, b_0, s_{rs}, m_{rs}, q_r)$$

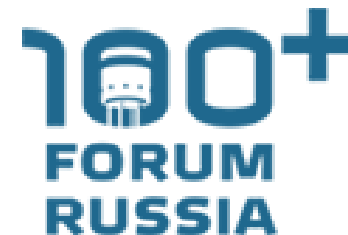
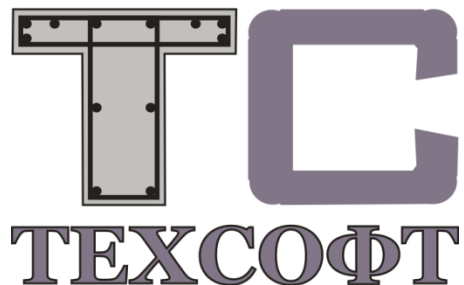
$$Q_{s,расч} = f(Q_s, b_0, q_r)$$

$$Q_{t,расч} = f(Q_t, b_0, s_{rs})$$

## **Заключение**

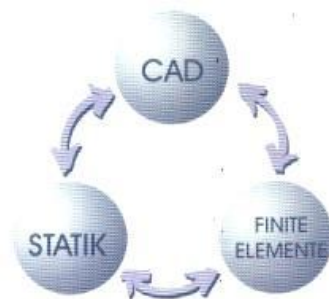
1. Расчет сталежелезобетонных перекрытий в рамках разрабатываемого СТО АРСС «Сталежелезобетонные конструкции» основан на основных положениях отечественных норм СП 63.13330.2012, СП 16.13330.2011, СП 35.13330.2011.
2. Если для каких-то расчетных ситуаций отсутствуют указания в отечественных нормах, то используются общие положения ЕС4.
3. Результаты тестовых расчетов показывают применимость такого подхода для разнообразных конфигураций сечений .





Москва, ул. Архитектора  
Власова, 49

[www.tech-soft.ru](http://www.tech-soft.ru)



*Ing+*

*ViCADo*

*MicroFe*

*СТАТИКА*

*COSTRUC*

**Спасибо за внимание**