

Решая неравенство (202) относительно R_c и группируя члены, получим формулу для определения нормальных напряжений в сжатой зоне сечения, учитывая при этом, что $R_c/R_n = 1$:

$$\frac{N}{F_{пр}} + \frac{M}{\xi_{пр} W_{пр}^c} \leq R_c. \quad (203)$$

Аналогично получим формулу для определения нормальных напряжений в арматуре:

$$\left(\frac{N}{F_{пр}} + \frac{M}{\xi_{пр} W_{пр}^c} \right) K_a(t) n \leq R_a. \quad (204)$$

Зная, что поперечная сила является функцией изгибающего момента, т. е. $Q = d \Sigma M / dx$, получим:

$$Q = \frac{Q_0}{\xi_{пр}}, \quad (205)$$

где Q_0 — поперечная сила от внешней нагрузки. В формулах (201)–(204) обозначено:

$W_{пр}^c = I_{пр} / h_c$ — приведенный момент сжатой зоны армированного сечения;

$h_c = h_0 / 2 + z$ — высота сжатой зоны сечения;

$$h_c = \frac{h_0(1+2n\mu)}{2(1+n\mu)}; \quad h_p = \frac{h_0}{2(1+n\mu)};$$

h_0 — расстояние между центрами тяжести арматуры;

$I_{пр} = \frac{bh_0^2}{12}(1+3n\mu)$ — приведенный момент инерции армированного сечения (при $h \cong h_0$);

$z = \frac{h_0(2x-1)n\mu}{2(1+n\mu)}$ — расстояние от центра масс армированного сечения до центральной оси;

$x = \frac{F_{ac}}{F_a}$ — отношение площади арматуры сжатой части сечения к общей площади арматуры.

При несимметричном армировании сечения с расположением большей части арматуры в сжатой зоне

$$I_{пр} = I_d + F_d z^2 + nF_{ac} h_c^2 + nF_{ap} h_p^2.$$

Зная значение поперечной силы, определим напряжения от сдвигающих усилий:

а) в древесине:

$$\tau_d = \frac{Q_0 S_{пр}}{\xi_{пр} I_{пр} b_{расч}}; \quad (206)$$

б) в клеевом шве, соединяющем арматуру с древесиной:

$$\tau_{к.ш} = \frac{Q_0 S_{пр}^a}{\xi_{пр} I_{пр} D_{расч}} \cdot K_n^*(t), \quad (207)$$

где $S_{пр} = \frac{bh_0^2}{8}(1+2n\mu)$ — приведенный статический момент сдвигаемой части армированного сечения; $S_{пр}^a = \frac{1}{4}nF_a h_0$ и $S_{пр}^a = nF_a h_c$ — при-

веденный статический момент арматуры относительно нормальной оси для сечения с двойной и одиночной арматурой соответственно; $b_{расч}$ — расчетная ширина сечения; $D_{расч}$ — расчетная поверхность сдвига арматуры, равная 0,9 суммы периметров клевого шва, соединяющего арматуру с древесиной. Растягивающие поперек волокон древесины напряжения в сечениях, расположенных на расстоянии $x = 0,7h$ от опор, определяются по формуле:

$$\sigma_{ра} = \left(\frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_x^2} \right) \cdot K_n^*(t) \leq R_{ра} / \gamma_n,$$

где σ_x и τ_x — нормальные и касательные напряжения в сечении на расстоянии $x = 0,7h$ от опоры; $\alpha = 0,5 \arctg \frac{2\tau_x}{\sigma_x}$.

В целом расчет сжато-изгибаемых армированных деревянных элементов необходимо проводить с учетом влияния перераспределения напряжений во времени (см. п. 2.13.2) в следующей последовательности: проверяя прочность элемента

1) по древесине:

$$\frac{N}{F_{пр}} + \frac{M}{\xi_{пр} W_{пр}^c} \leq R_c / \gamma_n; \quad (208)$$

2) по арматуре:

$$\left(\frac{N}{F_{\text{пр}}} K'_a(t) + \frac{M}{\xi_{\text{пр}} W_{\text{пр}}^a} K''_a(t) \right) n \leq R_a / \gamma_n; \quad (209)$$

3) опорных сечений на скалывание:

$$\frac{Q_0 S'_{\text{пр}}}{\xi_{\text{пр}} I_{\text{пр}} b_{\text{расч}}} \leq R_{\text{ск}} / \gamma_n; \quad (210)$$

4) клеевого шва, соединяющего арматуру с древесиной, на сдвиг:

$$\frac{Q_0 S''_{\text{пр}}}{\xi_{\text{пр}} I_{\text{пр}} D_{\text{расч}}} K''_a(t) \leq R_{\text{ск}} / \gamma_n; \quad (241)$$

5) сечений, расположенных на расстоянии $x = 0,7h$ от опор:

$$\left(\frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_x^2} \right) \cdot K''_a(t) \leq R_{\text{пр}} / \gamma_n. \quad (212)$$

Полный прогиб элементов определяется по формуле:

$$f = \frac{f_0 K''_a(t)}{\xi_{\text{пр}}}, \quad (213)$$

где γ_n — коэффициент надежности по назначению.

В формулах проверки прочности древесины сечений (208) и (210) опущены значения коэффициентов перераспределения усилий $K'_a(t)$ и $K''_a(t)$ в запас прочности элементов, так как их значения < 1 .

Значения коэффициентов $K'_a(t)$ и $K''_a(t)$ приведены в п. 2.13.2 и на рис. 2.18 и 2.19.

Порядок расчета сжато-изгибаемых армированных деревянных элементов с учетом длительного действия нагрузки рассмотрим на примере треугольной арки, исходя из условия, что надо подобрать размеры сечения и коэффициент его армирования при заданных пролете и нагрузках.

1. Конструктивно задаемся высотой и шириной сечения, равной $h/l = 1/30 - 1/55$ для нагрузок $g = 24-6$ кН/м и $h/b = 5-7$.

2. Определяем геометрические характеристики принятого сечения без арматуры $I_d; W_d; S'_d$ и F_d .

Требуемые значения момента сопротивления и количество арматуры определим из условия прочности сечения по арматуре (209)

$$W_{\text{пр}}^a = \frac{M}{R_a} n K''_a(t)$$

в случае, если $\sigma_n = \frac{M}{W_d} > 0,6\sigma_c = \frac{N}{F_d}$;

$$\text{и } F_{\text{пр}}^a = \frac{N}{R_a} n K'_a(t),$$

в случае, если $\sigma_n < 0,6\sigma_c$,

где σ_n и σ_c — нормальные напряжения в древесине от изгибающего момента и от продольной силы соответственно; σ_n^a и σ_c^a — то же в арматуре.

Находим требуемый коэффициент армирования:

$$\mu_{\text{пр}}^W = \frac{W_{\text{пр}} - W_d}{3nW_d}; \quad \mu_{\text{пр}}^F = \frac{F_{\text{пр}} - F_d}{3nF_d}.$$

3. Определяем требуемую площадь арматуры по большему из требуемых значений коэффициента армирования:

$$F_{a \text{ пр}} = \mu_{\text{пр}}^{\max} b h_0.$$

4. По $F_{\text{пр}}$ подберем необходимое число стержней, учитывая условия их размещения в один ряд по ширине сечения. При этом следует учитывать, что наиболее эффективным и технологичным является симметричное расположение арматуры относительно нейтральной оси.

5. Определяем приведенные геометрические характеристики армированного сечения и проводим окончательную проверку прочности и деформативности по формулам (208)–(213).

Пример расчета. Проверить прочность и деформативность армированного сечения верхнего пояса треугольной арки пролетом 18 м, запроектированной под нагрузку 12 кН/м. Сечение 140×580 мм. Армирование симметричное $4 \varnothing 25$ А-III (см. Пример п. 3.12.2).

1. Напряжения в сжатой древесине:

$$\frac{21 \cdot 500}{1166} + \frac{1 \cdot 215 \cdot 000 \cdot 32}{0,837 \cdot 498615} = 112,5 \text{ кгс/см}^2 = 11,25 \text{ МПа} < R_c = 13 \text{ МПа},$$

где

$$\xi = 1 - \frac{21500}{0,87 \cdot 1166 \cdot 130} = 1 - 0,163 = 0,837; \quad \lambda_{\text{пр}} = \frac{l_0}{0,289h} \cdot 0,71 = 40,3;$$

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{40,3}{100} \right)^2 = 1 - 0,13 = 0,87.$$

2. Напряжения в арматуре:

$$\left(\frac{21500}{1166} \cdot 1,23 + \frac{1215000 \cdot 32}{0,837 \cdot 498615} \cdot 1,15 \right) \cdot 20 = 2619 \text{ кгс/см}^2 =$$

$$= 262 \text{ МПа} < R_a = 375 \text{ МПа},$$

где $K'_a(t) = 1,23$; $K''_a(t) = 1,15$.

3. Касательные скалывающие напряжения:

$$\frac{5400 \cdot 10781}{0,837 \cdot 498615 \cdot 14} = 9,95 \text{ кгс/см}^2 = 1,0 \text{ МПа} < R_{ск} = 1,4 \text{ МПа}.$$

4. Касательные напряжения в клеевом шве, соединяющем арматуру с древесиной:

$$\frac{5400 \cdot 5450 \cdot 1,15}{0,837 \cdot 498,615 \cdot 11,25} = 7,2 \text{ кгс/см}^2 = 0,72 \text{ МПа} < R_{ск} = 1,4 \text{ МПа},$$

$$\text{где } D_{расч} = 2 \cdot \frac{3}{4} \cdot 3d_a = 11,25 \text{ см}.$$

5. Растягивающие напряжения в сечении на расстоянии $x = 0,7h$ от опор:

$$24,5/2 + \sqrt{\left(\frac{24,5}{2}\right)^2 + 4 \cdot 9,06^2 \cdot 1,15} = 39,2 \text{ кгс/см}^2 = 3,92 \text{ МПа} > R_p^{90} = 0,3 \text{ МПа},$$

$$\text{где } \sigma_x = \frac{M_x}{W_{пр}} = 24,5 \text{ кгс/см}^2 = 2,45 \text{ МПа}; K''_a = 1,15;$$

$$\tau_x = \frac{Q_0^x S_{пр}}{\xi_{пр} b_{расч}} = \frac{5070 \cdot 10781}{0,864 \cdot 498615 \cdot 14} = 9,06 \text{ кгс/см}^2 = 0,906 \text{ МПа};$$

$$Q_0^x = 5070 \text{ кгс} = 50,7 \text{ кН}.$$

6. Прогиб элемента верхнего пояса:

$$f = \frac{2,15 \cdot 1,15}{0,837} = 2,95 \text{ см}.$$

$$f_0 = \frac{5}{384 E_d J_{пр}} q l^4 = \frac{5 \cdot 1,2 \cdot 9,1^4}{384 \cdot 1000000 \cdot 498615} = 2,15 \text{ см}.$$

Все проверки, кроме п. 5, удовлетворяют условиям прочности.

Невыполнение условия п. 5 говорит о необходимости усиления приопорной зоны поперечным армированием или отгибом растянутой арматуры в приопорной зоне под углом 32–40% на расстоянии 1,3–1,5 h от опор.

Анализ результатов расчета в примерах п. 2.13.2 и 2.13.3 говорит о хорошей сходимости результатов; так, разница в определении напряжений в арматуре составляет всего +7,6%, а прогиба +6,2%, т. е. расчет по предельным состояниям с учетом коэффициентов перераспределения усилий позволяет с учетом положений теории

упругой наследственности достаточно точно оценивать напряжения и прогибы в сжато-изгибаемом армированном деревянном элементе.

2.14. Расчет сжато-изгибаемых АДК по предельным состояниям

Расчет сжато-изгибаемого элемента по предельным состояниям включает проверки:

а) прочности сечений элементов:

1) по древесине:

$$NK_{дл}^a / F_{пр} + MK_{дл}^a / \xi_{пр} W_{пр}^c \leq R_c / \gamma_n; \quad (214)$$

2) по арматуре:

$$(NK_{дл}^a / F_{пр} + MK_{дл}^a / \xi_{пр} W_{пр}^c) n \leq R_a / \gamma_n; \quad (215)$$

3) опорных сечений:

$$QS_{пр} K_{дл}^a / \xi_{пр} J_{пр} b_{расч} \leq R_{ск} / \gamma_n; \quad (216)$$

4) клеевого шва, соединяющего арматуру с древесиной:

$$QS_{пр} K_{дл}^a / \xi_{пр} J_{пр} D_{расч} \leq R_{ск} / \gamma_n; \quad (217)$$

5) на действие главных растягивающих напряжений на расстоянии $x = 0,7h$ от опор:

$$\left(\sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_x^2} \right) \cdot K_{дл}^a \leq R_p^a / \gamma_n; \quad (218)$$

б) полного относительного прогиба элемента, с учетом разгружающего момента от продольной силы:

$$f = f_0 / \xi, \quad (219)$$

$$\text{где } f / \ell = 5g^u \ell^2 / E_d J_{пр} - 2N^u \cdot e \cdot \ell / E_d J_{пр} = \ell \left(5\delta^u \ell^2 / 48 - N^u e \right) / 8 \cdot E_d J_{пр}.$$

Значение коэффициентов влияния, учитывающих перераспределение усилий вследствие ползучести древесины при длительном действии нагрузки определяем по формулам:

• для древесины от действия силы N :

$$K_{дл}^a = m_{дл} (1 + n\mu) / m_{дл} + n\mu; \quad (220)$$

• для древесины от действия изгиба момента:

$$K_{дл}^a = m_{дл} (1 + 3\mu) / m_{дл} + 3\mu; \quad (221)$$

• для арматуры от действия N :

$$K_{дл}^a = 1 + n\mu / m_{дл} + n\mu; \quad (222)$$

- для арматуры от действия изгибаемого момента:

$$K_{дл}^a = 1 + 3n\mu / m_{дл} + 3n\mu. \quad (223)$$

2.15. Порядок расчета армированного деревянного элемента при сжатии с изгибом

Порядок расчета рассмотрим на примере расчета треугольной арки с клееным армированным верхним поясом.

1. Конструктивно задаемся высотой и шириной сечения, равной $h/l = 1/30 - 1/45$ для нагрузок $g = 24 \dots 6$ кН/м и $h/b = 5 \dots 7$.

2. Определяем геометрические характеристики принятого сечения без арматуры: I_d ; W_d ; S'_d и F_d .

Требуемые значения момента сопротивления и количество арматуры определим из условия прочности сечения по арматуре:

$$W_{тр}^a = \frac{M}{R_a} n K_a''(t) \quad \text{— в случае, если } \sigma_n = \frac{M}{W_d} > 0,6\sigma_c = \frac{N}{F_d},$$

$$\text{и } F_{тр}^a = \frac{N}{R_a} n K_a'(t) \quad \text{— в случае, если } \sigma_n < 0,6\sigma_c,$$

где σ_n и σ_c — нормальные напряжения в древесине от изгибающего момента и от продольной силы соответственно; σ_n^a и σ_c^a — то же в арматуре.

3. Находим требуемый коэффициент армирования:

$$\mu_{тр}^w = \frac{W_{тр}^a - W_d}{3nW_d}; \quad \mu_{тр}^f = \frac{F_{тр}^a - F_d}{nF_d}.$$

4. Определяем требуемую площадь арматуры по большому из требуемых значений коэффициента армирования:

$$F_{тр}^a = \mu_{тр}^{\max} b h_0.$$

5. По $F_{тр}^a$ подбираем необходимое число стержней, учитывая условия их размещения в один ряд по ширине сечения. При этом следует учитывать, что наиболее эффективным и технологичным является симметричное расположение арматуры относительно нейтральной оси.

6. Определяем приведенные геометрические характеристики армированного сечения и проводим проверку прочности и деформативности по формулам (214)–(219).

2.16. Пример расчета треугольного армированного верхнего пояса арки

Спроектировать треугольную арку покрытия с клееным армированным верхним поясом и стальной затяжкой для покрытия отапливаемого производственного здания пролетом 18 м во Владимирской области (от района зависит снеговая нагрузка).

Выбор конструктивной схемы

В качестве основной несущей конструкции принимаем арку (распорную систему) с верхним поясом из прямолинейных элементов прямоугольного поперечного сечения с симметричным армированием (рис. 2.21).

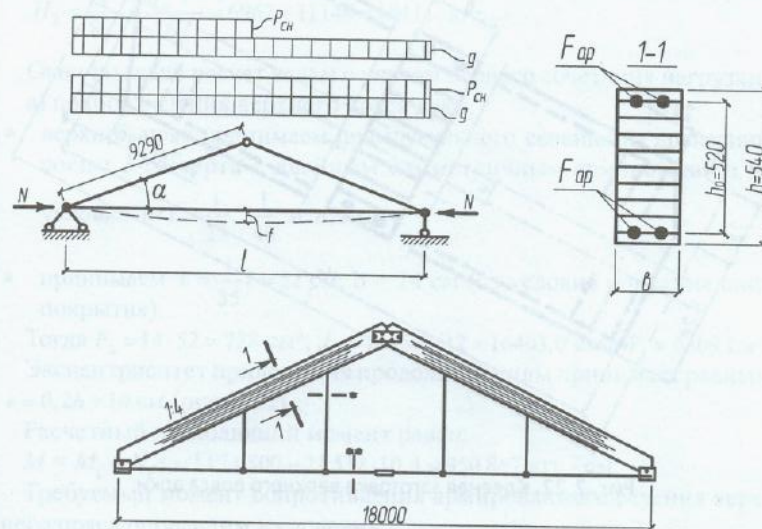


Рис. 2.21. Расчетная схема и общий вид трехшарнирной арки с клееным армированным верхним поясом и стальной затяжкой

Распор арки воспринимается стальной затяжкой. Пролет арки 18 м. Высота арки $1/8 \ell = 2,25$ м. Уклон верхнего пояса $\alpha = 14^\circ$; $\sin \alpha = 0,242$; $\cos \alpha = 0,97$; $\operatorname{tg} \alpha = 0,25$.

Расчетный пролет 17,7 м. Длина полуарки в осях $\ell_1 = \ell / 2 \cos \alpha = 17,7/2 \cdot 0,97 = 9,12$ м.

Расчетная нагрузка на арку составляет 12 кН/м (1200 кгс/м), в том числе временная снеговая нагрузка составляет 6,0 кН/м (600 кгс/м).

Определение усилий в элементах арки

Расчет арки ведем на два сочетания нагрузки: постоянная и временная нагрузка по всему пролету (первое сочетание) и постоянная нагрузка по всему пролету и временная на половине пролета (второе сочетание) (рис. 2.22).

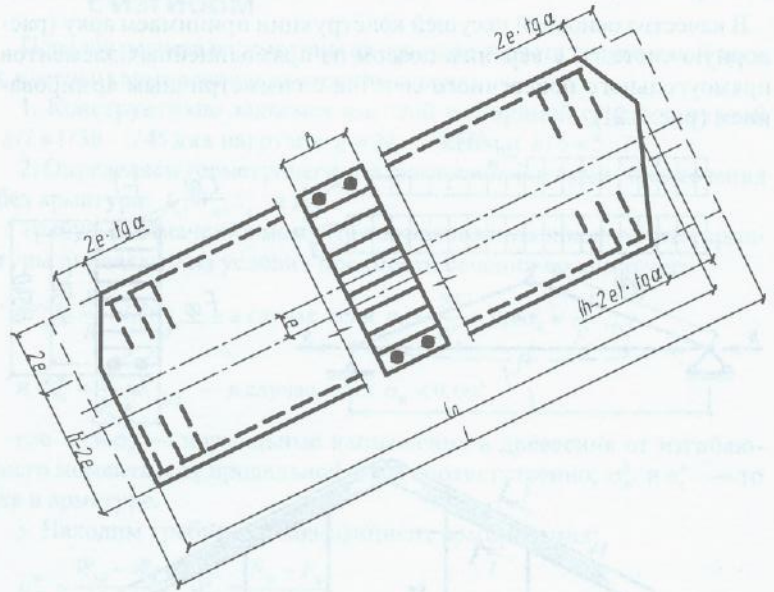


Рис. 2.22. Клееная заготовка верхнего пояса арки

При первом сочетании нагрузок

- опорные реакции: $A = B = q\ell/2 = 1200 \cdot 17,7/2 = 10620$ кгс;
- распор: $H_1 = q\ell^2/8f = 1200 \cdot 17,7^2/8 \cdot 2,25 = 20886$ кгс (208,9 кН);
- усилие в верхнем поясе:

$$N_1 = H_1 / \cos \alpha = 20886 / 0,97 = 21532 \text{ кгс (215,3 кН).}$$

Изгибающий момент в верхнем поясе (рис. 2.19):

$$M_1 = q\ell^2/32 = 1200 \cdot 17,7^2/32 = 11748,4 \text{ кгс} \cdot \text{м (117,5 кН} \cdot \text{м).}$$

Поперечная сила в верхнем поясе у опор:

$$Q = q\ell/4 = 1200 \cdot 17,7/4 = 5310 \text{ кгс (53,1 кН).}$$

Сила смятия в опорном сечении верхнего пояса:

$$N_{оп} = \sqrt{A^2 + H^2} = \sqrt{10620^2 + 33451^2} = 37506 \text{ кгс.}$$

При втором сочетании нагрузок

- опорные реакции:

$$A = \frac{q\ell}{2} + \frac{3}{4} \cdot \frac{q_{сн}\ell}{2} = \frac{600 \cdot 17,7}{2} + \frac{3}{4} \cdot \frac{600 \cdot 17,7}{2} = 5310 + 3982 = 9292 \text{ кгс.}$$

$$B = \frac{q\ell}{2} + \frac{1}{4} \cdot \frac{q_{сн}\ell}{2} = \frac{600 \cdot 17,7}{2} + \frac{1}{4} \cdot \frac{600 \cdot 17,7}{2} = 6637 \text{ кгс.}$$

- усилие в затяжке:

$$H_2 = \frac{q\ell^2}{8f} + \frac{q_{сн}\ell^2}{16f} = 6962 + 11149 = 18111 \text{ кгс.}$$

Окончательно расчет ведем с учетом первого сочетания нагрузки:

- а) подбор сечения верхнего пояса арки;
- верхний пояс принимаем прямоугольного сечения из древесины сосны 3-го сорта с двойным симметричным армированием из условия $n/\ell = \frac{1}{25} \dots \frac{1}{40}$ и $n/b \leq 5$;
- принимаем $h = \frac{1}{35} \ell = 52$ см; $b = 14$ см (из условия опирания плит покрытия).
Тогда $F_d = 14 \cdot 52 = 728$ см²; $J_d = 14 \cdot 50^3/12 = 16403,0$ см⁴; $W_d = 6309$ см³.
Эксцентриситет приложения продольной силы принимает равным $e = 0,2h = 10$ см (рис. 2.22).

Расчетный изгибающий момент равен:

$$M = M_1 - N_1 e = 1174800 - 21532 \cdot 10,4 = 950867 \text{ кгс} \cdot \text{см.}$$

Требуемый момент сопротивления армированного сечения верхнего пояса определим из условия:

$$W_{тр} = M / 0,8R_u = 950867 / 0,8 \cdot 130 = 9143 \text{ см}^3,$$

$$\text{тогда } \mu_{тр} = \frac{W_{тр} - W_d}{3nW_d} = \frac{9143 - 6309}{3 \cdot 20 \cdot 6309} = 0,01; F_{тр}^a = 0,01 \cdot 14 \cdot 52 = 7,3 \text{ см}^2.$$

Принимаем 4Ø16 А II с $F_a = 8,04 > 7,3$ см².

Определяем геометрические характеристики армированного сечения при $h_0 = h - d_a = 50,4$ см² и $\mu = 8,04/14 \cdot 50,4 = 0,0114$;

$$J_{нр} = 14 \cdot 50,4^3 (1 + 3 \cdot 20 \cdot 0,0114) / 12 = 251525 \text{ см}^4; W_{нр} = 9981 \text{ см}^3;$$

$$S_{нр} = 6472 \text{ см}^3; S_{нр}^a = nF_a h_0 / 4 = 2026 \text{ см}^3; F_{нр} = 867 \text{ см}^2;$$

$$D_{\text{расч}} = 0,9n_a \cdot 2\pi(d_a + 0,5) = 0,9 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot (1,16 + 0,5) = 23,7 \text{ см.}$$

$$\lambda_{\text{пр}} = \eta\lambda = \lambda \sqrt{\frac{1+n\mu}{1+3n\mu}}; \text{ где } \eta = 0,85 \text{ — коэффициент приведения гибкости;}$$

$$\lambda_{\text{пр}} = \ell_0^h \cdot \eta / \sqrt{\frac{J_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}}}} = 9,12 \cdot 0,85 / \sqrt{\frac{251525}{866}} = 53,5 < 70,$$

$$\text{где } \ell_0 = \ell / 2 / \cos \alpha = 17,7 / 2 / 0,97 = 9,12 \text{ м.}$$

$$\varphi_{\text{пр}} = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda_{\text{пр}}}{100} \right)^2 = 0,77$$

$$\text{тогда } \xi = 1 - \frac{N_1}{\varphi_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot R_c} = 1 - \frac{21532}{0,77 \cdot 866 \cdot 130} = 1 - 0,25 = 0,75.$$

$$M_d = M / \xi = 959480 / 0,75 = 1278300 \text{ кгс} \cdot \text{см.}$$

При $m_{\text{дл}} = 0,7$ определяем коэффициенты перераспределения усилий:

$$K_{\text{дл}}^{\pi'} = \frac{1+n\mu}{1+n\mu/m_{\text{дл}}} = \frac{1+20 \cdot 0,0114}{1+20 \cdot 0,0114/0,69} = 0,91;$$

$$K_{\text{дл}}^{\pi''} = \frac{1+3n\mu}{1+3n\mu/m_{\text{дл}}} = \frac{1+3 \cdot 20 \cdot 0,0114}{1+3 \cdot 20 \cdot 0,0114/0,69} = 0,83;$$

$$K_{\text{дл}}^{a'} = \frac{1+n\mu}{m_{\text{дл}} + n\mu} = \frac{1+20 \cdot 0,0114}{0,69 + 20 \cdot 0,0114} = 1,33;$$

$$K_{\text{дл}}^{a''} = \frac{1+3n\mu}{m_{\text{дл}} + 3n\mu} = \frac{1+3 \cdot 20 \cdot 0,0114}{0,69 + 3 \cdot 20 \cdot 0,0114} = 1,22.$$

Проверяем прочность сечений верхнего пояса:

а) по древесине:

$$\left(\frac{N_1}{F_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{a'} + \frac{M_d}{W_{\text{пр}}} \right) K_{\text{дл}}^{\pi'} = \frac{21532 \cdot 0,92}{866} + \frac{1278300 \cdot 0,84}{9981} = 121 \leq R / \gamma_n = 110 / 0,95 = 115,7 \text{ кгс/см}^2;$$

б) по арматуре:

$$\left(\frac{N_1}{F_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{a'} + \frac{M_d}{W_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{a''} \right) n = \left(\frac{21532 \cdot 1,33}{867} + \frac{1278300 \cdot 1,22}{9981} \right) 20 = (33,0 + 156,2) 20 = 3785 < R_a = 3750 / 0,95 = 3950 \text{ кгс/см}^2;$$

в) опорные сечение на скалывание:

$$\frac{QS_{\text{пр}} K_{\text{дл}}^{a'}}{\xi J_{\text{пр}} b_{\text{расч}}} = \frac{5310 \cdot 6472 \cdot 0,84}{0,75 \cdot 251525 \cdot 14} = 11 \leq \frac{R_{\text{ск}}}{\gamma_n} = 15 / 0,95 = 15,8 \text{ кгс/см}^2;$$

г) клеевой шов, соединяющий арматуру с древесиной:

$$\frac{QS_{\text{пр}}^a K_{\text{дл}}^{a'}}{\xi J_{\text{пр}} D_{\text{расч}}} = \frac{5310 \cdot 2026 \cdot 1,22}{0,75 \cdot 251525 \cdot 23,7} = 2,93 < 15,8 \text{ кгс/см}^2;$$

д) устойчивость плоской формы изгиба при раскреплении верхнего пояса через, $\ell_p = 1,5 \text{ м}$: $\ell_p = 150 < 70b^2/h = 264 \text{ см}$, обеспечена.

е) проверка прогиба верхней пояса арки:

рассмотрим полуарку как балку на 2 опорах, нагруженную нормативной равномерной распределенной нагрузкой и двумя разгружающими моментами N_e , действующими на концах полуарки:

$$f_0/e_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^H \ell_1^2}{E_d J_{\text{пр}}} - \frac{2N_1^H e \cdot \ell_1}{16E_d J_{\text{пр}}} = \frac{\ell_1}{8E_d J_{\text{пр}}} \left(\frac{5q^H \ell_1^2}{48} - N_1^H e \right) = \frac{1}{298}, \text{ или}$$

$$f_0 = 2,97 \text{ см}; f = f_0 / \xi = 2,97 / 0,75 = 3,96 \text{ см} = \frac{1}{222} \ell_1.$$

Расчет затяжки из стали класса А III

$$F_{\text{пр}} = \frac{H_1}{Rm_b} = \frac{20886}{3750 \cdot 0,85} = 6,55 \text{ см}^2, \text{ принимаем } 2\varnothing 22 \text{ А III с } F_a = 7,4 \text{ см}^2,$$

где $m_b = 0,85$ — коэффициент учитывающий работу параллельных ветвей.

В середине пролета ветви затяжки объединяются муфтой, соединяющей резьбовые стержни, приваренным к ветвям затяжки. Требуемая площадь резьбового стержня из ст. кл. А I составляет:

$F_{\text{пр}} = H_1 / R_1 \cdot 0,8 = 20886 / 1700 \cdot 0,8 = 15,4 \text{ см}^2$, где 0,8 — коэффициент, учитывающий ослабление резьбой.

Принимаем $\varnothing 50$ с $F_{\text{бр}} = 19,62 \text{ см}^2$, тогда $F_{\text{расч}} = 0,8 \cdot 19,62 = 15,7 \text{ см}^2 > 15,4 \text{ см}^2$

Суммарная длина сварных швов, соединяющих резьбовой стержень с затяжкой. $\ell = 4 \times 10 = 40 \text{ см}$. Усилие, передаваемое на 1 см шва, составляет 530 кгс (5,4 кН), при требуемой высоте катета шва $h_{\text{ш}} = 0,51 \text{ см}$ принимаем $h_{\text{ш}} = 0,8 \text{ см}$.

Стяжную муфту выполняем из толстостенной трубы с толщиной стенки 10 мм. Площадь сечения муфты (с учетом ослабления отверстием $\varnothing 14 \text{ мм}$ для воротка) равна

$$F_m = \pi(D^2 - d^2) \cdot 4 - 2 \cdot 1,4 \cdot 10 = 16,88 > 15,7 \text{ см}^2.$$

Расчет опорного узла

Опорный узел (рис. 2.23) решаем в виде стального башмака с высотой опорной части, равной: $h_0 = 2 \cdot 0,15h_0 = 52 - 2 \cdot 0,15 \cdot 52 = 36,4$ см.

Продольная снижающая сила $N_1 = 21532$ кгс (215,3 кН).

Угол между направлением волокон древесины и нормалью к опорной площадке принимаем равным 0° , тогда $R_{cm} = R_c = 110$ кгс/см² (11 МПа).

При этом напряжения смятия составляет:

$$N_1 / F_{cm} = 21532 \cdot 14 \cdot 36,4 = 4,22 < R_c = 11 \text{ МПа.}$$

Опорный башмак изготавливается из листовой стали кл. 38/23. Толщину опорной пластины принимаем равной 12 мм. Высоту боковых стенок назначаем равной ширине сечения верхнего пояса — 140 мм, толщина — 8 мм. Опорные ребра башмака принимаем сечением 10×100 мм. Высота опорных ребер составляет 200 мм.

Диаметр опорного валика определяем из условий среза:

$$d_{cp}^{тр} = \sqrt{\frac{4N_1}{\pi R_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 21532}{3,14 \cdot 1300}} = 4,59 \text{ см;}$$

и смятия:

$$d_{cm}^{тр} = \frac{Q_1}{\Sigma \delta \cdot R_{cm}} = \frac{5310}{2 \cdot 3400} = 0,78 \text{ см.}$$

Принимаем опорный валик диаметром 5 см. Проверим устойчивость ребер башмака, равна:

$$Q_1 / \varphi F_p = \frac{5310}{0,868 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10} = 622 < R = 2100 \text{ кгс/см}^2;$$

где φ определяется в зависимости от гибкости ребер:

$$\lambda_p = 0,7 \ell / 0,289 \delta = 0,7 \cdot 20 / 0,289 \cdot 1 = 48,5.$$

После укрупнительной сборки и монтажа арки башмак крепится к опорным ребрам с помощью крепежных скоб $\varnothing 10$ А I (рис. 2.23).

Требуемая площадь пластин, крепящих затяжку к башмаку равна:

$$F_{np} = H_1 / R_m = 2088 / 2100 \cdot 0,85 = 11,7 \text{ см}^2.$$

Принимаем пластины сечения 12×110 мм длину 250 мм. При этом расчетная площадь сечения с учетом ослабления отверстием под валик $d_{отв} = 52$ мм равна:

$$F_{нр} = 1,2(11 - 5,2) \cdot 2 = 13,9 > 11,7 \text{ см}^2.$$

Расчетное усилие в сварных швах, соединяющих затяжку с пластинами с учетом $m_b = 0,85$ равно:

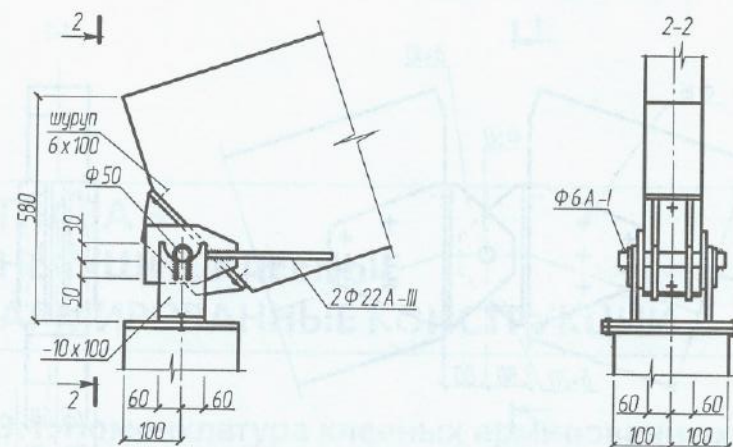


Рис. 2.23. Опорный узел треугольной арки с клееным армированным верхним поясом

$$N_m = H_1 / m_e = 20886 / 0,85 = 24572 \text{ кгс.}$$

Суммарная длина сварных швов равна:

$$\ell_{ш} = (15 - 2) \cdot 4 = 52 \text{ см.}$$

Усилие на 1 см шва составляет:

$$N'_{ш} = \frac{24572}{52} = 472 \text{ кгс/см.}$$

Требуемая высота шва:

$$h_{ш} = N'_{ш} / 0,5 R_{cp} = 472 / 0,5 \cdot 500 = 0,62 \text{ см,}$$

где 0,5 — коэффициент расчетной высоты шва, соединяющего круглый стержень с пластиной.

Конструктивно принимаем $h_{ш} = 0,8$ см.

Расчет конькового узла

Коньковый шарнирный узел (рис. 2.24) решаем с помощью стального башмака, состоящего из упорной пластины размером 10×364 мм, боковых пластин толщиной 8 мм, боковых пластин шарнира общей толщиной 2×10 мм и средней пластины толщиной 20 мм. Элементы башмака соединяются сварным швом $h_{ш} = 6$ мм.

Диаметр шарнирного валика принимаем равным 50 мм (см. расчет опорного узла).

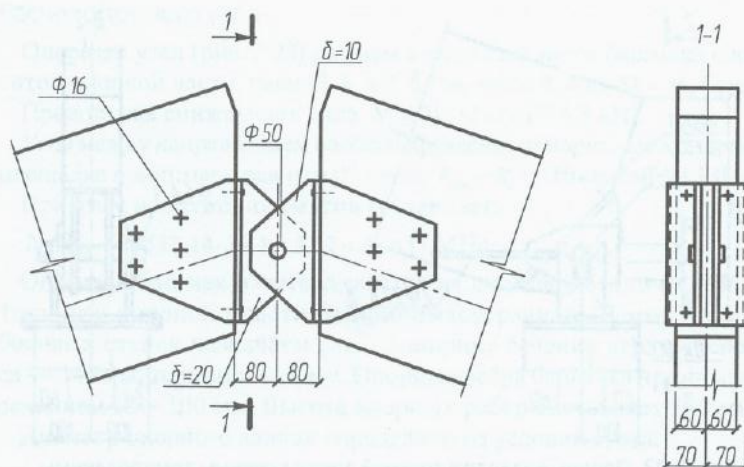


Рис. 2.24. Коньковый узел треугольной арки с клееным армированным верхним поясом

Определяем диаметр болтов, крепящих башмак к верхнему поясу и воспринимающих поперечную силу при одностороннем нагружении снеговой нагрузкой при угле смятия древесины: $\alpha = 90 - 14 = 76$,

$$Q = gl/8 = 600 \cdot 17,7/8 = 1327 \text{ кгс},$$

из условия изгиба болта $T_u \leq 250d^2 \sqrt{K_\alpha}$ имеем:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{1327}{2 \cdot 250 \cdot \sqrt{0,6}}} = 1,86 \text{ см}.$$

Принимаем 2 болта диаметром 20 мм.

Устойчивость опорных пластин конькового шарнира проверяем по формуле:

$$N_1 / \varphi F = 21532 / 0,942 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 36,4 = 315 < R = 2100 \text{ кгс/см}^2;$$

где φ определяется в зависимости от гибкости пластин: $\lambda = 0,7 \cdot 12,5 / 0,289 \cdot 1 = 30,3$.

Опорную плоскость узла не проверяем на смятие, так как прочность узла обеспечена (см. расчет опорного узла арки).

ГЛАВА 3 НЕСУЩИЕ КЛЕЕННЫЕ АРМИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

3.1. Номенклатура клееных армированных конструкций для производственных и складских зданий

Применение клееной армированной древесины в несущих конструкциях зданий и сооружений позволяет увеличивать пролет конструкций, уменьшать рабочую высоту и ширину сечения, монтажную массу, расход древесины. Кроме того, сокращается расход высококачественной древесины, обычно применяемой в растянутой зоне деревянных конструкций, за счет использования древесины 2-го и 3-го сорта, и уменьшается ширина используемого пиломатериала на 1–2 порядка, поскольку ширина сечений армированных конструкций обычно не превышает 170 мм (для серийных конструкций).

При одинаковой с клееными конструкциями прочности и жесткости армированные требуют древесины на 30–40% меньше, что снижает приведенные затраты на 12–18% на 1 м³ конструкции (при увеличении трудозатрат на изготовление на 10–15%), уменьшению монтажной массы на 10–12%, строительной высоты на 20–28% [13, 25].

Индустриальные клееные армированные деревянные конструкции могут применяться в полносборном строительстве для покрытий одно- и многопролетных каркасных зданий различного назначения с шагом от 3 до 12 м. Каркасы зданий при этом выполняют как цельнодеревянными из клееной или армированной древесины, так и смешанными с железобетонными или стальными колоннами и стойками.

Таблица 3.1. Клееные армированные деревянные конструкции

Наименование	Пролет, м	Расчетные нагрузки	Поперечное сечение	Армировка	Отношение-ная высота сечения	Отношение-ная ширина сечения	Коэффициент армирования, %	Коэффициент сцепления, %
Однопролетные балки постоянной высоты	6-30	9-27	Прямоугольное сплошное	Двойное симметричное	1/15-1/20	1/6-1/8	1,2-3,5	4-7
Двускатные балки	12-24	9-27	То же	Одиночное растянутой зоны	1/12-1/17	1/6-1/8	1,2-2,5	4-7
Двускатные гнутоклееные балки постоянной высоты	12-27	9-18	« «	Двойное симметричное	1/15-1/25	1/6-1/8	1,2-3,0	4-7
Одно- и двухконсольные балки	12-24	9-27	« «	То же	1/17-1/25	1/6-1/8	1,2-3,5	3,5-6
Двухпролетные балки постоянной высоты	6-18	9-27	« «	« «	1/17-1/30	1/6-1/8	1,0-3,5	3,5-6
Треугольные арки с затяжкой	12-30	9-24	« «	Двойное несимметричное	1/30-1/55	1/5-1/17	1,5-3,0	2-4
Треугольные стрельчатые арки	18-36	9-18	« «	То же	1/35-1/60	1/5-1/17	1,2-3,0	2-4

Трехшарнирные арки криволинейного очертания	18-60	9-18	Прямоугольное сплошное	Двойное симметричное или несимметричное	1/40-1/60	1/4-1/6	1,5-3,0	2-4
Двухшарнирные арки криволинейного очертания	18-60	9-18	То же	То же	1/45-1/65	1/4-1/6	1,5-3,0	2-4
Гнутоклееные трехшарнирные рамы с постоянной высотой сечения	18-60	9-18	« «	« «	1/20-1/35	1/5-1/17	1,0-3,0	4-8
Трехшарнирные рамы из прямолинейных элементов с армированным карнизным узлом	18-42	9-18	« «	« «	1/20-1/25	1/5-1/17	2,0-4,0	4-8
Колонны (стойки) постоянного сечения	4-8	—	Прямоугольное	« «	1/10-1/15	1/4-1/5	1,5-3,0	—
Ступенчатые колонны	8-15	—	То же	То же	1/10-1/15	1/4-1/5	1,5-3,0	5-10
Плиты покрытий под кровлю из асбестоцементных листов, профилированного настила или рулонную	6-12	—	« «	Двойное симметричное	1/35-1/40	—	2,0-4,0	—

В табл. 3.1 приведена номенклатура несущих и ограждающих клееных армированных деревянных конструкций.

Применение клееных армированных конструкций в строительстве дает возможность повысить эффективность использования древесины с сохранением всех основных свойств, присущих деревянным конструкциям, при большей надежности и долговечности.

Разработка новых видов и освоение промышленностью производства клееных армированных конструкций позволит с учетом реальной обстановки уточнить область их применения и номенклатуру.

3.2. Клееные армированные деревянные балки

Традиционные несущие строительные конструкции — балки одно- и многопролетные, консольные и др.

Клееными армированными балками перекрывают пролеты от 6 до 24 м при нагрузках до 24–30 кН/м, включая нагрузку от подвесного потолка, кранового и другого оборудования. По балкам устраивают беспрогонное или прогонное покрытие под рулонную кровлю.

Наиболее долговечными, технологичными, транспортабельными и удобными при эксплуатации считаются балки прямоугольного сечения с симметричным армированием, стержнями из горячекатаной арматурной стали периодического профиля.

Размеры поперечного сечения балок назначают из условия обеспечения достаточной прочности и жесткости конструкции. Относительную высоту сечения (отношение расчетной высоты к пролету) в зависимости от нагрузки принимают равной $1/15$ – $1/20$ для главных и $1/25$ – $1/35$ пролета для второстепенных балок. Относительную ширину сечения (отношение расчетной ширины к высоте) принимают равной не менее $1/6$, хотя при соответствующей проверке устойчивости полоской формы изгиба это соотношение может быть уменьшено до $1/8$.

Клееные армированные балки преимущественно проектируют постоянной высоты сечения. Рациональными следует считать и двускатные балки с симметричным двойным или одиночным армированием (см. рис. 2.7). При отработанной технологии изготовления конструкций перспективны гнутоклееные армированные балки со стрелой подъема, равной $1/40$ – $1/50$ пролета, что при постоянной высоте сечения позволяет получить уклон кровли $1/20$ – $1/25$.

Клееные армированные балки с одной или двумя консолями могут применяться в покрытии одно- и трехпролетных зданий.

Перспективным является разработка балок с армированием на части длины и групповым армированием (см. рис. 2.7, а, б и 2.6). С целью повышения надежности балок армирование следует выполнять полукаркасами с поперечной арматурой, установленной перпендикулярно или под углом поперечной арматурой, установленной перпендикулярно или под углом 45° к продольной оси балки, или располагать растянутую арматуру по траектории главных напряжений или деформаций.

Опытное проектирование клееных армированных балок постоянной высоты сечения пролетом 12–24 м позволило определить основные технико-экономические характеристики в зависимости от пролета и расчетной нагрузки.

Экономия древесины при этом может составить 20–30% при коэффициенте армирования 1,2–3,5%. Монтажная масса балок при армировании снижается на 10–22%.

3.3. Клееные армированные арки

Трехшарнирные арки относятся к числу наиболее эффективных строительных конструкций, так как при сравнительно небольшом расходе материалов и простой конструкции обладают высокой прочностью и надежностью [5, 8]. Применяются арки в покрытиях пролетом от 12 до 36 м с шагом 3–6 м. В зависимости от назначения распор, возникающий в арках, воспринимается затяжкой или фундаментом (см. рис. 3.1).

Минимальное значение стрелы подъема арок должно составлять $1/8$ пролета (из условия обеспечения необходимого уклона для кровли из штучных материалов, например профилированного настила, волнистых асбестоцементных листов и т. п.).

Сечение армированных элементов верхнего пояса арок рационально выполнять прямоугольным с относительной высотой $1/35$ – $1/70$ пролета в устойчивости из плоскости действия изгибающего момента соотношение между расчетной высотой сечения и шириной должно быть не менее 5, при меньших значениях необходимо проводить проверку устойчивости плоской формы изгиба.

Армирование сечений элементов арки целесообразно выполнять как двойным симметричным, так и несимметричным с большим количеством арматуры в сжатой зоне при $F_{ac} / F_a = 0,6$ – $0,8$.

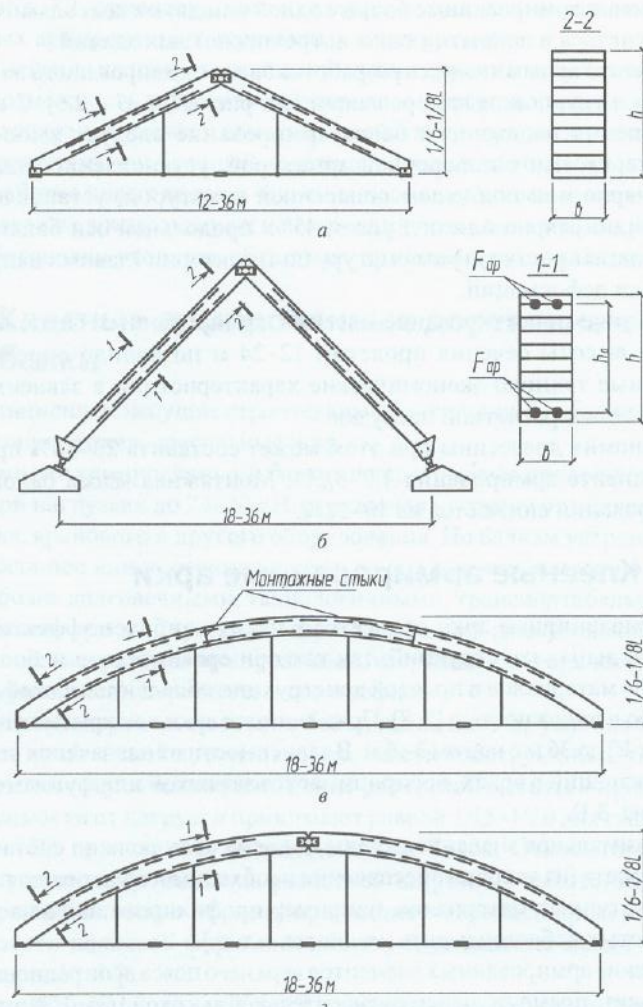


Рис. 3.1. Клееные армированные деревянные арки: а — треугольная; б — треугольная стрельчатая; в — двухшарнирная криволинейная; г — трехшарнирная криволинейная

Затяжку арок рационально выполнять из круглой гладкой стали или из стали периодического профиля, предусматривая устройство

натяжной муфты, которая обеспечивает возможность подтягивания затяжки в процессе монтажа и эксплуатации. Для предотвращения провисания затяжки устраиваются металлические подвески. При особых условиях эксплуатации и для экономии металла затяжка может выполняться из клееной древесины.

С целью создания в элементах верхнего пояса арок разгружающего момента (для треугольных распорных систем) взаимный упор армированных элементов в коньковом узле и в опорных башмаках осуществляется частью сечения, что создает внецентренное приложение продольной сжимающей силы. Эксцентриситет приложения продольной силы обычно принимают равным 0,15–0,2 расчетной высоты сечения.

В целом арки с клееными армированными поясами имеют высокие технико-экономические показатели, что позволяет использовать их в качестве несущих конструкций большинства типов производственных, сельскохозяйственных, складских зданий и комплексов.

Расчет треугольных арок с клееными армированными поясами ведется в предположении упругой работы материалов при двух сочетаниях нагрузок: постоянной и временной по всему пролету; постоянной по всему пролету и временной на половине пролета.

Анализ результатов опытного проектирования треугольных арок с клееным армированием верхним поясом показывает, что примененные армирования позволяют сократить расход клееной древесины на 30–40%, уменьшить монтажную массу на 15–20%. Причем эффективность арок с армированным верхним поясом возрастает с увеличением действующих нагрузок и пролета.

3.4. Клееные армированные деревянные рамы

Клееные деревянные рамы относятся к наиболее распространенным типам несущих конструкций. Рамы довольно хорошо вписываются в поперечник большинства производственных, общественных и складских зданий, поскольку стойки позволяют устраивать вертикальные стеновые ограждения, а ригели — требуемое покрытие.

В строительстве применяют в основном однопролетные трех- и двухшарнирные рамы на пролетах от 12 до 30 м. При этом высота поперечного сечения рам в зоне действия наибольших изгибающих моментов (обычно в зоне карнизного узла) достигает 1/20–1/35 пролета, что характеризуется спецификой рам и должно учитываться при проектировании.

Армирование клееных рам позволяет решить две задачи: получить сборный карнизный узел, равнопрочный с основным сечением, и эффективное решение конструкции из прямолинейных клееных элементов постоянной высоты сечения, что достигается армированием ригеля и стойки в зоне наибольшего изгибающего момента (рис. 3.2).

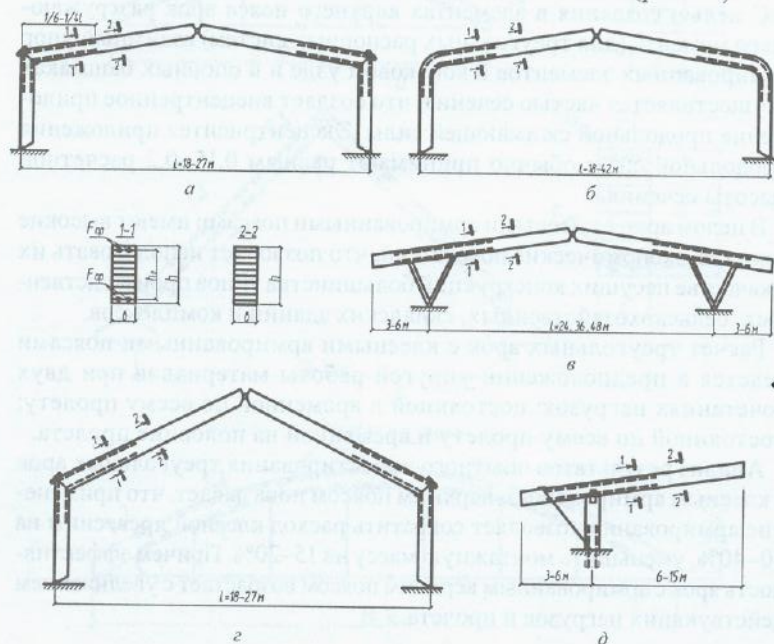


Рис. 3.2. Клееные армированные деревянные рамы: а — из прямолинейных элементов; б — гнutoкклееная; в — с V-образными стойками; г — стрельчатая; д — консольная

Возможность создания сборного карнизного узла позволяет собирать раму из прямолинейных элементов, упростить технологию изготовления и транспортировки конструкций (в отличие от гнutoкклееных и рам с фиксированным карнизным узлом, выполненным на заводе). Решение рамы из армированных элементов постоянной высоты сечения (гнutoкклееных и прямолинейных) также значительно упрощает технологию изготовления, повышает качество и надежность конструкции.

Расчет рам ведется по первой группе предельных состояний при двух сочетаниях нагрузок: постоянной и временной по все-

му пролету; постоянной по всему пролету и временной (снег) на половине пролета. Элементы рам работают при сложном напряженно-деформированном состоянии, рассчитываются на сжатие с изгибом.

При расчете рам со сборным карнизным узлом необходимо учитывать упругую податливость закладных деталей и арматуры в узле, что обычно приводит к уменьшению узлового и к увеличению пролетного изгибающих моментов.

Применение клееных армированных рам в строительстве позволяет сократить трудозатраты при изготовлении и монтаже на 5–12%, расход клееной древесины — на 15–17%.

3.5. Клееные армированные колонны и стойки

В качестве основных несущих конструкций каркасов деревянных зданий и сооружений, а также второстепенных элементов целесообразно использовать клееные армированные колонны и стойки высотой до 12–15 м постоянной высоты сечения или ступенчатые (рис. 3.3).

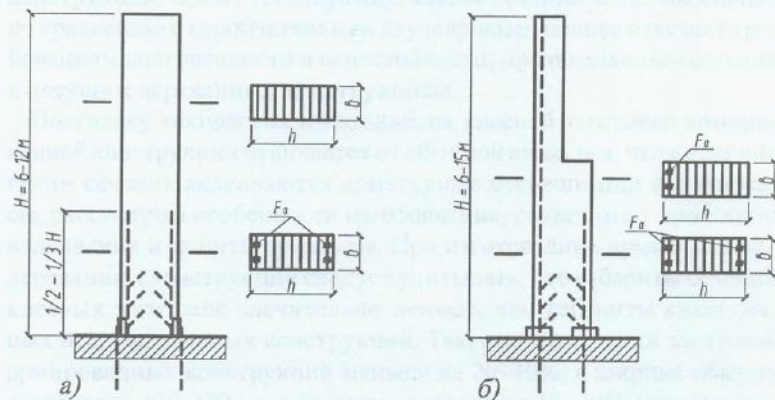


Рис. 3.3. Клееные армированные колонны и стойки: а — постоянного сечения; б — ступенчатые

Сечение колонн и стоек обычно выполняется прямоугольным (сплошным или коробчатым) с относительной высотой $1/10$ – $1/15$. Из условия обеспечения устойчивости ширина колонн и стоек должна быть не менее $1/5$ высоты сечения.

Колонны и стойки, как правило, испытывают совместное действие продольной сжимающей силы и изгибающего момента, и их прочность и деформативность следует рассчитывать на сжатие с изгибом.

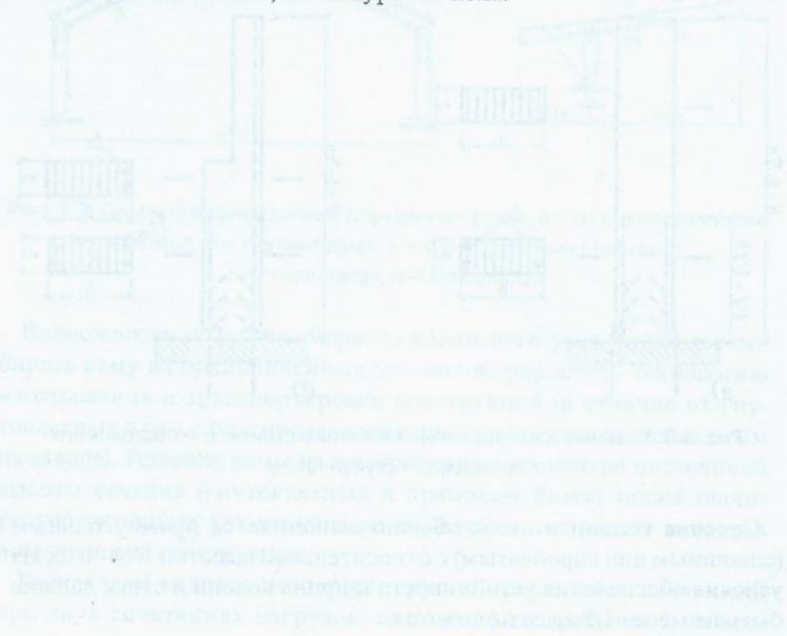
Армирование сечений следует выполнять как симметричным для колонн и стоек, так и несимметричным для колонн с большим количеством арматуры в сжатой зоне при соотношении $F_{ac} / F_a = 0,6 - 0,8$.

При армировании необходимо учитывать характер распределения усилий по высоте конструкций и выполнять его лишь в зоне наибольших усилий, обычно на $1/2 - 1/3$ высоты колонны от основания.

Конструкция армированных колонн и стоек позволяет осуществлять их жесткое присоединение к фундаменту с использованием выпусков арматуры или специальных закладных деталей и анкерных болтов.

В зданиях с мостовыми кранами грузоподъемностью до 50 кН (5 тс) рационально применять ступенчатые колонны, армированные на высоту, равную высоте подкрановой ветви.

В месте опирания колонн и стоек на фундаменты необходимо устраивать оклеечную гидроизоляцию, а само опирание осуществлять на отметке не менее 0,15 м от уровня пола.



ГЛАВА 4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АДК

4.1. Особенности технологии изготовления армированных деревянных конструкций

В современных условиях наиболее технологичны и широко освоены клееные деревянные конструкции прямоугольного сечения, поэтому целесообразно применять такие сечения и для армированных конструкций. Кроме того, прямоугольное сечение более массивное по сравнению с коробчатым или двутавровым, полнее отвечает требованиям долговечности и огнестойкости, предъявляемым сегодня к несущим деревянным конструкциям.

Поскольку технология изготовления клееной заготовки армированной конструкции отличается от обычной лишь тем, что в крайние грани сечения клеиваются арматурные стержни или полукаркасы, рассмотрим особенности изготовления, связанные с процессом вклеивания и защиты арматуры. При изготовлении армированных деревянных конструкций следует учитывать, что габариты сечений клееных заготовок значительно меньше, чем габариты аналогичных неармированных конструкций. Так, высота сечений заготовок армированных конструкций меньше на 20–30%, а ширина обычно составляет 120–170 мм, монтажная масса на 30–40% меньше, чем у неармированных конструкций. Это приводит к снижению трудозатрат на изготовление клееных заготовок, позволяет увеличить оборачиваемость и производительность прессового оборудования.

При изготовлении армированных конструкций наиболее трудоемок процесс вклеивания арматуры, который включает: операции приготовления клеевой композиции для склеивания арматуры с древесиной; фрезерование пазов по пластикам досок для арматуры; свер-

ление отверстий для поперечных стержней; подготовку арматуры (резку и сращивание по длине, очистку от загрязнений, обезжиривание, сварку полукаркасов); нанесение клеевой композиции, укладку и запрессовку стержней арматуры или арматурных полукаркасов.

Операции по фрезерованию пазов, укладке и запрессовке арматуры можно выполнять, выбрав один из двух вариантов. Первый вариант: на склеенных заготовках, полного габарита, имеющих заданную высоту и ширину конструкции, что весьма трудоемко (рис. 4.1, а), так как связано с необходимостью кантовать заготовку при двухстороннем армировании и повторно использовать прессовое оборудование. На отдельных плетях (доски, стыкованные по длине с пазами и остроганные), которые при сборке клеевого пакета укладываются в крайние зоны (рис. 4.1, б). Второй вариант изготовления — более рациональный, так как позволяет выделить операции по вклеиванию арматуры и провести их параллельно другим операциям по изготовлению клеевой конструкции, однако затрудняет армирование полукаркасами с поперечной арматурой. Рациональным, с конструктивной и технологической точки зрения, является армирование конструкций по боковым поверхностям при ширине сечения до 100–150 мм. В этом случае пазы под арматуру фрезеруются по боковым поверхностям заготовки, которая лежит плашмя, причем растянутая арматура располагается по линии главных растягивающих деформаций (рис. 4.1, в). При подобном решении армирования возможно применение конструкций составного по ширине сечения (рис. 2.7, з), что позволит получить сечение шириной 200 мм и более и значительно сократить расходы на изготовление, так как отпадает необходимость кантовать конструкцию при вклеивании стержней с выдержкой в каждой позиции 10–12 часов. При этом в целях повышения огнестойкости конструкций арматуру размещают внутри составного сечения. Составные по ширине армированные элементы соединяют стяжными болтами диаметром 14–16 мм через 2–3 метра по длине, причем болтовые соединения с этой же целью целесообразно утапливать в древесину и закрепить деревянными пробками (см. рис. 4.1, з).

Арматурные стержни обычно вклеивают в пазы, расположение в один ряд по ширине сечения и фрезерованные по длине пласти или образованные отдельными брусками толщиной, равной наружному диаметру арматуры. Форму и размеры паза выбирают, исходя из условий обеспечения надежного склеивания арматуры с древесиной и минимального расхода клеевого состава.

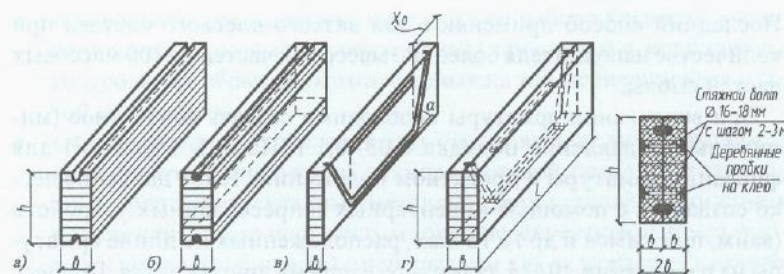


Рис. 4.1. Технологические варианты изготовления деревянных армированных балок

Обычно этим требованиям отвечают пазы прямоугольного и полукруглого профилей (рис. 4.2). При этом размеры паза (ширина и глубина) принимаются равными $d_a + 5$ мм, где d_a — диаметр арматуры. Расстояние между осями стержней должно быть не менее двух диаметров.

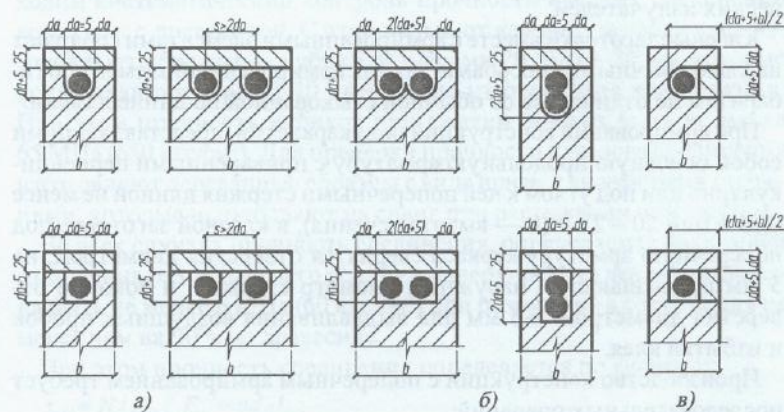


Рис. 4.2. Размещение пазов полукруглого и прямоугольного очертания по ширине сечения: а — обычным способом; б — групповым способом; в — при вклеивании стержня по боковой поверхности

В случае ограниченной ширины сечения возможно применение группового армирования, при котором стержни (не более трех) размещают в общем пазу. В этом случае стержни соединяются сваркой в общий пакет, пазы заполняются с помощью специального устройства (шприца с диаметром сопла не менее 12 мм) или шпателя.

Последний способ применяют для вязкого клеевого состава при количестве наполнителя более 300 массовых частей на 100 массовых частей смолы.

При вклеивании арматуры необходимо создать контактное (минимальное) давление порядка 0,05–0,1 МПа (0,5–1 кгс/см²) для фиксации арматуры в проектном положении. Такое давление легко создается с помощью инвентарных запрессованных устройств (вайм, прижимов и др.) в точках, расположенных по длине арматуры на расстоянии 20–25 диаметров стержня друг от друга. Процесс склеивания при температуре 18–20 °С происходит в течение 10–12 ч: за это время клеевое соединение достигает разборной прочности (60–70% от конечной), при нагреве до 50–60 °С разборная прочность достигается через 2–3 ч с последующей 30-минутной выдержкой в прессе.

Процесс склеивания можно ускорить, нагревая заготовки конвекционным способом в камере аэродинамического прогрева или терморadiационным способом с помощью инфракрасных электрических излучателей.

Клееные заготовки вместе с армированными элементами собирают на клею обычными способами, так как армированный элемент по габаритам не отличается от обычной стыкованной по длине ламели.

При армировании конструкций полукаркасами, представляющими собой основную продольную арматуру с приваренными перпендикулярно или под углом к ней поперечными стержнями длиной не менее $0,55 h$ или $20 - 25 d$ (h — высота сечения), в клееной заготовке под поперечную арматуру каркаса сверлятся отверстия диаметром, на 5 мм превышающим наружный диаметр стержня, и боковые отверстия диаметром 3–5 мм для выдавливания воздушных пробок и избытка клея.

Производство конструкций с поперечным армированием требует последовательных операций:

- сверление по кондуктору отверстий (вертикальных или наклонных) и удаление из них (сжатым воздухом) стружки с контролем точности и глубины сверления путем постановки контрольного стержня в отверстие насухо;
- заполнение отверстий дозированным количеством клея с защитой поверхности конструкции от попадания клея;
- погружение виброинструментом очищенных, обезжиренных и смазанных клеем стержней, их фиксация в проектном положении с дополнительной подливкой клея по мере его поглощения древесиной;

- технологическая выдержка стержней до набора клеевым соединением разборной (технологической) прочности с испытанием контрольных образцов, изготовленных на той же порции клея и по той же технологии;
- сварка элементов с клееными стержнями, если необходимо, выполняется в следующей технологической последовательности: закрепление закладных металлических деталей в проектном положении; сварка постоянным током перекрестными, прерывистыми швами (шпонками) с перерывами для охлаждения металла и контроля качества шва с удалением шлака; древесина во время сварки должна быть защищена экраном из листовой стали;
- проверка по шаблону или путем контрольной сборки геометрических параметров жесткого стыка (узла), маркировка клееных элементов.

После выемки из пресса конструкция отправляется на склад готовой продукции, где выдерживается в течение 7–10 дней.

При изготовлении армированных деревянных конструкций необходим систематический контроль прочности клеевых соединений арматуры с древесиной. С этой целью от каждого замеса клея изготавливают образцы — кубики размерами 20 × 20 × 20 мм, которые испытываются через 7–10 дней после изготовления конструкции. При этом прочность кубиков при сжатии должна быть не менее 65 МПа (650 кгс/см²). Для проверки прочности клеевого соединения изготавливают деревянные образцы в виде призм с клееными стержнями, которые испытывают на сдвиг при растяжении или сжатии.

Во всех случаях прочность соединения, определяемая величиной отношения разрушающего усилия к поверхности склеивания, должна быть не менее 6 МПа (60 кгс/см²) при разрушении соединения не менее чем на 90% по древесине.

При этом прочность соединения определяется по формуле:

$$\tau_{\text{сд}} = N / F_{\text{сд}}; F_{\text{сд}} = \pi d_{\text{п}} L_{\alpha},$$

где L_{α} — длина клееной части арматуры; $d_{\text{п}}$ — диаметр паза. Качество готовых изделий должно проверяться путем контрольного испытания конструкций до разрушения согласно действующим рекомендациям по испытанию деревянных конструкций [16]. При запрессовке клееного пакета с армированными элементами качество склеивания повышается за счет более равномерного распределения давления по длине заготовки, которое происходит из-за меньшей деформативности армированного элемента под сосредоточенными грузами запрессовочных устройств.

Для повышения огнестойкости и долговечности конструкций арматура защищается доской толщиной не менее 25 мм, наклеиваемой поверх стержней или вкладышем в глубокий паз поверх арматуры.

4.2. Склеивание арматуры с древесиной в конструкциях

Прочность, надежность и долговечность армированных деревянных конструкций в значительной мере зависят от клеевых соединений, используемых для склеивания древесины с арматурой.

Вопросы склеивания древесины достаточно изучены и подробно изложены в соответствующей литературе [2, 10, 11, 17]. Поэтому рассмотрим лишь вопрос, касающийся склеивания древесины с арматурой.

Эффективным является так называемое рациональное армирование, при котором стержни растянутой арматурой размещаются по траекториям главных растягивающих деформаций. Такое армирование позволяет повысить надежность конструкций и усовершенствовать технологию изготовления (рис. 4.1, в, з).

При склеивании арматуры с древесиной клей переходит в твердое состояние с последующим по мере отверждения увеличением механической прочности клеевого слоя и сцеплением его со склеиваемыми материалами.

Клеевой шов принято рассматривать как единую композицию из клеевого слоя и двух прилегающих материалов. При этом прочность соединения зависит от механических свойств как клея, так и наиболее слабого из склеиваемых материалов, в данном случае — древесины.

Необходимо, чтобы при склеивании древесины с арматурой прочность соединения превышала прочность основного материала конструкции — древесины. Тогда разрушение такого соединения будет происходить от скалывания древесины вдоль волокон.

Клеевые соединения арматуры с древесиной должны отвечать следующим требованиям: иметь высокую механическую прочность и достаточную жесткость; стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям; долговечность; малую ползучесть при длительном действии нагрузки; технологичность. Из довольно широкого ассортимента клеев, выпускаемых промышленностью, таким требованиям удовлетворяют только эпоксидные, феноло-формальдегидные и полиуретановые. Однако

феноло-формальдегидные клеи, содержащие кислотные отвердители, обладая низкой стоимостью и доступностью, вызывают коррозию стальной арматуры, что требует специальных мероприятий по ее защите, следовательно, усложняет технологический процесс и повышает стоимость изделия. Полиуретановые клеи пока недостаточно изучены и дефицитны.

В полной мере отвечают предъявляемым требованиям клеи на основе эпоксидных смол, которые в большинстве случаев используются в виде многокомпонентных клеевых композиций. Применяя для наполнения и отверждения эпоксидных клеев различные наполнители и отвердители, удается получить клеевые соединения, удовлетворяющие не только перечисленным выше требованиям, но и обладающие высокой теплостойкостью и относительно низкой стоимостью [1, 2, 12, 18]. Последнее достигается за счет введения в композицию на 100 массовых частей смолы 200–400 массовых частей наполнителей, что приводит к снижению содержания смолы (наиболее дорогого компонента) в клее до 15–25%. Например, при стоимости 1 кг смолы ЭД-20, равной 4,0 усл. ед., стоимость 1 кг клеевой композиции составит 0,68–1,0 усл. ед.

Для клеевых соединений арматуры с древесиной наиболее технологичными являются композиции, приготовленные на основе эпоксидных смол марок ЭД-20, ЭИС-1 и др. Их жизнеспособность зависит от вида и количества отвердителя и после введения отвердителя равно 45–120 мин. Основные составы клеевых композиций, рекомендуемых для применения в армированных деревянных конструкциях, приведены в табл. 4.1. Расход клеевой композиции в зависимости от паза и диаметра арматуры определяется по графику на рис. 4.3.

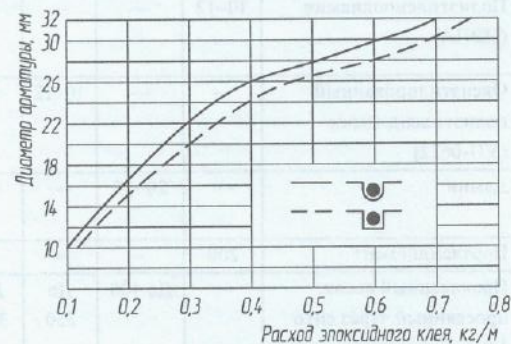


Рис. 4.3. Расход клеевой композиции в зависимости от профиля паза и диаметра арматуры

При выборе клеевой композиции для соединений в армированных конструкциях следует учитывать, что некоторые традиционные компоненты в названных составах далеко не оптимальные, поэтому взамен их приведены новые, свойства которых повышают технологичность и качества клеевых соединений. Например, полиэтиленполиамин — наиболее распространенный аминный отвердитель — весьма гигроскопичен, чувствителен к температурному режиму отверждения, к рецептурному составу, токсичен. Поэтому разработаны оксиэтилированные аминные отвердители, которые отличаются меньшей токсичностью и летучестью, более низкой стоимостью и доступностью.

Таблица 4.1. Эпоксидные клеевые композиции для склеивания арматуры с древесиной

Компоненты		Содержание в масс. частях для вариантов клеевых композиций				
Назначение	Наименование	1	2	3	4	5
Связующее	Эпоксидно-диановая смола ЭД-20	100	100	100	—	—
	Алкилрезорциновая эпоксидная смола МГФ-9	—	—	—	100	100
Пластификатор	Дибутилфталат или полиэфир МГФ-9	20–25	—	—	25	—
Растворитель	Сламор (сланцевый модификатор)	—	30	30	—	30–50
Отвердитель	Полиэтиленполиамин (ПЭПА)	10–12	—	—	—	—
	Оксиэтилированный полиэтилендиамин (УП-0622)	—	—	10–12	10	—
	Дамин	—	20–25	—	—	20
Наполнитель	Портландцемент	200	—	—	—	—
	Проклесный песок, просеянный через сито 1,0 мм	—	До 400	До 350	До 300	До 400

Взамен дибутилфталата, который испаряется из эпоксидных композиций, растворяется в воде, тем самым снижая качество и стойкость клеевых соединений, целесообразно применять сланцевый модификатор (сламор). Сламор — поверхностно активное вещество — повышает смачивающие свойства эпоксидных композиций, снижает расход отвердителя на 15–20%, упрощает составление композиций с высоким содержанием наполнителя и служит катализатором при отверждении. Являясь продуктом недорогим и доступным, сламор снижает не только начальную вязкость клеевой композиции, но и существенно — ее стоимость.

В качестве наполнителя наиболее эффективен песок (доступен и имеет низкую стоимость), тогда как цемент отрицательно взаимодействует с аминными отвердителями, а его частицы, будучи гигроскопичными, могут, присоединяя воду, увеличиваться в объеме (набухать), вследствие этого в клеевом шве в процессе эксплуатации возникают внутренние раскалывающие напряжения, которые снижают долговечность и надежность соединения.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов А. Р., Козлов В. В., Холодовская Е. И. Огнестойкие клеевые композиции // Пластические массы. — 1973. — № 5. С. 53–54.
2. ГОСТ 5781–82*. Сталь горячекатаная для армированных железобетонных конструкций. — М.: Издательство стандартов, 1983.
3. ГОСТ 8486–86. Пиломатериалы хвойных пород. — М.: Издательство стандартов, 1990.
4. Гринь И. М. Справочник. Проектирование и расчет деревянных конструкций. Липецк: Интеграл, 2006. — 236 с.
5. Звягельский М. А., Козулин А. Я., Щуко В. Ю. Трехшарнирные металлодеревянные арки с клееным армированным верхним поясом // Развитие производства клееных деревянных конструкций в Сибири: Сб. тр. — Новосибирск: Новос. стр. институт, 1973. С. 33–36.
6. Касаткин В. Б., Бондин В. Ф. Долговременные испытания армодеревянных балок в условиях Крайнего Севера // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1972. — № 11. С. 12–14.
7. Касаткин В. Б., Вылегжанин Ю. Б. Эффективность применения армированной древесины для изготовления панельных покрытий // Развитие производства клееных деревянных конструкций в Сибири: Сб. тр. — Новосибирск: Новосиб. строит. институт. — 1975. С. 120–123.
8. Ковальчук Л. М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. 334 с.
9. Ковальчук Л. М., Турковский С. Б. и др. Деревянные конструкции в строительстве. М.: Стройиздат, 1995. 246 с.
10. Линьков Н. М. Снижение материалоемкости конструкций. — М.: Стройиздат, 1974. — 48 с.

11. Линьков Н. М., Щуко С. А. Особенности деформирования клееных армированных деревянных балок при циклическом действии длительной нагрузки // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1972. — № 11. С. 39–41.
12. Пособие по проектированию деревянных конструкций. — М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
13. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций. — М., 1976. 32 с.
14. Роцина С. И. Армированные деревянные конструкции // Архитектура и строительство. — 2008. С. 32–38.
15. Роцина С. И. Длительная прочность и деформативность треугольных арок с клееным армированным верхним поясом: Материалы областной конф. — Владимир: Изд-во ВлГУ, 1999. С. 35–37.
16. Роцина С. И. Плиты покрытия с армированным деревянным каркасом при длительных силовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. — 2008. С. 42–43.
17. Роцина С. И., Ретин В. А., Лукин М. В. Повышение надежности армированных деревянных конструкций // Деревообрабатывающая промышленность. — 2008. — № 2. С. 11–13.
18. Смирнов А. Ф. Сопротивление материалов. — М.: Высш. шк., 1975. С. 82.
19. СНиП II-25–80*. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1982.
20. Соротокин В. М., Шолохова А. Б., Фрейдлин А. С. О прочности и деформативности клеевого соединения арматуры с древесиной // Разработка и исследование клееных деревянных и фанерных армированных конструкций: Тр. ЦНИИСК. Вып. 24. — М., 1972. С. 40–46.
21. Щуко В. Ю. Исследования несущей способности армированных деревянных балок // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — Новосибирск. — 1969. — № 2. С. 22–28.
22. Щуко В. Ю., Молотовицков С. Л., Роцина С. И. Оптимальное проектирование армированных деревянных конструкций // Расчет и оптимальное проектирование строительных конструкций: Материалы междунар. симп. — Владимир: Изд-во ВлГУ, 1996. С. 26–29.
23. Щуко В. Ю., Роцина С. И. Армированные деревянные конструкции: Учебное пособие. Владимир: Посад, 2002. С. 67.

24. *Щуко В. Ю., Смирнов Е. А., Климков С. В.* Армированные деревянные балки для покрытий и перекрытий жилых зданий // Развитие малоэтажного домостроения из древесного сырья: Материалы Всесоюз. сов. журнал. — М., 1989. С. 40–45.
25. *Щуко В. Ю.* Клееные армированные деревянные конструкции : учеб. пособие к курсовому и дипломному проектированию / В. Ю. Щуко, С. И. Рощина ; Владим. гос. ун-т. — Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. — 68 с.
26. *Щуко В. Ю.* Армированные деревянные конструкции в строительстве // Строение, свойства и качество древесины '96. Материалы 2-го международного симпозиума / В. Ю. Щуко, С. И. Рощина. — Москва, Мытищи, 1996.

КНИГИ
ИЗДАТЕЛЬСТВА

ГИОРД

- + Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности / Г. Н. Гогина и др. — 2008
- + Маркетинг / Э.Г. Выгодская, Н.П. Колпакова — 2008
- + Налоги и налогообложение / В. В. Кузьменко и др. — 2008
- + Организация предпринимательской деятельности / М. И. Черутова — 2008
- + Предпринимательское право / Л. В. Мась и др. — 2008
- + Производственный менеджмент / А. П. Тяпухин — 2008
- + Управление качеством в строительстве / В. В. Бузырев, М. Н. Юденко. — 2009
- + Управление строительной компанией / Е. Л. Каплан — 2008
- + Экология городской среды / Э. В. Сазонов — 2009
- + Экономика предприятия / М. И. Черутова и др. — 2008

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ В 2009 ГОДУ

- + Архитектура первой половины XX века / С. П. Заварихин
- + Методы оценки и управления рисками организации / Н. А. Рыхтикова
- + Техническая эксплуатация и ремонт зданий и сооружений / С. И. Рощина и др.
- + Технологические комплексы и оборудование предприятий строительной индустрии / В. С. Богданов и др.
- + Управление проектами развития недвижимости / Максимов С. Н. и др.
- + Эстетика в архитектуре и дизайне / Е. А. Ахмедова

Эти и другие книги
по архитектуре,
строительству,
экономике
и менеджменту
вы можете заказать
по адресу:

192148,
Санкт-Петербург,
а/я 8, 000
«Издательство
"ГИОРД"»

Тел./факс:
(812) 449-92-20
e-mail:
books@giord.com

Internet:
www.giord.info

ГИОРД

Учебное издание

Щуко Владислав Юрьевич
Рощина Светлана Ивановна

**Клееные армированные
деревянные конструкции**

Подписано в печать 03.07.09. Формат 84×108/32.
Бумага офсетная. Печ. л. 4.
Тираж 1000. Заказ №
ООО «Издательство «ГИОРД»»,
192148, Санкт-Петербург, а/я 8. Тел. (812) 449-92-20.

Отпечатано в ООО «Турусел»
191186, г. Санкт-Петербург, Миллионная ул., д. 1.
Тел. (812) 571-54-74