

2.2.3.5.3. Расчет поперечной арматуры

Расчет на действие поперечной силы выполняется в соответствии с [5, п. 6.2.1] и далее.

Расчетная поперечная сила вычисляется в сечении элемента, расположенном от грани опоры на расстоянии, равном высоте от нижней грани элемента до упругого центра тяжести сечения [5, п. 6.2.2(3) и 8, пример 6.1]. Расстояние от оси опоры до грани опоры составляет 100 мм, расчетная поперечная сила вычисляется на расстоянии от оси опоры, равном: $a = 100 + (450 - 122,1) = 427,9$ мм. Здесь 122,1 мм — расстояние от верхней грани до упругого центра тяжести приведенного поперечного сечения плиты, которое определяется как отношение статического момента сечения относительно оси, проходящей через верхнюю грань сечения, к площади приведенного поперечного сечения плиты (в качестве примера см. п. 2.2.3.4.3).

$$a = 100 + (h - y); \quad y = S / A; \quad A = b_{\text{eff}} * h_f^I + b_w * (h - h_f^I);$$

$$S = b_{\text{eff}} * h_f^I * 0,5 * h_f^I + b_w * (h - h_f^I) * (0,5 * h - 0,5 * h_f^I).$$

Расчетная поперечная сила

$$V_{Ed} = 62,65 - 20,54 \cdot 0,4279 = 53,86 \text{ кН.}$$

Проверяется условие $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$, здесь $V_{Rd,c}$ — несущая способность сечения по поперечной силе при отсутствии поперечной арматуры, определяемая по формуле

$$V_{Rd,c} = \left[c_{Rd,c} \cdot k (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \right] b_w \cdot d \geq v_{\min} \cdot b_w \cdot d,$$

$$\text{где } c_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12;$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{407}} = 1,7 < 2, \text{ принимается } k = 1,7;$$

$$\rho_l = \frac{A_{s,prov}}{b_w \cdot d} = \frac{760}{140 \cdot 407} = 0,013 < 0,02;$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,7^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,388.$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,7 (100 \cdot 0,013 \cdot 25)^{1/3} \right] 140 \cdot 407 = 37052 \text{ Н} > 0,388 \cdot 140 \cdot 407 = 22108 \text{ Н.}$$

32

$A_{s,prov}$ - фактическая площадь продольной арматуры.

$V_{Ed} = 53860 \text{ Н} > V_{Rd,c} = 37052 \text{ Н}$, требуется поперечная арматура.

$$V_{Rd,s} = V_{Ed} = 53860 \text{ Н},$$

$$\frac{A_{sw}}{S} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta},$$

где z — плечо внутренней пары сил для элемента с постоянной высотой, соответствующее изгибающему моменту в рассматриваемом элементе. При расчете поперечного усилия железобетонного элемента без продольной силы может быть использовано приближенное значение $z = 0,9d$ [5, п. 6.2.3(1)]; f_{ywd} — расчетное значение сопротивления растяжению поперечной арматуры, для А400 $f_{ywd} = 400/1,15 = 348 \text{ МПа}$; θ — угол между бетонным сжатым раскосом и осью балки, перпендикулярной к поперечному усилию. Рекомендуемые предельные значения $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$.

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{S} = \frac{53860}{0,9 \cdot 0,407 \cdot 348 \cdot 2,5} = 169,0 \text{ мм}^2/\text{м}.$$

Минимальное армирование

$$\begin{aligned} a_{sw,\min} &= \frac{A_{sw,\min}}{S} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} b_w = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{400} \cdot 0,14 = \\ &= 0,00014 \text{ м}^2/\text{м} = 140,0 \text{ мм}^2/\text{м}. \end{aligned}$$

Расстояние между стержнями поперечной арматуры не должно превышать $S_{l,\max}$ [5, с. 122, п. 9.2.2(6)]:

$$S \leq S_{l,\max} = 0,75 \cdot d(1 - \cos \alpha) = 0,75 \cdot 407(1 - 0) = 305 \text{ мм},$$

где α — угол между поперечной арматурой и продольной осью балки; $\cos 90^\circ = 0$.

При требуемой площади поперечной арматуры $169,0 \times 0,305 = 51,6 \text{ мм}^2$ принимается арматура $\varnothing 10 \text{ А400}$ с шагом 300 мм с $A_{sw} = 78,5 \text{ мм}^2$ (по нормам РФ: $\varnothing 10 \text{ А240}$ с шагом 250 мм с $A_{sw} = 78,5 \text{ мм}^2$).

Максимальное сопротивление сечения сдвигу (аналог проверки по бетонной полосе между наклонными сечениями [10, п. 8.1.32])

$$\begin{aligned} V_{Rd,\max} &= \frac{a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot 407 \cdot 0,54 \cdot 25 / 1,5}{2,5 + 0,4} = \\ &= 159151 \text{ Н} > V_{Ed} = 53860 \text{ Н}, \end{aligned}$$

где $a_{cw} = 1$ — для конструкций без предварительного напряжения;

$$v_1 = v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{25}{250} \right) = 0,54.$$

$v_1 = v$ — коэффициент понижения прочности бетона, учитывающий

влияние наклонных трещин.