

Министерство образования и науки Российской Федерации
Вологодский государственный технический университет

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МК И ДК

Методические указания к курсовому проекту на тему
**«Большепролетное общественное здание
с применением древесины»**

Часть 1

Факультет инженерно-строительный

Направление 270800.68 – «Строительство»

Вологда
2011

Расчетно-теоретические и конструктивные проблемы МК и ДК:
методические указания к курсовому проекту на тему «Большепролетное общественное здание с применением древесины». – Вологда: ВоГТУ, 2011. – 27 с.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями Федерального стандарта к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки выпускника в вузе по направлению 270800.68 «Строительство».

В методических указаниях даны основные положения, принципы и методика расчета здания с применением клееных арок.

Предназначены магистрантам очной формы обучения по направлению «Строительство».

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГТУ

Составители: Булгакова Л.И., канд. техн. наук, доцент;
Дементьев Н.М., канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: Ильичев Е.А., канд. техн. наук, доцент кафедры
начертательной геометрии и графики

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с действующими учебными планами студенты очной формы обучения направления 270800.68 по дисциплине «Расчетно-теоретические и конструктивные проблемы МК и ДК» выполняют курсовой проект на тему «Большепролетное общественное здание с применением древесины». Цель данных методических указаний заключается в том, чтобы помочь студентам концентрированно усвоить теоретические знания по дисциплине и развить навыки по самостоятельному проектированию современных арочных конструкций из клееной древесины с использованием ПК. Наличие большого выбора видов арочных несущих конструкций для однотипных зданий позволяет провести вариантное проектирование и привить навыки научно-исследовательской работы.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части формата АП (АШ).

1. Содержание курсового проекта

Расчетно-пояснительная записка выполняется в соответствии с ЕСКД на стандартных листах формата АIV.

1.1. Расчетно-пояснительная записка

Расчетно-пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

1. Задание на курсовой проект.
2. Введение.
3. Проектирование ограждающих конструкций.
4. Расчет несущей конструкции арки.
5. Расчет узлов арки.
6. Обеспечение пространственной жесткости каркаса.
7. Защита деревянных конструкций от гниения и возгорания.
8. Список используемых источников.

1.2. Графическая часть

Графическая часть выполняется карандашом или на ПК на листах формата АП, АШ. На листах должны быть выполнены:

На первом листе

1. Совмещённые по оси здания план покрытия и план несущих конструкций со схематическим изображением связей /в одну линию/, с постановкой осей и размеров в масштабе 1:200 – 1:400. В зданиях большой длины разрешается устройство разрыва по оси симметрии.

2. Продольный разрез здания совмещают по оси симметрии с фасадом в масштабе 1:200 со всеми габаритными размерами и обозначениями осей, показом связей.

3. Поперечный разрез здания по фахверку совмещают по оси здания с торцовым фасадом в масштабе 1:100 - 1:200. На разрезе показывают конструкцию фахверка и связей по торцу, а на фасаде – разрезку панелей или обрешётку.

4. Конструкция покрытия: для панелей – план, продольный и поперечный разрез в масштабах 1:25 -1:40; для покрытия по прогонам – детали и узлы крепления обшивки к прогонам вдоль и поперёк ската в масштабе 1:5 – 1:10. В этом же масштабе показывают узлы и детали крепления панелей /прогонов/ к несущим аркам в двух проекциях.

5. Узлы крепления горизонтальных, вертикальных или скатных связей, стоек фахверка к аркам в масштабе 1:5 - 1:10.

На втором листе /лист КД/:

1. Совмещенные на одном виде геометрическая и расчетная схемы арки в масштабе 1:100 - 1:200.

2. Арка - фасад, план с показом связей и их привязкой в масштабе 1:25 - 1:50. При симметричной конструкции показывается только одна половина её с обрывом за осью симметрии.

3. Вид заготовочного клееного блока арки со всеми размерами и допусками в масштабе 1:50 - 1:100.

4. Характерные сечения и узлы арок в двух-трёх проекциях в масштабе 1:5 -1:10 со всеми необходимыми размерами.

5. Спецификации расхода древесины и металла на арку, панель покрытия /прогоны/, связи и стойки фахверка.

1.3. Задание на курсовой проект

Темой курсового является проектирование каркасов одноэтажных гражданских зданий из дерева и пластмасс. Задание на работу выдается индивидуально каждому студенту на занятии.

2. Проектирование ограждающих конструкций

Проектирование ограждающих конструкций выполняется самостоятельно [4 ÷ 6].

3. Основные положения по проектированию арок

3.1. Классификация клееных деревянных арок

Деревянные клееные арки широко используются в качестве основных несущих конструкций зданий различного назначения при пролётах от 12 до 60 м и более. Основные схемы арочных конструкций и их геометрические параметры приведены в табл. 1. Арки классифицируют следующим образом: по статической схеме – двухшарнирные (схемы 2,6) и трёхшарнирные (схемы I, 3-5, 7-10).

Применение двухшарнирных арок целесообразно при пролётах до 24-30 м, допускающих изготовление и транспортирование арок целиком, а также при

пролётах более 60 м, когда необходимо иметь несколько монтажных жёстких узлов по длине арки и коньковый шарнир лишается монтажного значения.

- *по схеме опирания* – без затяжек, когда арки опираются непосредственно на фундамент или элементы несущего каркаса зданий (схемы 3, 5, 6 – 8, 10) и с затяжками, воспринимающими распор. В арках с затяжками при пролётах более 30 м одна из опор делается подвижной. Арки без затяжек используют для зданий значительной высоты – спортивных, зрелищных, складских и т.п.

- *по геометрической схеме* – треугольные (схемы 1-3), – сегментные (схемы 4-6), стрельчатые (схемы 7), полигональные (схемы 8,9). Треугольные арки наиболее просты в изготовлении, однако они требуют значительного расхода древесины, поскольку сильно отличаются от эпюры давления. Сегментные арки изготавливаются из гнутых элементов кругового очертания, оси которых располагаются на общей окружности. Такое очертание наиболее рационально в двух- и трёхшарнирных арках. Стрельчатые арки имеют трехшарнирную схему и состоят из выпуклых или вогнутых гнutoкклееных полуарок, оси которых располагаются на двух окружностях, смыкающихся в ключе под углом. Полигональные арки имеют ломаное очертание и состоят из прямолинейных элементов, соединенных друг с другом под углом на зубчатый шип. Их преимущество – облегчение устройства кровли.

- *по стреле подъёма* – пологие и высокие. Для пологих арок стрела подъёма принимается $(1/6-1/4)l$ и лишь из технологических или экономических соображений уменьшается до $(1/7-1/8)l$. Стрела подъёма высоких арок - $(1/3 - 2/3)l$. Пологие арки бывают двух-трёхшарнирные с затяжкой или без неё. Высокие же арки обычно не имеют затяжек и бывают только трёхшарнирными. Стрела подъёма самих полуарок (схемы 7, 8) принимается не менее $1/15$ длины хорды полуарки, стягивающей опорный и коньковый шарниры.

- *по конструкции* – сплошные (цельные или клееные) и сквозные (схема 10). Последние являются трудоёмкими в изготовлении и применяются при построечном временном строительстве.

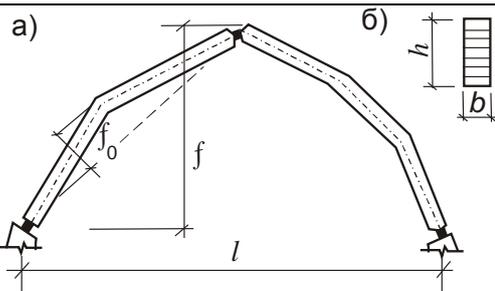
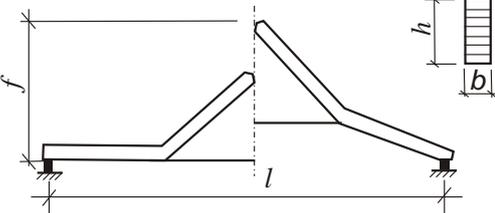
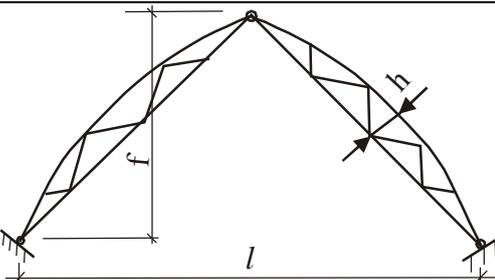
- *по форме поперечного сечения* – прямоугольные.

Поперечные сечения арок чаще всего бывают постоянными по длине. Высоту сечения арок всех типов предварительно назначают в пределах $(1/20 - 1/50) l$ (см. табл. 1). Отношение высоты к ширине сечения h/b не должно превышать 6 из условия обеспечения устойчивости. Ширину сечения принимают с учетом сортамента пиломатериала и допусков на острожку [5]. Толщину слоев принимают для арок всех типов не более 33 мм [1].

Таблица 1

Виды деревянных клееных арок

№ схе мы	Геометрическая схема, тип сечения	Геометрические показатели			Показатели массы	
		l , м	h/l	f/l	k_{CB}	k_M , %
1	2	3	4	5	6	7
1		12÷40	1/30÷1/40	1/4÷1/7	4÷5	10÷15
2		12÷24	1/30÷1/35	1/4÷1/7	3÷4	10÷15
3		12÷60	1/40÷1/60	1/3÷2/3	3÷4	2÷3
4		12÷60	1/30÷1/50	1/4÷1/7	2÷4	10÷15
5		12÷70 (100)	1/30÷1/40	1/4÷1/7	2÷4	4÷5
6		12÷70	1/20÷1/40	1/5÷1/7	2÷4	3÷4 5÷7
7		a) 24÷70 (100) б) 18÷36 (50)	a) 1/30÷1/50 б) 1/40÷1/20	a) 1/3÷2/3 б) 1/3÷1/2	a) 2÷4 б) 3÷5	a) 4÷5 б) 3÷4

1	2	3	4	5	6	7
8		18÷50	1/30÷1/50	1/3÷2/3	2÷4	4÷5
9		18÷30 (40)	1/20÷1/40	1/4÷1/2	3÷5	10÷15
10		40÷100	1/20÷1/30	1/2÷1/4	3÷4	-

3.2. Геометрический расчёт арок

Геометрический расчёт арок заключается в определении размеров и длин всех элементов, координат характерных точек и углов, необходимых для дальнейших расчётов. Исходными величинами при этом являются: пролет – l , стрела подъёма арки – f и дополнительно в стрельчатых и полигональных арках стрела подъёма полуарки – f_0 , либо в стрельчатой – радиус гнутыя R_0 .

По этим данным в треугольных арках определяют длину прямолинейного элемента полуарки $0,5 \cdot S$ и угол наклона α . В сегментных арках вычисляют (рис.1):

- радиус кривизны $R = (l^2 + 4f^2) / 8f$;
- центральный угол дуги полуарки $\alpha = \arctg[l / 2(R - f)]$;
- длину дуги арки $S = \pi R \alpha / 90$.

Далее поступают двумя способами:

1. При $f/l < 1/4$ применяется неравномерная разбивка оси на расчётные сечения путём задания абсцисс X_n с равным интервалом и определения ординат точек, исходя из уравнения (рис. 1б):

$$Y_n = \sqrt{R^2 - (0,5l - X_n)^2} - R + f.$$

2. При $f/l \geq 1/4$ применяется равномерная разбивка оси, когда последовательно определяют (рис. 1а):

- угол наклона опорного радиуса, проходящего через опорный узел арки, к горизонтали $\varphi_0 = 90^\circ - \alpha$;

- координаты: центра кривизны $X_0 = R \cos \varphi_0$, $Y_0 = R \sin \varphi_0$ и расчётных сечений

$$X_n = R \cos \varphi_n - X_0; \quad Y_n = R \sin \varphi_n - Y_0; \quad \varphi_n = \varphi_0 + n\alpha_1; \quad \alpha_1 = \alpha / n,$$

где n - номер расчётного сечения, начиная с «0» для опорных узлов.

В стрельчатых арках определяют следующие геометрические параметры полуарок:

- длину хорды, стягивающей опорный и коньковый узлы $l_0 = \sqrt{f^2 + 0,25l^2}$;

- длину дуги $S_0 = \sqrt{l_0^2 + (16f_0^2 / 3)}$;

- стрелу подъёма дуги $f_0 \geq 1/15l_0$;

- радиус кривизны оси $R = (l_0^2 / 8f_0) + 0,5f_0$;

- угол наклона хорды к горизонтали $\alpha = \arctg(f / 0,5l)$;

- угол центральный полуарки $\varphi = 2 \arcsin(l_0 / 2R)$;

- угол наклона опорного радиуса к горизонтали $\varphi_0 = 90^\circ - \alpha - 0,5\varphi$;

- координаты: центра кривизны оси полуарки

$$X_0 = R \cos \varphi_0; \quad Y_0 = R \sin \varphi_0; \quad \varphi_n = \varphi_0 + n\varphi_1$$

расчетных сечений $X_n = X_0 - R \cos \varphi_n; \quad Y_n = R \sin \varphi_n - Y_0$;

- углы наклона касательных к оси в расчетных сечениях

$$\beta_n = 90^\circ - \varphi_n.$$

При геометрических расчётах арок криволинейного и ломаного очертаний число расчётных сечений, в которых определяются координаты X_n, Y_n, β_n , принимают не менее 6. В число расчетных сечений обязательно должны включаться перегибы и стыки элементов, а также сечения, где $\beta = 50^\circ$.

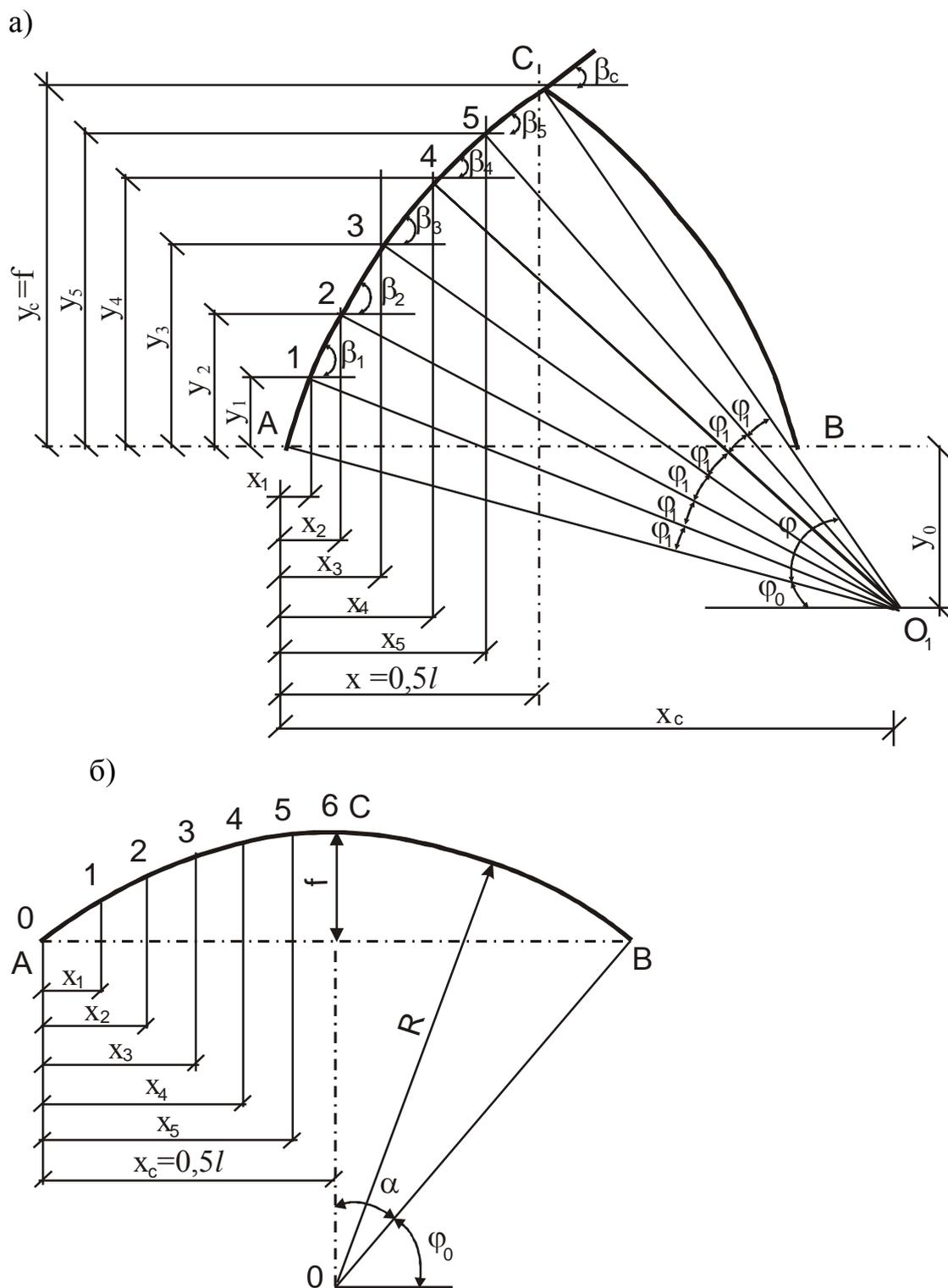


Рис. 1. Геометрический расчет арок:
 а) стрельчатой; б) сегментной

3.3. Выполнение геометрического расчета клееных арок на ПК

При необходимости алгоритм геометрического расчета арки может быть реализован в виде программы для ПК на любом языке программирования, которым владеет студент. Блок-схема программы приведена на рис. 2.

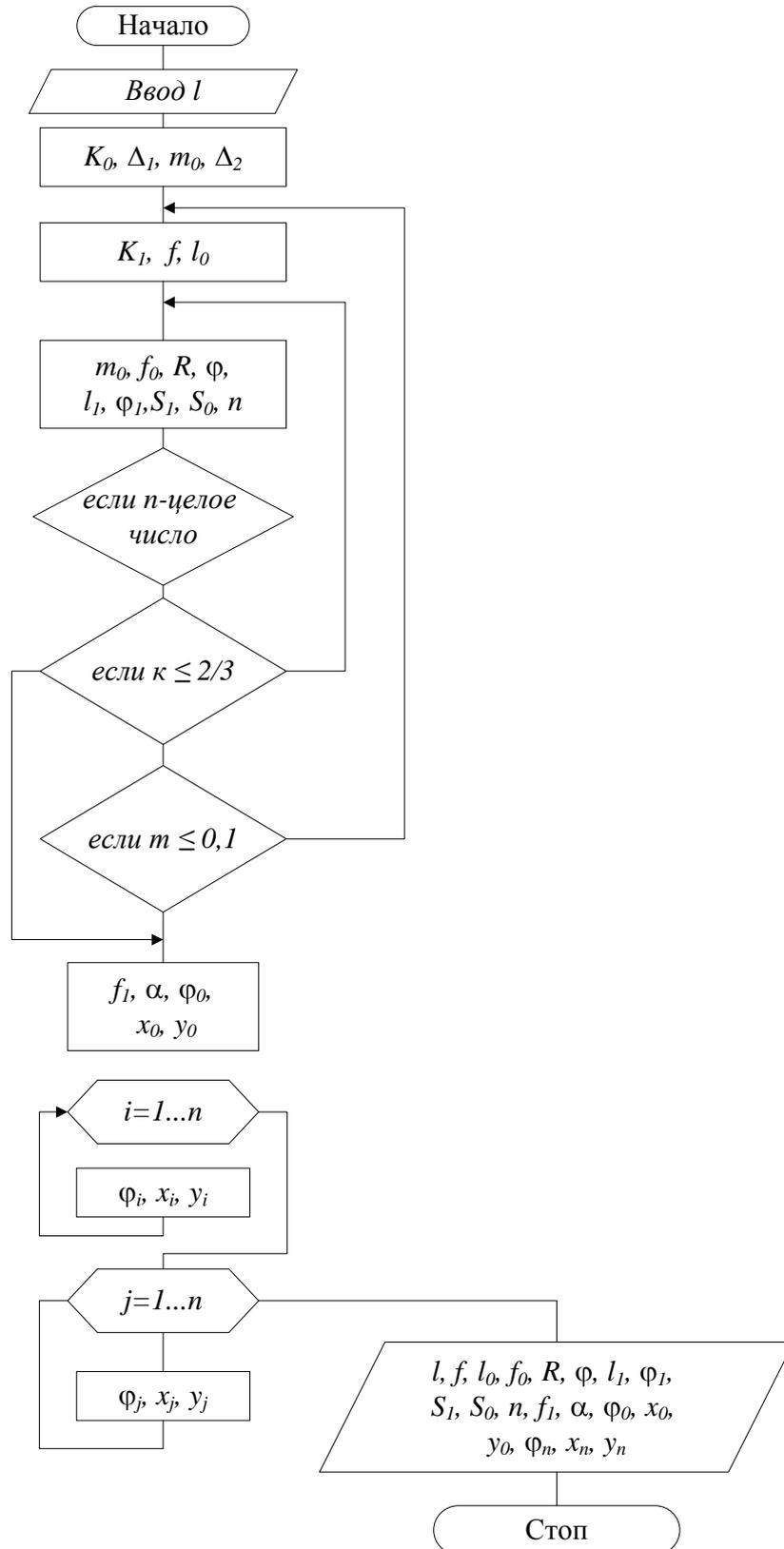


Рис. 2. Блок-схема

3.4. Определение нагрузок и их сочетаний

Нагрузки, действующие на арки, бывают распределёнными; постоянными и временными и сосредоточенными: вес подвесного технологического оборудования. Постоянная нагрузка складывается от собственного веса ограждающих конструкций g_n и собственного веса арки g_a , определяемых с учётом шага арок B . При криволинейных или ломаного очертания поверхностях погонная постоянная нагрузка принимается условно (в запас прочности) равномерно распределённой по длине пролёта, для чего её фактическое значение приводится к горизонтальной проекции путём умножения на отношение длины арки по оси к её пролёту $k = S_0 / l_0$. Погонным весом самой арки задаются предварительно, исходя из выражения:

$$g_a = \frac{g_n + P_{э\text{кв}} + S}{\frac{1000}{k_{CB}l} - 1},$$

где g_n - расчетная погонная нагрузка от покрытия;

$P_{э\text{кв}}$ - расчетная погонная эквивалентная нагрузка от постоянной части сосредоточенной нагрузки;

S - расчетная погонная снеговая нагрузка;

l - пролёт арки;

k_{CB} - коэффициент собственного веса, принимаемый по табл.1 данных указаний.

Полное расчетное значение снеговой нагрузки S на горизонтальную проекцию покрытия следует определить по формуле п. 5.1. [2]

$$S = S_g \cdot \mu,$$

где S_g - расчетное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, принимаемое в соответствии с табл. 4 [2];

μ - коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии [2] приложения 3*.

Ветровую нагрузку учитывают в арках при угле наклона более 20°. В расчётах она считается приложенной нормально к поверхности покрытия. Для упрощения расчётов стрельчатых и полигональных арок криволинейные и ломаные поверхности заменяются хордами, соединяющими концы полуарок, перпендикулярно к которым и считается приложенной ветровая нагрузка.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки W_m на высоте Z над поверхностью земли следует определять по п. 6.3. [2]:

$$w_m = w_0 k_c,$$

где w_0 - нормативное значение ветрового давления (см. п. 6.4. [2]);

k - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте (см. п.6.5. [2]);

c – аэродинамический коэффициент (см. п. 6.6. [2]).

Сосредоточение нагрузки P включает в себя: постоянные нагрузки от технологического оборудования с подвесными устройствами и временные нагрузки на нём (грузоподъёмность). Сосредоточенную постоянную нагрузку условно заменяют эквивалентной равномерно распределённой

$$P_{э\kappa\text{в}} = 4Pa/l^2,$$

где a - расстояние от опоры до точки приложения сосредоточенного груза в полуарке по оси X (рис. 3в). Положение k величина нагрузки от подвесного оборудования принимаются согласно заданию.

Расчёт на прочность арок производится при следующих сочетаниях расчетных нагрузок:

а) в пологих арках ($f < \frac{1}{3}l$):

1 – равномерно распределенные на всем пролете постоянная и снеговая и сосредоточенная нагрузки,

2 - равномерно распределенные постоянная на всем пролете, снеговая на половине пролета и сосредоточенные нагрузки,

3 - равномерно распределенные постоянная на всем пролете снеговая односторонняя, распределенная по треугольнику на половине пролета и сосредоточенные нагрузки.

б) в стрельчатых арках ($f \geq \frac{1}{3}l$):

1 - постоянная равномерно распределенная на всем пролете, снеговая распределенная равномерно или по треугольнику на участке, где касательные к оси образуют с горизонталью углы не более 50° , и сосредоточенные нагрузки;

2 - постоянная равномерно распределённая по всему пролёту, снеговая распределённая равномерно на $1/2$ участка и сосредоточенные нагрузки;

3 - ветровая нагрузка в сочетании с “1”;

4 - ветровая нагрузка в сочетании с “2”.

Примечание: I. Ветровая нагрузка учитывается в сочетаниях лишь в случае увеличения расчётных усилий не менее 15% по сравнению с сочетаниями “1” или “2”.

2. Загружение арок временными нагрузками на $1/2$ пролёта по схемам “2” или “4” необходимо, в основном, лишь для определения максимальных усилий N , Q в опорном и коньковом узлах.

3. При одновременном учете в сочетании не менее двух кратковременных нагрузок, их расчётные величины умножаются на коэффициент сочетаний $n_c = 0,9$.

3.5. Статический расчёт

Статический расчёт трёхшарнирных арок производится по общим правилам строительной механики, причем распор пологих двухшарнирных арок разрешается определять в предположении наличия шарнира в ключе. Опорные реакции арок состоят из вертикальных и горизонтальных составляющих, вертикальные реакции $V_{A(B)}$ определяют, как в однопролётной шарнирно опертой балке, из условия равенства 0 моментов в опорных шарнирах, а горизонтальные (распор) из условия равенства нулю моментов в коньковом шарнире. Расчётные усилия в любом сечении арки для произвольного положения равномерной нагрузки q определяют по формулам:

$$\begin{aligned}M_i &= V_{A(B)}x_i - H \cdot y_i - 0,5q(x_k - x_i)^2, \\N_i &= [V_{A(B)} - q(x_k - x_i)] \sin \beta_i + H \cos \beta_i, \\Q_i &= [V_{A(B)} - q(x_k - x_i)] \cos \beta_i - H \sin \beta_i,\end{aligned}$$

где x_k - абсцисса точки, где касательная к оси образует с горизонталью угол 50° .

Расчёты усилий целесообразно вести в табличной форме, определяя первоначально усилия от единичных нагрузок, расположенных на левой полуарке при всех возможных вариантах. Усилия при всех остальных типах загрузений, ввиду симметричности арок и нагрузок, определяются соответствующим суммированием единичных значений с умножением на переводные коэффициенты к действительной нагрузке. При этом изгибающие моменты M_i определяют для всех сечений, на которые разбита арка, с построением эпюр. Продольные и поперечные силы определяют обязательно в узлах и сечениях, где действуют $\pm M_{max}$.

В арках треугольного очертания для уменьшения $M_{расч}$ нормальные усилия в узлах прикладываются с отрицательным эксцентриситетом, создающим разгружающий момент $M_N = N \cdot e$, откуда $M_{расч} = M_q - M_N$ (рис.4). Величина e принимается согласно п.3.1. данных указаний. В арках криволинейного и ломанного очертания узлы решаются центрировано, а разгружающий момент в элементах создается за счет их кривизны.

3.5.1. Выполнение статического расчета клееных арок по программе «SKAD»

Для выполнения статического расчета арки в программном комплексе «SCAD Office» целесообразно предварительно вычертить расчетную схему арки в соответствии с пунктом 3.2. в САПР «AutoCAD». Затем файл с вычерченной расчетной схемой арки необходимо импортировать в программный комплекс «SCAD Office». При импорте и расчете модели следует учесть следующие особенности программного комплекса:

- Файл формата *dwg* или *dxf* должен быть сохранен в версии не выше версии AutoCAD 2004, ввиду того, что программный комплекс «SCAD Office» не может импортировать файлы более поздних версий;

- При задании идентификационных данных проекта необходимо принять тип расчетной схемы 2 «плоская рама»;

- Жесткости стержневых элементов сечений арки задаются при помощи параметрических сечений; также необходимо обратить внимание на свойства материала (модуль упругости, плотность, коэффициент Пуассона) арки.

Подробно методика расчета описана в [7, 8, 9].

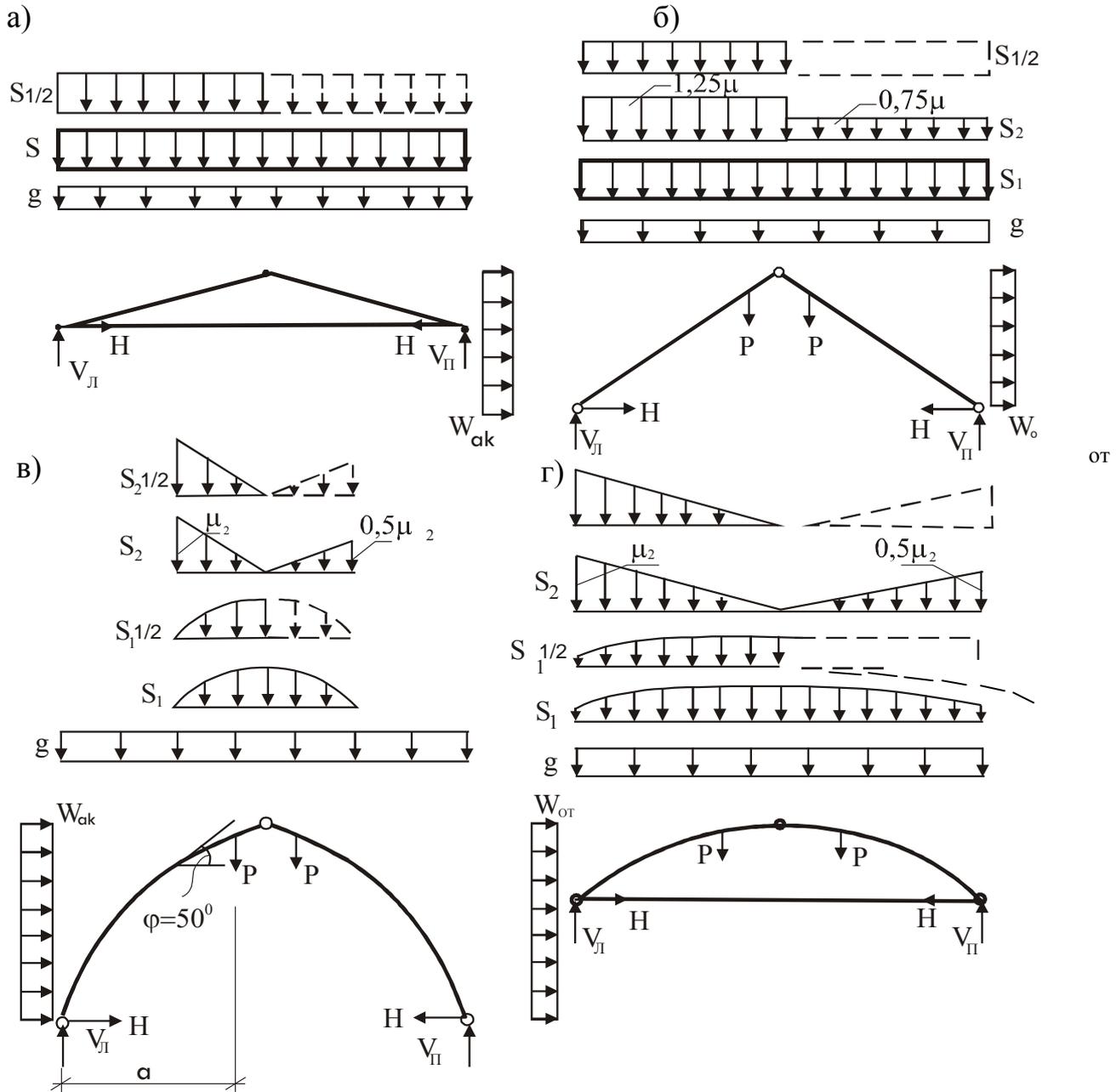


Рис. 3. Сочетания нагрузок при расчете арок:

а) пологая треугольная; б) высокая треугольная;

в) стрельчатая; г) сегментная: *g* - постоянная нагрузка; *S* - снеговая нагрузка;

P - от веса подвесного оборудования, *W_{ак}*, *W_{от}* - ветровая нагрузка

3.6. Подбор поперечного сечения, проверки прочности и устойчивости арок

Арки рассчитываются как сжато-изгибаемые элементы в соответствии с п. 4.17 [1]. Предварительное назначение размеров поперечного сечения осуществляется по рекомендациям табл. 1 и с учетом вычисленной величины M_{max} при условно пониженном расчетном сопротивлении - $0,8R_{II}$. Задаваясь шириной сечения b , согласно сортаменту и припуску на боковую острожку, требуемая высота сечения определяется из выражения:

$$h^{TP} = \sqrt{6M_{max} / 0,8R_{II}b}.$$

А из условия обеспечения поперечной устойчивости сечения рекомендуется, чтобы $h/b \leq 6$. По полученным геометрическим характеристикам поперечного сечения осуществляется проверка прочности: - по нормальным напряжениям в месте максимального изгибающего момента

$$\sigma_{II} = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M}{\xi W_{расч}} \leq R_{II} m_i,$$

где $F_{расч}, W_{расч}$ - площадь и момент сопротивления расчетного сечения нетто,
 ξ - коэффициент, учитывающий увеличение момента от воздействия продольной силы на деформированный элемент,

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c m_i F_{бр}},$$

$F_{бр}$ - площадь расчетного сечения брутто,

$\varphi = 3000 / \lambda^2$ - коэффициент продольного изгиба арки, определяемый согласно п. 6.26 [1] при расчетных длинах:

$l_0 = 0,35S$ - для двухшарнирных при симметричной нагрузке,

$l_0 = 0,58S$ - для трехшарнирных при всех видах нагрузок,

$l_0 = 0,5S$ - то же, для стрелчатых и полигональных с углом перелома в ключе более 10^0 ;

m_i - коэффициенты, принимаемые по 3.2. [1].

Арки рассчитываются также на устойчивость плоской формы деформирования согласно п. 1.18 [1] по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_y R_c F_{бр}} + \left(\frac{M}{\varphi_M \xi R_{II} W_{бр}} \right) \leq 1,$$

где $F_{бр}, W_{бр}$ - площадь и момент сопротивления максимальные на участке арки l_p ;

l_p - расстояние между точками закрепления концов полуарки, а при наличии вертикальных связей, раскрепляющих сжатую кромку, расстояние между ними;

$\varphi_y = 3000 / \lambda_y^2$ - коэффициент продольного изгиба из плоскости участка полуарки расчетной длиной l_p ,

$\lambda_y = l_p / 0,289b$ - гибкость из плоскости участка арки длиной l_p ;

$\varphi_M = 140k_\phi b^2 / hl_p$ - коэффициент изгиба из плоскости от изгибающего момента на участке l_p ,

k_ϕ - коэффициент, зависящий от формы эпюры M на участке l_p , определяемый по табл. 2. прил. 4 [1].

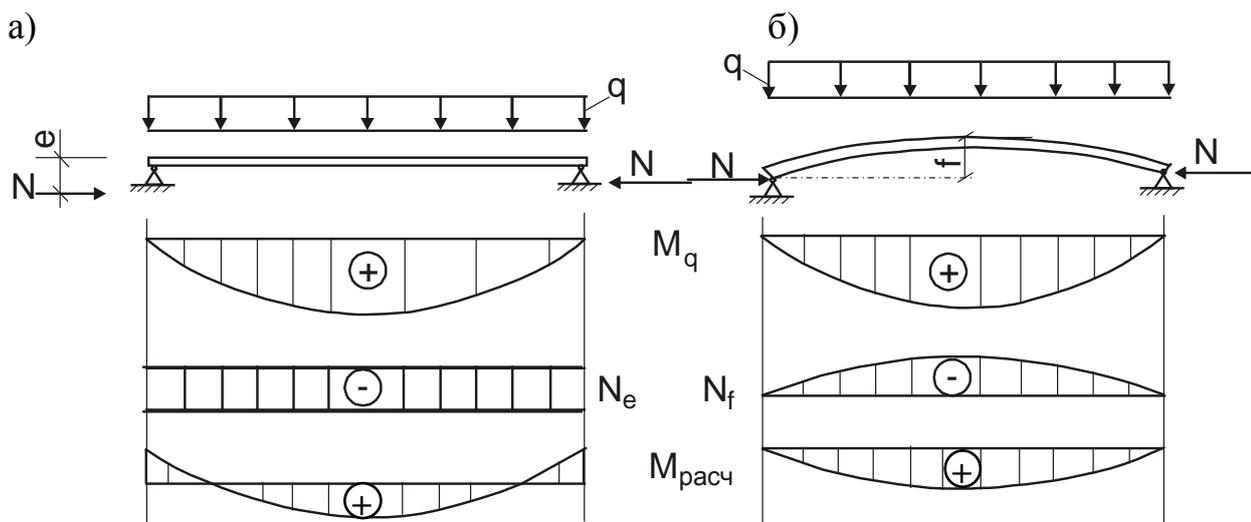


Рис. 4. Расчетные схемы элементов арок:
а) треугольных; б) сегментных, стрельчатых

В арках в зависимости от направления изгибающего момента на участке l_p имеет место 2 случая раскрепления:

- при «+М» - сжатой кромки ($n = 2$);
- при «-М» - растянутой кромки ($n = 1$).

В первом случае при сплошном раскреплении сжатой кромки, когда $l_p < 70b^2 / h$, расчет на устойчивость может не производиться. Во втором же случае раскрепления – $\varphi_y \cdot k_{ПН}$, $\varphi_M \cdot k_{ПМ}$;

где

$$k_{ИИ} = 1 + \left[0,75 + 0,06 \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 + 0,6\alpha_p \frac{l_p}{h} - 1 \right] \frac{m^2}{m^2 - 1},$$

$$k_{ИМ} = 1 + \left[0,142l_p / h + 1,76h / l_p + 1,4\alpha_p - 1 \right] \frac{m^2}{m^2 - 1},$$

h - максимальная высота поперечного сечения на участке l_p ;

α_p - центральный угол в радианах, определяющий участок l_p ;

m - число подкреплений из плоскости точек растянутой кромки на участке l_p (при $m \geq 4$ $m^2 / m^2 - 1 = 1$).

При расчете арок с переменной высотой сечения, не имеющих закреплений по растянутой от М кромке, все расчеты выполняются путем приведения, т.е. $\varphi_Y \cdot k_{ЖН}$, а $\varphi_M \cdot k_{ЖМ}$. Коэффициенты $k_{ЖН}$ и $k_{ЖМ}$ приведены в табл. 1, 2 прил.4[1]. Если же имеются раскрепления растянутой кромки с $m \geq 4$, то $k_{ЖН} = k_{ЖМ} = 1$.

4. Обеспечение пространственной устойчивости зданий и сооружений

Плоскостные несущие арочные деревянные конструкции рассчитываются на нагрузки, действующие в плоскости их наибольшей жесткости (рабочей плоскости). Горизонтальные нагрузки, направленные перпендикулярно продольной оси здания, обычно воспринимаются стенами (или колоннами), а в зданиях с несущими конструкциями в виде арок, опирающихся непосредственно на фундаменты, – самими этими конструкциями. Горизонтальные нагрузки, действующие вдоль оси здания (ветровой напор, продольные инерционные силы торможения кранов и др.), должны восприниматься системой связей.

Таким образом, в зданиях и сооружениях плоскостные несущие конструкции при помощи связей в продольном направлении объединяются в общую систему, которая доводится до неподвижных частей (фундаментов) зданий и сооружений. Эта система должна обеспечивать пространственную неизменяемость, устойчивость, прочность и жесткость конструкций от воздействия внешних сил любого направления при расчетном (наиболее невыгодном) сочетании нагрузок. Для восприятия связевой системой этих нагрузок необходимо надежное взаимное крепление элементов связей между собой и с несущими конструкциями.

По конструктивным особенностям различают связи: горизонтальные (скатные) – с раскосной или крестовой решеткой (рис. 4), вертикальные (наклонные) – в виде связевых ферм или распорок (рис.5,6). При шаге несущих конструкций до 3м предпочтительнее конструировать связи деревянными (из брусьев или досок), при шаге несущих конструкций более 3 м связи выполняют из стальных элементов (уголков, тяжей, труб) или клееных деревянных элементов [1,3].

Связевая система покрытия образуется из горизонтальных (поперечных) связей в плоскости верхних граней стропильных конструкций и вертикальных связей-распорок между ними, работающих на растяжение или сжатие. В качестве условных поясов поперечных связевых ферм используются верхние и нижние части поперечного сечения несущих конструкций. Блоки связей (поперечных и вертикальных) располагаются в торцовых секциях (при пролетах более 18 м рекомендуется делать спаренные блоки в двух секциях подряд), а также через 21-30 м по длине здания или сооружения.

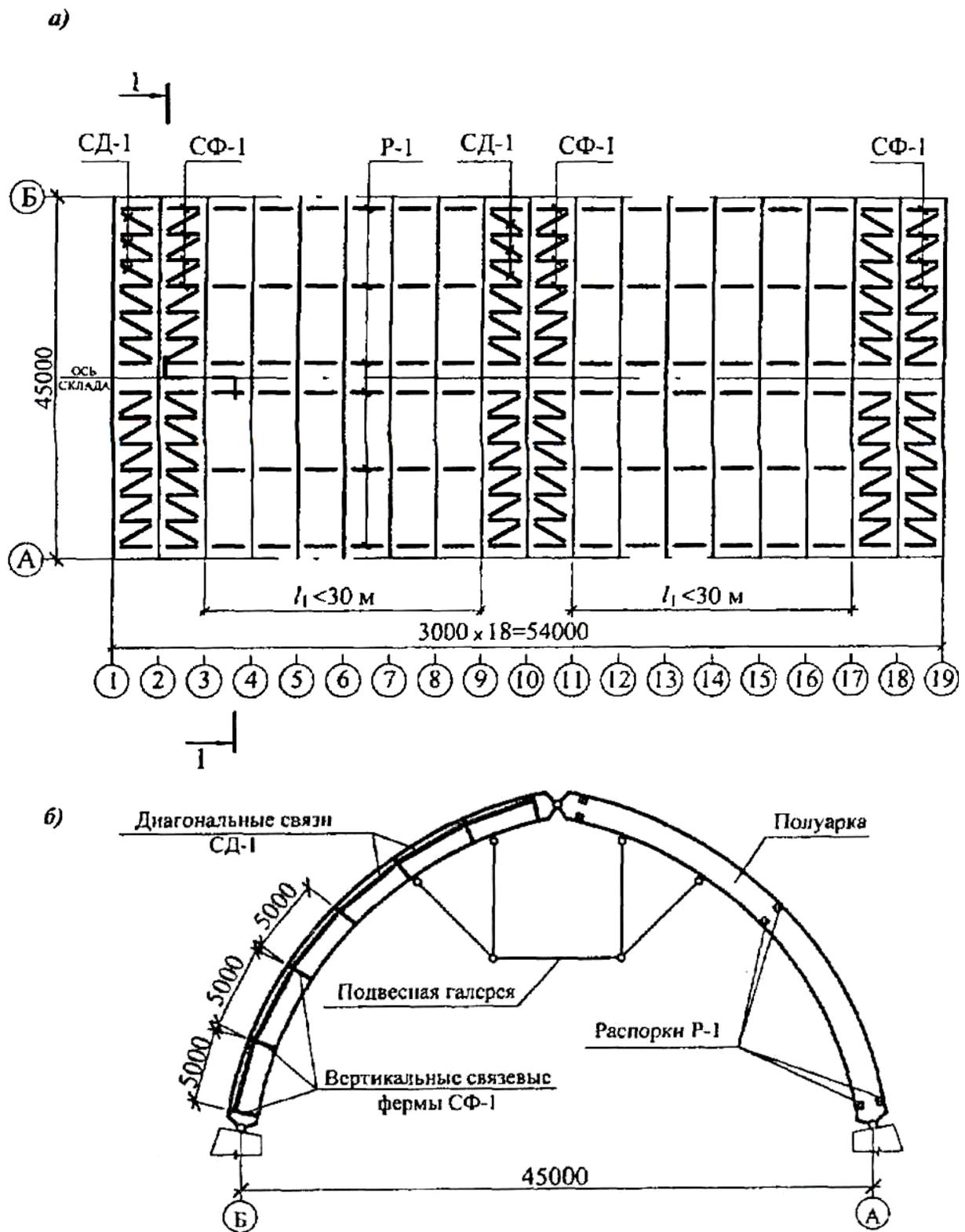
В зданиях с кирпичными или железобетонными торцевыми стенами, способными воспринимать ветровые нагрузки, блоки связей устраивают во второй от торца секции.

В плоскости кровли роль продольных элементов связей могут выполнять прогоны или продольные ребра плит покрытия при соответствующем их креплении к несущим конструкциям. Включение прогонов и плит в обеспечение пространственной жесткости покрытия возможно только при условии обеспечения восприятия усилий, возникающих в местах их крепления к стропильным конструкциям.

Однако существующие способы крепления прогонов и плит покрытия к несущим деревянным конструкциям (на болтах, глухарях, штырях, гвоздях и других податливых связях, которые в процессе эксплуатации из-за коррозии, неплотной постановки и другим причинам не гарантируют надежности соединений) не позволяют рекомендовать учитывать эти элементы ограждающих конструкций в общей системе связей.

Продольные вертикальные или наклонные связи-распорки устраиваются в арочных конструкциях для предотвращения выхода сжатой кромки из рабочей плоскости, если ее устойчивость не обеспечена без промежуточного раскрепления.

Ширина панелей поперечных связевых ферм принимается равной шагу несущих конструкций. Шаг вертикальных (наклонных) связей-распорок, устраиваемых для раскрепления сжатой кромки арок или рам из плоскости наименьшей жесткости, определяется из условия обеспечения устойчивости плоской формы деформирования сжато-изгибаемых элементов.



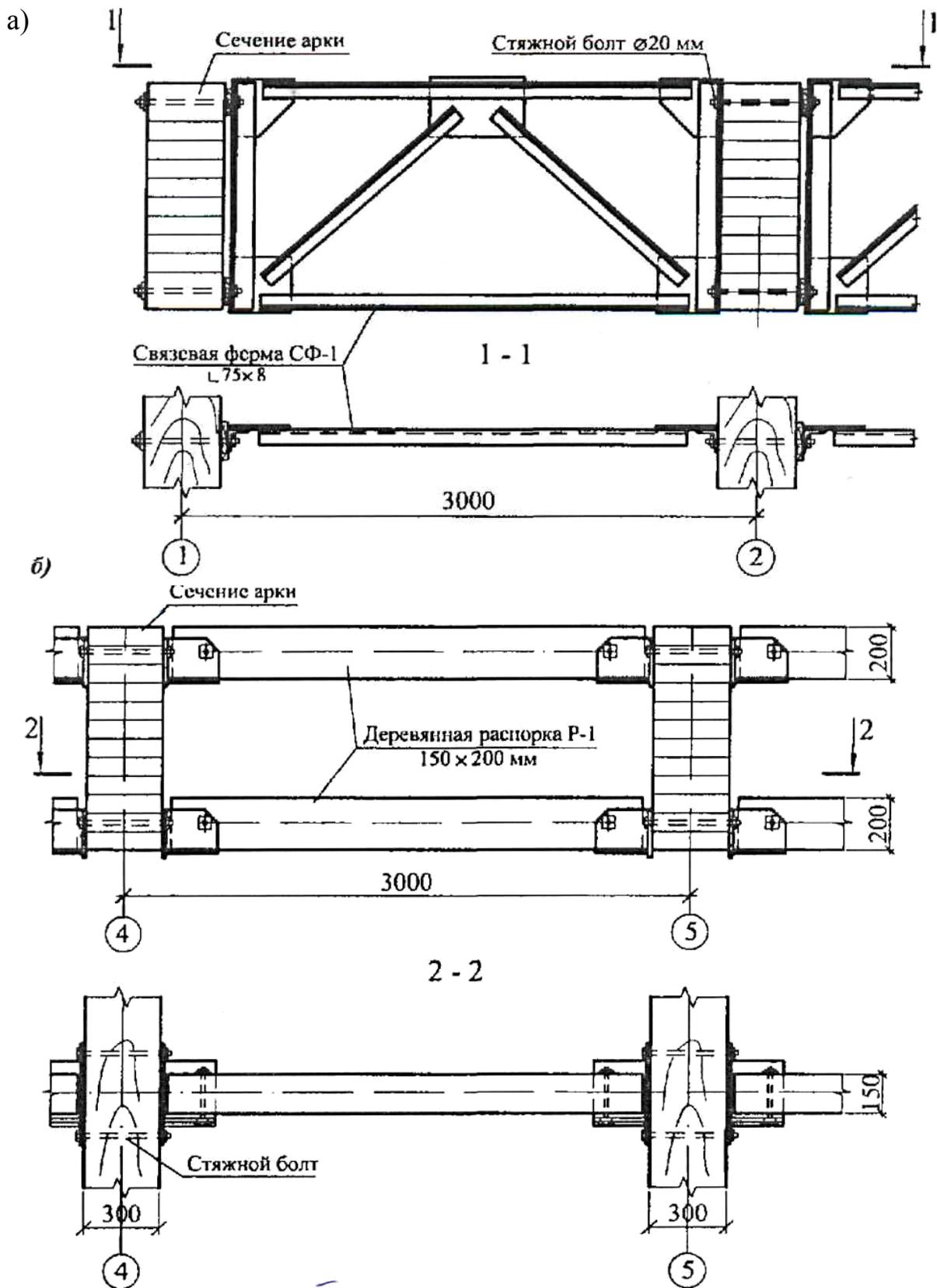


Рис. 6. Узлы крепления связей к аркам:
 а – крепление вертикальной связевой фермы СФ-1 из уголков;
 б - крепление деревянных распорок

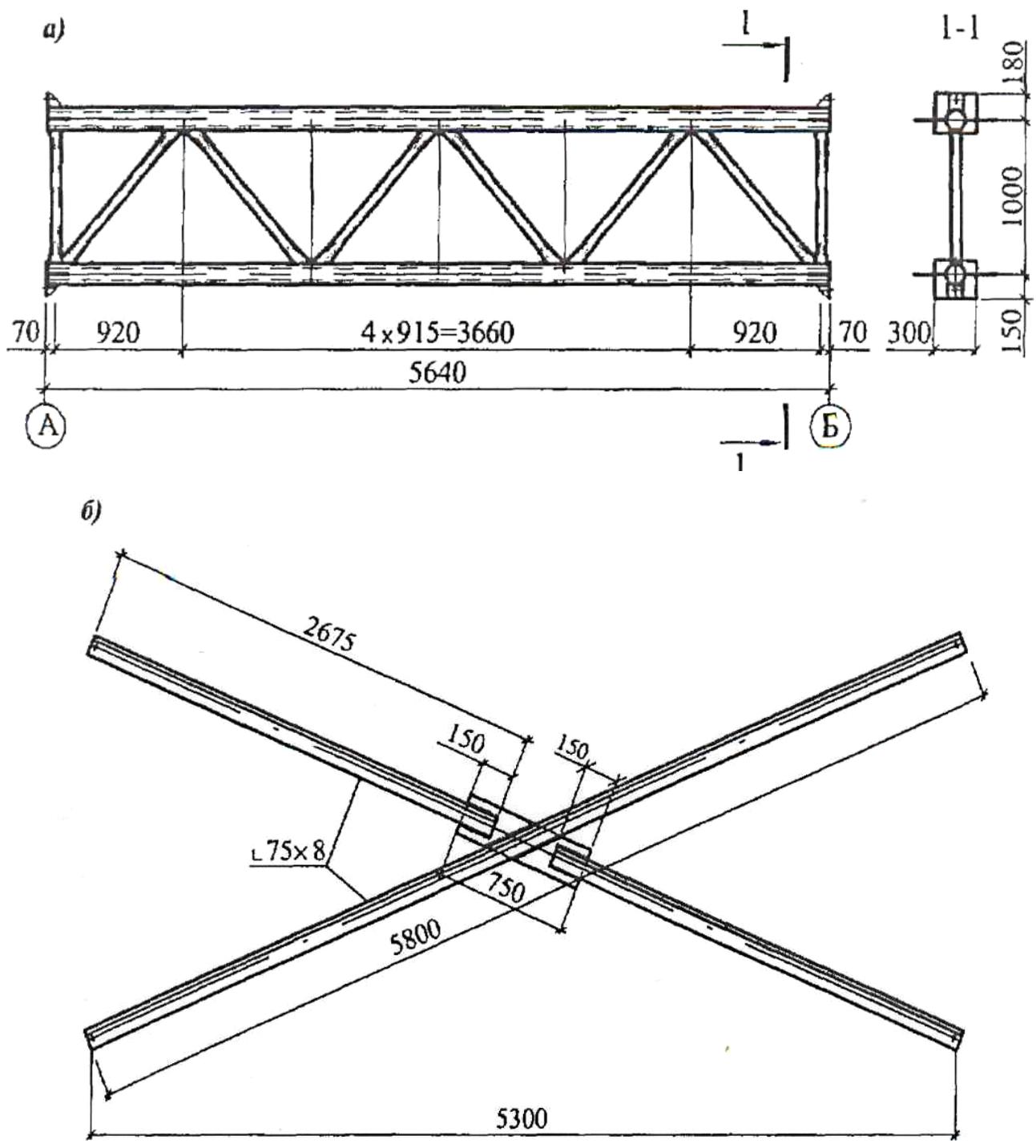


Рис. 7. Варианты устройства вертикальных связей-распорок:
 а - вертикальная связевая ферма СФ-2 из труб;
 б - крестовая связь СК-1 из уголков
 сварка стальных элементов условно не показана)

4.1. Расчет связей

Расчет связевой системы производится на горизонтальные нагрузки, действующие вдоль здания или под произвольным углом к нему. Эти нагрузки складываются из внешних воздействий (ветра, сеймики, тормозных усилий кранов и т.д.) и внутренних усилий, возникающих от вертикальных нагрузок на несущие конструкции при возможных отклонениях поперечных сечений последних от вертикали при монтаже, а также вследствие возможных начальных деформаций элементов из плоскости наибольшей жесткости. Эти отклонения не должны превышать величин, регламентируемых СНиП на производство и приемку строительно-монтажных работ. В процессе эксплуатации конструкций отклонения и деформации конструкций изменяются, как правило, в сторону увеличения.

Величины внешних горизонтальных нагрузок принимаются по СНиП [2] и распределяются поровну между всеми связевыми поперечными фермами и устойчивыми (жесткими) торцовыми стенами.

Горизонтальная нагрузка от внутренних усилий для поперечных связевых ферм является внешней и определяется от каждой несущей конструкции по формуле

$$q_{Г.В} = k_{CB} q_B,$$

где q_B - расчетная вертикальная равномерно распределенная нагрузка на 1 м горизонтальной проекции конструкции покрытия (нагрузки другого вида приводится к эквивалентной равномерно распределенной нагрузке по всему пролету конструкции);

k_{CB} - коэффициент, зависящий от вида и геометрических параметров несущих конструкций: для пологих арок с $f/l \leq 1/6$ $k_{CB} = 0,02$; для арок $f/l \geq 1/3$ $k_{CB} = 0,01$ (для арок с $1/6 < f/l < 1/3$ величина k_{CB} определяется по интерполяции).

Суммарная расчетная нагрузка на каждую поперечную связевую ферму определяется по формуле

$$q = (q_G + q_{Г.В} n) / t,$$

где q_G - внешняя горизонтальная нагрузка в продольном направлении, вызываемая ветровым напором, торможением кранового оборудования и т.п.;

n - общее число несущих конструкций в данном пролете здания;

t - общее число поперечных связевых ферм, включая торцовые стены.

При определении суммарных нагрузок на связевые фермы, возникающих от ветра, тормозных усилий кранов и внутренних усилий, а также при проверке основных несущих конструкций на совместное действие вертикальных и гори-

горизонтальных нагрузок, временные нагрузки вводятся в расчетное сочетание с коэффициентом 0,9.

По полученным по формуле значениям суммарной расчетной равномерно распределенной нагрузки q определяются узловые нагрузки P для поперечных связевых ферм по формуле

$$P = qS_{CB},$$

где S_{CB} - горизонтальная проекция длины панели поперечной связевой фермы или расстояние между точками крепления связей-распорок к несущим конструкциям. Поперечные связевые фермы, устанавливаемые в уровне покрытий по пологим аркам, рассчитываются как обычные фермы, имеющие пролет, равный развертке скрепляемых решеткой поясов несущих конструкций, с узловым приложением нагрузки.

Связевые фермы, устраиваемые в уровне покрытий по высоким аркам, рассчитываются как пространственные системы, состоящие из поясов двух соседних конструкций, соединенных решетчатыми связями.

При использовании в качестве несущих конструкций шпренгельных систем вертикальные связи должны раскреплять их растянутый пояс. Расчет продольных вертикальных связей, раскрепляющих растянутый пояс шпренгельных систем, следует производить на нагрузки, определяемые по формуле

$$P_{III} = 0,01V,$$

где V - расчетные сжимающие усилия в стойках шпренгельных систем, соединяемых связями.

Расчет продольных вертикальных связей-распорок, раскрепляющих внутреннюю сжатую кромку рам или арок, производится на усилия, определяемые по формуле

$$P_P = 0,015qS_P,$$

где S_P - горизонтальная проекция расстояния между продольными распорками.

Конструктивный расчет элементов связевых ферм и вертикальных связей-распорок ведется по известным формулам для сжатых и растянутых стержней. Практически во многих случаях сечения элементов связей назначаются по конструктивным соображениям, при этом предельная гибкость элементов должна быть не более 200.

Стойки фахверка или конструкции самонесущей торцевой стены должны передавать ветровую нагрузку в узлы поперечной связевой фермы, затем через вертикальные связи-распорки, расположенные в этих узлах, на колонны каркаса и на фундамент.

В современных проектах каркасных зданий деревянные конструкции преимущественно применяются в покрытиях, а колонны (стойки) выполняются стальными или железобетонными. Постановка и расчет связей по таким колоннам производится по соответствующим правилам для стальных или железобе-

тонных конструкций. Связи между колоннами каркаса устраиваются в тех же секциях, что и связи по покрытию.

Библиографический список

1. Строительные нормы и правила. Деревянные конструкции: СНиП II-25-80: утв. Госстроем СССР 18.12.80 № 198: взамен СНиП II-А.4-71: введ. 01.01.82. – М.: ГУП ЦПП, 2004. – 29 с.

2. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85*: утв. Гос. ком. СССР по делам стр-ва 29.08.85 № 135: введ. в д. 01.01.87: взамен гл. СНиП II-6-74 / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003 . – 42 с.

3. Строительные нормы и правила: СНиП II-23-81*: утв. Гос. строит. ком. СССР 14.08.81 г. № 144: взамен СНиП II-8.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67. Ч. 2 : Нормы проектирования, гл. 23: Стальные конструкции. – М. : Мин-во стр-ва РФ, 1995. – 48 с.

4. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Пожарная безопасность зданий и сооружений: СНиП 21-01-97*: взамен СНиП 2.01.02-85*]. – СПб. : Деан, 2005. – 47 с.

5. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. пособие / Г.Н. Зубарев, Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина и др.; под ред. Ю.Н. Хромца. – М.: Academia, 2004. - 303 с.

6. Расчет конструкций из дерева и пластмасс: учеб. пособие/ Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, Э.М. Улицкая; под ред. Ф.А. Бойтемирова. – М.: Academia, 2007. – 160 с.

7. Использование программно-вычислительного комплекса "SCAD Office" для расчета плоских рам методом конечных элементов: метод. указания для выполнения расчетов строит. конструкций на ЭВМ в рамках курсового и диплом. проектирования: ИСФ: специальности: 270102, 270105/ [сост. Н. М. Дементьев]. – Вологда: ВоГТУ, 2006. – 20 с.: ил.

8. Использование программно-вычислительного комплекса "SCAD Office" для расчета плоских ферм методом конечных элементов: метод. указания для выполнения расчетов строит. конструкций на ЭВМ в рамках курсового и диплом. проектирования: ИСФ: специальности: 270102, 270105/ [сост. Н. М. Дементьев]. – Вологда: ВоГТУ, 2006. –16 с.: ил.

9. Семенов, А. А. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Часть I. Статический счет: учебное пособие / А. А. Семенов, А. И. Габитов. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 152 с.

Приложение

Таблица 1

Сортамент пиломатериалов хвойных пород по ГОСТ 24454-80

Толщина	Ширина								
	рекомендуемая				допускаемая				
16	75	100	125	150	-	-	-	-	-
19	75	100	125	150	175	-	-	-	-
22	75	100	125	150	175	200	225	-	-
25	75	100	125	150	175	200	225	250	275
32	75	100	125	150	175	200	225	250	275
40	75	100	125	150	175	200	225	250	275
44	75	100	125	150	175	200	225	250	275
50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
60	75	100	125	150	175	200	225	250	275
75	75	100	125	150	175	200	225	250	275
100	-	100	125	150	175	200	225	250	275
125	-	-	125	150	175	200	225	250	-
150	-	-	-	150	175	200	225	250	-
175	-	-	-	-	175	200	225	250	-
200	-	-	-	-	-	200	225	250	-
250	-	-	-	-	-	-	-	250	-

Таблица 2

Спецификация

15	15	35	20	10	10	15	15	15	35
Отпр. марка	Сбор. марка	Сечение	Длина, мм	Кол-во		Масса, кг			Примечание
						1 шт.	общ.	элемент.	

Таблица 3

Толщина слоя, мм	19 и менее	26	33	42
Коэффициент $m_{сл}$	1,1	1,05	1	0,95

Таблица 4

Высота сечения, см	50 и менее	60	70	80	100	120 и более
Коэффициент $m_{б}$	1	0,96	0,93	0,90	0,85	0,8

Рекомендуемый сортамент стальных болтов и тяжей

Диаметр, мм		Площадь сечения, см ²		Размеры шайб стяжных болтов, мм
по стержню	по нарезке	по стержню	по нарезке	
12	9,7	1,13	0,74	45x45x4
16	13,4	2,01	1,41	55x55x4
20	16,7	3,14	2,18	70x70x5
24	20,1	4,52	3,16	90x90x7
27	23,1	5,72	4,18	100x100x8
30	25,4	7,06	5,06	-
36	30,8	10,17	7,44	

Содержание

Введение	3
1. Содержание курсового проекта	3
1.1. Расчетно-пояснительная записка	3
1.2. Графическая часть	3
1.3.Задание на курсовой проект	4
2. Проектирование ограждающих конструкций	4
3. Основные положения по проектированию арок	4
3.1. Классификация клееных деревянных арок	4
3.2. Геометрический расчет арок	7
3.3. Выполнение геометрического расчета клееных арок на ПК	10
3.4. Определение нагрузок и их сочетаний	11
3.5. Статический расчет	13
3.5.1. Выполнение статического расчета клееных арок по программе «SRAD»	13
3.6. Подбор поперечного сечения, проверки прочности и устойчивости арок	15
4. Обеспечение пространственной устойчивости зданий и сооружений	17
4.1. Расчет связей	22
Библиографический список	24
Приложение	25

Подписано в печать 31.08.2011.	Усл. печ. л. 1,7	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ №	_____.

Отпечатано: РИО ВоГТУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15