

**МПС РОССИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

24/21/7

**Одобрено кафедрой
«Здания и сооружения
на железнодорожном транспорте»**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВ

**Задание на курсовой проект № 3
«РАСЧЕТ МОСТА БОЛЬШОГО ПРОЛЕТА»
с методическими указаниями
для студентов VI курса**

специальности

291100. МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ (МТ)

специализации 291101. МОСТЫ



Москва – 2003

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Согласно программе студенты VI курса специальности «Мосты и тоннели» специализация «Мосты» изучают следующие разделы дисциплины «Проектирование мостов»:

Висячие и вантовые мосты. Область применения висячих и вантовых мостов, основные их типы и конструктивные формы, выбор схем, основных размеров и конструкций мостов и их расчет.

Разводные мосты. Общие сведения о разводных мостах, основные их виды, конструкция пролетных строений, схемы механизмов разводимых мостов, расчет мостов.

Студенты должны выполнить курсовой проект моста большого пролета (висячего или вантового) по настоящему заданию, защитить его и сдать экзамен по указанным разделам дисциплины. По согласованию с преподавателем студенты могут выполнить проект моста другой сложной системы (рамной, арочной, комбинированной и т.п.) или разводного моста.

Расчет висячего или вантового моста производится на ЭВМ в РГОТУПС.

Требования к оформлению проекта и порядку его исправления такие же, как и к ранее выполненным проектам по дисциплине «Проектирование мостов».

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ МОСТА БОЛЬШОГО ПРОЛЕТА

Тема проекта

Автодорожный висячий или вантовый стальной мост через глубокое препятствие.

Исходные данные

Исходные данные для проекта принимают по табл. 1 по варианту, номер которого совпадает с последней или предпоследней цифрой шифра студента. При однозначном шифре исходные данные принимают для одного и того же варианта, номер которого совпадает с цифрой шифра.

Содержание проекта

Проект должен состоять из расчетно-пояснительной записки объемом 15–20 с, и одного листа чертежей.

Состав расчетно-пояснительной записки:

1. Схема моста с основными размерами.
2. Нагрузки на мост.
3. Геометрические характеристика сечения элементов моста.
4. Определение усилий в элементах моста.
5. Проверочные расчеты элементов моста.
 - 5.1. Кабели и ванты.
 - 5.2. Элементы проезжей части.
 - 5.3. Балка жесткости.
 - 5.4. Пилон.

На чертеже должна быть изображена конструкция моста.

Таблица 1

Исходные данные для проектирования

Наименование	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
Тип моста	Висячий					Вантовый				
Габарит приближения конструкции (см. прил.1)	Г-6,5	Г-8	Г-10	Г-11,5	Г-6,5	Г-8	Г-10	Г-11,5		
Количество пролетов в мосте	Один		Три		Два		Три			
	Предпоследняя цифра шифра									
Разбивка моста на пролеты, м	20	30	35		40	45	50	45		
	120	140	160		180	200	200	190		
	20	30	35		40	45	50	45		
Материал и балки жесткости и пилон	15ХСНД					10ХСНД				

Примечания:

1. Для однопролетного моста принимают наибольший пролет. Для двухпролетного моста принимают один меньший и один больший пролеты из заданных.

2. Временная подвижная нагрузка от подвижного состава — полосы автотранспортных средств АК (К-11).

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА МОСТА

1. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ВИСЯЧЕГО ИЛИ ВАНТОВОГО МОСТА

На листе миллиметровой бумаги шириной 247 мм и длиной 420, 630 или 841 мм вычерчивают фасад моста в масштабе 1:200 ÷ 1:500 и его поперечный разрез в масштабе 1:100 ÷ 1:200. Тип моста, количество и величину пролетов, а также габарит приближения конструкций принимают по табл. 1. На фасаде проставляют величины расчетных пролетов, возвышение пилонов над уровнем проезжей части, расстояние между подвесками, углы наклона береговых оттяжек и вант, расстояния между точками закрепления вант по балке жесткости и пилону, высоту балки жесткости.

На поперечном разрезе показывают сечение балки жесткости, вид на пилон и расположение несущих кабелей или плоскостей вант. На разрезе проставляют ширину проезжей части, защитных полос, тротуаров, общую ширину и высоту балки жесткости, расстояния между осями стоек пилона, высоту пилона и его частей, размеры сечений стоек пилона.

Части опор моста, находящиеся ниже уровня опирания пилона, а также устои разрешается не разрабатывать, ограничиваясь изображением их контуров. Поперечное сечение водного препятствия показывают контуром берегов.

Основные размеры висячего моста (рис. 1.)

Наибольшее распространение имеют однопролетные (рис. 1, а, б, в) висячие мосты и симметричные трехпролетные с крайними пролетами, не подвешенными к кабелю, при $l_1 : l < 1 : 4$ (рис. 1, г), или с крайними пролетами, подвешенными к кабелю, при $1 : 4 \leq l_1 : l \leq 1 : 2$ (рис. 1, д).

При больших пролетах принимают меры по увеличению жесткости моста и уменьшению изгибающих моментов в балке путем: закрепления кабеля к балке посередине пролета (рис. 1, б); применения наклонных подвесок (рис. 1, в); введе-

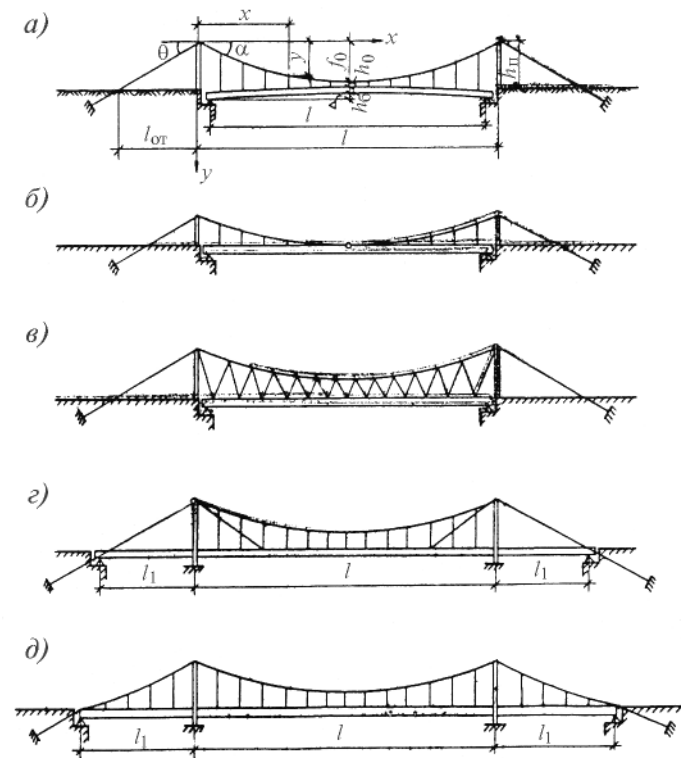


Рис. 1. Типы висячих мостов:

а — однопролетный; б — однопролетный с закрепленным к балке жесткости кабелем; в — однопролетный с наклонными подвесками; г — трехпролетный с дополнительными вантами; д — трехпролетный

ния дополнительных вант (рис. 1, г). Как правило, распор висячего моста передается на грунт, что облегчает балку и обеспечивает возможность навесного монтажа.

Отношение стрелы провеса кабеля к пролету $f_0 : l = 1 : 8 \div 1 : 12$. С увеличением стрелы провеса уменьшается усилие в кабеле, но возрастает деформативность моста. Возвышение кабеля посередине пролета над балкой жесткости $h_0 = (0,2 - 0,1)f_0$, но не менее 3 м. Стрела подъема продоль-

ного профиля проезда из условия компенсации прогиба от временной нагрузки, изменения температуры и ползучести канатов $\Delta = (1 : 200)l$.

Очертание кабеля висячего моста принимают по квадратной параболе. Ординаты верхних узлов подвесок можно вычислить по формуле

$$y = \frac{4f_0}{l^2}x(l-x),$$

где x — абсцисса (расстояние от пилона до узла подвески).

Ось абсцисс в этом случае принимают проходящей через вершины пилонов.

Высота пилона $h_n = f_0 + h_0 + \Delta$.

Тангенс угла наклона береговой оттяжки к горизонту

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{4f_0}{l}.$$

При таком угле наклона максимальные усилия в кабеле и оттяжке одинаковы, улучшаются условия работы пилона. Отношение высоты балки жесткости к пролету $h_0 : l = 1 : 80 \div 1 : 200$. С увеличением пролета относительная высота балки, как правило, уменьшается. В многопролетных мостах балки жесткости делают неразрезными. Расстояние между вертикальными подвесками равно 10–20 м.

Основные размеры вантового моста (рис. 2).

Двухпролетные вантовые мосты имеют, как правило, один пилон, а трехпролетные — два. В зависимости от числа вант, расположенных с одной стороны пилона, мосты могут быть с малым числом (одна-четыре) вант (см. рис. 2, *а, б, г, д*) и многовантовые с большим числом вант (см. рис. 2, *в, е*). В зависимости от расположения вант мосты могут быть: с радиально расположенными вантами — тип «пучок» (см. рис. 2, *а, г*); с параллельными вантами — тип «арфа» (см. рис. 2, *д*); с ярусным расположением и непараллельными вантами — тип «веер» (см. рис. 2, *б, в, е*) и др.

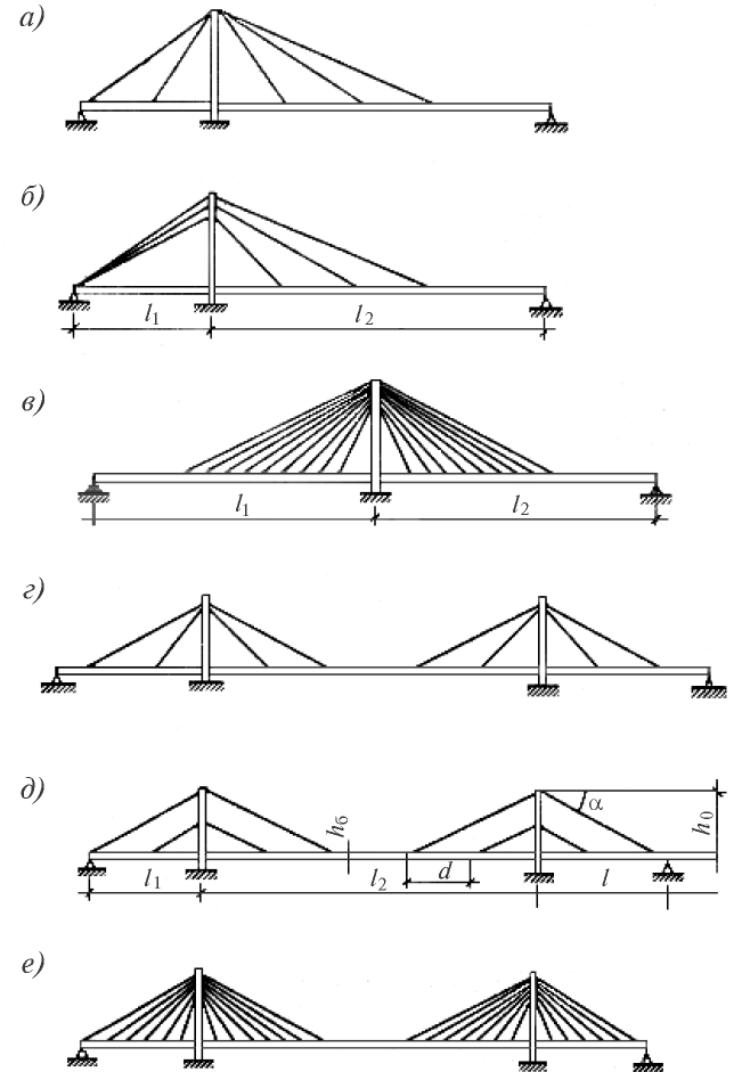


Рис. 2. Типы вагонных мостов:

а — двухпролетный однопилонный трехвантовый «пучок»; *б* — двухпролетный однопилонный трехвантовый «веер»; *в* — двухпролетный однопилонный многовантовый «веер»; *г* — трехпролетный двухпилонный двухвантовый «пучок»; *д* — трехпролетный двухпилонный двухвантовый «арфа»; *е* — трехпролетный двухпилонный многовантовый «веер»

Увеличение числа вант способствует уменьшению массы балки жесткости, упрощению и унификации конструкции узлов закрепления вант и возможности ведения навесного монтажа моста. При расположении вант по типу «пучок» усложняется конструкция крепления вант в одной точке — вершине пилона, но обеспечивается несколько большая жесткость моста. При расположении вант во типу «арфа» или «веер» рассредоточенное закрепление вант по высоте пилона оказывается более простым, однако при этом возникают дополнительные изгибающие моменты в пилоне, меньшие — при расположении вант по типу «веер».

Двухпилонные мосты, как правило, несколько экономичнее, чем однопилонные, которые применяются по геологическим условиям, архитектурным соображениям или по условиям обеспечения возможности навесного монтажа с одного берега. Ванты, заделываемые в сечениях над опорами (опорные ванты), уменьшают деформативность моста и разгружают балку (рис. 2, а, б, д). Вантовые мосты устраивают, как правило, с воспринятым распором. Балка жесткости работает на сжатие с изгибом.

Отношение пролетов в двухпролетном мосту $l_1 : l_2 = 1 : 5 \div 1 : 1$, в трехпролетном — $l_1 : l_2 = 1 : 4 \div 1 : 2$.

Отношение высоты пилона к наибольшему пролету: в двухпилонном мосту $h_n : l_2 = 1 : 4 \div 1 : 6$, в однопилонном — $h_n : l_2 = 1 : 2 \div 1 : 4$.

Отношение высоты балки жесткости к наибольшему пролету $h_o : l_2 = 1 : 80 \div 1 : 200$. Меньше относительные высоты балки характерны для многовантовых мостов.

Расстояние между вантами по балке (панель) в мостах с малым числом вант $d = 20 \div 80$ м, в многовантовых $d = 5 \div 15$ м.

Угол наклона вант к горизонту $\alpha > 20^\circ \div 25^\circ$. С уменьшением угла наклона уменьшается разгружающее влияние вант на балку.

Балка жесткости

В висячих и вантовых мостах применяются стальные балки жесткости с проезжей частью в виде стальной ортотропной плиты.

Балка жесткости может быть: в виде двух сплошных одностенчатых балок, объединенных через $2 \div 4$ м поперечными балками, на которые опирается плита проезжей части; в виде жестких на кручение коробчатых балок, расположенных по бокам проезжей части или посередине моста [1, рис. 6.14, 2, рис. 2.1).

Жесткие на кручение коробчатые балки более целесообразны для мостов больших пролетов. Применение наклонных стенок в балках улучшает аэродинамические качества пролетных строений и уменьшает объемы опор.

Балки жесткости висячих мостов, имеющих обычно два несущих кабеля, прикрепляются к ним подвесками, расположенными в двух вертикальных плоскостях, в поперечном сечении вантовых мостов ванты располагаются в двух вертикальных или наклонных плоскостях.

Ширина балки жесткости определяется габаритом моста, шириной тротуаров, вант или подвесок, защитных полос (не менее 0,5 м для вант, подвесок или стоек пилона со стороны проезжей части). Ванты или подвески крепят к балке жесткости вне проезжей части между тротуарами и ограждением поезда или за перилами.

Стальная ортотропная плита состоит из листа толщиной 12–18 мм с приваренными снизу продольными ребрами, расположенными на расстоянии 250–300 мм друг от друга. Ребра могут быть изготовлены из полосовой, угловой, швеллерной и другой стали. Продольные ребра опираются на поперечные балки таврового сечения, прикрепленные к вертикальным ребрам жесткости главных балок. [1, рис. 2.15; 2, рис. 2.3].

Пилоны

Пилоны из двух (в поперечном сечении моста) вертикальных стоек, объединенных друг с другом распорками или решетчатым заполнением или вообще без связей, характерны для висячих и вантовых мостов с двумя системами кабелей или вант в поперечном сечении моста. А-образные пилоны с наклонными стойками, сходящимися к вершине, применяют-

ся в мостах с вантами, расположенными в поперечном направлении в двух наклонных плоскостях; λ-образные пилоны применяются в многовантовых мостах с вантами, расположенными по типу «веер» или «арфа». Обратный уклон частей стоек, расположенных под балкой жесткости, обеспечивает при λ-образных пилонах сокращение объема массивной части опор.

Стойки стальных пилонов чаще всего представляют собой листовую замкнутую коробчатую конструкцию прямоугольного поперечного сечения с соотношением размеров 1:1 ÷ 1:2, с большим размером, ориентированным вдоль оси моста. В мостах небольших пролетов могут применяться также стойки двутаврового сечения, коробчатые стойки с решетчатыми связями или стойки из труб. Размеры сторон стоек составляют 1:25 ÷ 1:35 высоты пилонна. Большие размеры придают свободно стоящим стойкам. Стойки высоких пилонов устраивают переменного сечения.

Пилоны обычно заделываются в массивных опорах. В плоскости пилонна балка жесткости может быть оперта на верхнюю часть массивной опоры или на распорку пилонна. [1, рис. 6.21, 6.22, 6.23; 2, рис. 4.2, 4.9].

Кабели и ванты

Для кабелей и вант применяются стальные закрытые канаты заводского изготовления диаметром до 70 мм или пучки из параллельных проволок диаметром 4 ÷ 6 мм. Сортамент закрытых канатов, наружные слои которых образованы из проволок фасонного клиновидного и z-образного сечения, приведен в прил. 2.

Ванты и кабели могут быть образованы из группы канатов числом до 10 штук, расположенных в один-два горизонтальных или вертикальных ряда. При больших усилиях применяются компактные ванты или кабели прямоугольной, многоугольной или круглой формы, составленные из канатов. [1, рис. 6.11, 6.12; 2, рис. 4.20].

Подвески изготавливаются из одиночных канатов или стальных стержней круглого сечения. В состав подвесок входят стяжные резьбовые муфты для регулирования их длины.

Закрепление концов кабелей осуществляется в массивных бетонных устоях или непосредственно в прочных скальных грунтах. Концы вант прикрепляют к диафрагмам, поперечным балкам или непосредственно к стенкам балки жесткости или пилонна.

[1, с. 203–204, 206–212, 216–218, 224–226, 233–243; 2, с. 13–34, 39–43, 84–86].

2. НАГРУЗКИ НА МОСТ

Величина постоянной нагрузки может быть определена по прототипам, приведенным в прил. 3, или данным табл. 2.

Таблица 2

Ориентировочные данные о массе висячих и вантовых мостов в т/м² площади моста

Наименование конструкций	Наибольший пролет, м	Масса, т/м ²
Металлические конструкции: балки жесткости и канаты,	до 200	0,20
	300	0,25
	400	0,35
ортотропные плиты	-	0,15
Дорожное покрытие по ортотропной плите	-	0,15

Примечание: площадь моста принимается равной произведению расстояния между перилами на полную его длину.

Интенсивность расчетной постоянной нагрузки на 1 м моста

$$g = 9,81(\gamma_f g_1 + \gamma_f g_2) B_{II}, \text{ кН/м}, \quad (1)$$

где g_1 — масса в т на м² площади моста металлических конструкций ортотропной плиты, балки жесткости и канатов;

g_2 — то же дорожного покрытия;
 $\gamma_f = 1,1$ и $\gamma_f = 1,5$ — коэффициенты надежности по нагрузке соответственно от веса металлических конструкций и веса дорожного покрытия;
 B_{II} — полная ширина моста, равная расстоянию между перилами, м.

Нормативная интенсивность временной равномерно распределенной части вертикальной нагрузки от полос АК

$$P_n = (K_{H_1} + S_1 K_{H_2}) 0,981K, \text{ кН/м.} \quad (2)$$

Расчетная интенсивность той же нагрузки с учетом толпы на тротуарах

$$P = \gamma_f (K_{H_1} + S_1 K_{H_2}) (1 + \mu) 0,981K + 1,4T \cdot P_T, \text{ кН/м.} \quad (3)$$

Кроме распределенной части нагрузки АК оказывает сосредоточенное давление от веса двухосной тележки с давлением на ось $9,81K$, кН. Ввиду больших длин загрузки действие этой тележки заменяется одной силой, равной $19,62K$, кН. В этом случае нормативная величина временной вертикальной сосредоточенной нагрузки

$$P_n = (K_{H_1} + K_{H_2}) 19,62K, \text{ кН.} \quad (4)$$

Расчетная величина той же нагрузки

$$P = \gamma_f (K_{H_1} + K_{H_2}) 19,62K, \text{ кН.} \quad (5)$$

В приведенных формулах обозначено:

$\gamma_f = 1,2$ — коэффициент надежности по временной подвижной нагрузке;

$S_1 = 0,6$ — коэффициент, учитывающий влияние многополосного нагружения для второй полосы равномерно распределенной части нагрузки;

$$1 + \mu = 1 + \frac{50}{70 + \lambda} \text{ — динамический коэффициент для элемен-}$$

тов главных ферм (балок), висячих и вантовых мостов,

где λ — величина наибольшего пролета, м;

$K = 11$ — класс автомобильной нагрузки АК;

$P_T = 3,92 - 0,0196\lambda$ кПа, но не менее 1,96 кПа — нормативная вертикальная равномерно распределенная нагрузка на тротуары мостов, где λ — длина загрузки;

T — ширина одного тротуара, м;

KH_1 и KH_2 — коэффициент неравномерности соответственно для первой и второй полос нагрузки АК.

Коэффициент неравномерности для каждой из полос нагрузки АК при двух плоских или коробчатых главных балках и двух висячих или вантовых формах в поперечном сечении моста, расположенных на расстоянии B между их осями,

$$K_{H_1} = 1 + \frac{2e}{B}.$$

Максимальное смещение центра тяжести одной из полос АК в поперечном направлении, в наибольшей степени загружающей одну балку (ферму),

$$e_1 = \frac{nb}{2} - 1,5, \text{ м;}$$

то же для другой полосы

$$e_2 = e_1 - 3, \text{ м,}$$

где nb — ширина проезжей части моста, в которую не входят полосы безопасности, м.

[3, с. 18, 20, 23, 24, 25].

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТА

При расчете висячего или вантового моста его гибкие элементы-участки кабеля между подвесками, береговые оттяжки, ванты и подвески заменяются прямолинейными стержнями с продольной жесткостью $E_K A_K$ или $E_K A_B$ и нулевой изгибной жесткостью. Балка и пилоны являются жесткими элементами с изгибной $E_\sigma J_\sigma$, $E_{II} J_{II}$ и продольной $E_\sigma A_\sigma$, $E_{II} A_{II}$ жесткостью.

Геометрические характеристики сечений элементов принимаются по прототипам или по приближенным формулам.

Для висячего моста: площадь сечения кабеля и береговых оттяжек

$$A_K = \frac{(g+p)l^2}{8f_0 R_K} \left(1 + \frac{8f_0^2}{l^2} \right), \text{ м};$$

то же, подвесок

$$A_{II} = \frac{(g+p)d}{R_K}, \text{ м}^2;$$

момент инерции балки из условия обеспечения допустимого прогиба

$$J_\sigma = \frac{5}{384} 0,03 \frac{P_n l^3}{E_\sigma} \frac{l}{[\Delta y]}, \text{ м};$$

тоже, из условия прочности

$$J_\sigma = 0,01 \frac{P l^2 h_\sigma}{2R_\sigma}, \text{ м}^4;$$

площадь сечения балки жесткости

$$A_\sigma = 0,05 \frac{J_\sigma}{h_\sigma^2}, \text{ м}^2;$$

площадь и момент инерции сечения стального пилон можно принять такими же, как и для балки жесткости.

Для вантового моста: площадь сечения i -ой ванты

$$A_{bi} = \frac{g+p}{R_K \sin \alpha_i} d, \text{ м}^2;$$

момент инерции балки жесткости

$$J_\sigma = 0,01 \frac{(g+p) l^2 h_\sigma}{2R_\sigma}, \text{ м}^4.$$

Площадь сечения балки жесткости и пилон и момент инерции пилон могут быть определены так же, как и для висячего моста.

В приведенных формулах обозначено:

$g+p$ — интенсивность расчетных соответственно постоянной и временной нагрузок, определяется по формулам (1) и (3);

P_n — интенсивность нормативной временной нагрузки, определяется по формуле (2);

l — наибольший пролет, м;

f_0 — стрела провеса, м;

d — панель — расстояние между соседними подвесками или вантами, м;

h_σ — высота балки жесткости, м;

α_i — угол наклона i -ой ванты к горизонту;

R_K — 600 МПа — среднее расчетное сопротивление канатов;
 R_σ — 280 МПа — среднее расчетное сопротивление изгибу стальной балки жесткости;

$E_C = 2,06 \cdot 10^5$ МПа — модуль продольной нормальной упругости стали;

$E_K = 1,5 \cdot 10^5$ МПа — модуль продольной упругости канатов;

$\Delta y = (1/320)l$ — допускаемая амплитуда прогибов моста (допускаемый прогиб на автомобильных дорогах II–IV категорий);

$\Delta y = (1/240)l$ — то же, на дорогах V категории.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ МОСТА

Для расчета моста вычерчивают в масштабе его расчетную схему, на которой указывают все элементы и узлы, координаты узлов, величины геометрических характеристик сечений элементов, расположение и характер опорных закреплений.

Усилия в элементах висячего или вантового моста рекомендуется определять при помощи ЭВМ по программам расчета строительных конструкций. В курсовом проекте требуется построить линии влияния усилий двумя методами: методом сил по программе SETAPP, которая описана в [4] и методом конечных элементов (для стержневых систем — это метод перемещений с учетом осевых деформаций) по программе INTAB-12, описанной в [5].

При этом следует иметь в виду, что для автодорожных мостов собственный вес балки жесткости преобладает над временной нагрузкой. Поэтому допустимо считать, что на временную нагрузку пролетное строение работает как линейно упругая статически неопределимая система (без учета геометрической нелинейности).

При помощи ЭВМ вычисляют ординаты линий влияния усилий и перемещений в элементах моста. Линии влияния вычерчивают под расчетной схемой моста, вручную определяют площади участков линий влияний и загружают постоянными и временными нагрузками, в результате чего определяют усилия в элементах от расчетных нагрузок и перемещения от нормативной временной загрузки.

Для висячего моста в курсовом проекте можно ограничиться определением нормальных усилий в кабеле береговой оттяжки, подвеске и в пилоне, максимальных и минимальных изгибающих моментов в 1/4 пролета балки и в основании пилона, вертикальных перемещений в 1/4 пролета.

Для вантового моста определяют нормальные усилия в вантах, в пилоне и в балке жесткости; максимальные и минимальные изгибающие моменты в двух сечениях балки жесткости посередине пролета.

При определении усилий в вантовом мосте нужно учесть следующие стадии приложения нагрузок:

1. Собственный вес конструкций балки жесткости воздействует на ванты в статически определимой системе (с шарнирами под каждой вантой). При этом изгибающие моменты будут максимальными в сечениях в середине панелей. На этой стадии считаются усилия в вантах и изгибающие моменты в указанных сечениях и пилонах.

2. После исключения шарниров система становится статически неопределимой и может быть рассчитана на ПЭВМ. Построенные линии влияния загружаются собственным весом дорожного покрытия и временной нагрузкой. При этом определяются усилия в вантах, а также нормальные силы и изгибающие моменты в балке жесткости и пилонах.

3. Суммируются результаты, полученные в п. 1 и 2. [1, с. 226–233; 2, с. 112–114, 124–130].

5. ПРОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТА

5.1. Кабели и ванты

Прочность гибких несущих элементов: кабелей, береговых оттяжек, вант и подвесок должно удовлетворять условию

$$\frac{N}{A} \leq R_{dh} m m_1,$$

где N — максимальное усилие в гибком несущем элементе от расчетных нагрузок;

n_K — число канатов в гибком элементе;

A — расчетная площадь сечения всех проволок в канате (прил. 2);

$m = 0,8$ — коэффициент условий работы для канатов в гибких несущих элементах;

m_1 — коэффициент условий работы канатов, зависящий от конструкции закрепления каната в концевых анкерах и от радиуса перегиба каната (в курсовом проекте можно принять $m_1 = 0,95$);

R_{dh} — расчетное сопротивление для канатов, определяемое по формуле

$$R_{dh} = K \frac{\sum P_{un}}{A \gamma_m};$$

$\sum P_{un}$ — сумма разрывных усилий всех проволок в канате (см. прил. 2);

$\gamma_m = 1,6$ — коэффициент надежности для канатов;

$K = 0,9$ — коэффициент агрегатной прочности витого каната, зависящий от кратности свивки.

5.2. Элементы проезжей части

Студенту нужно приближенным способом определить напряжения в продольных ребрах и поперечных балках ортотропной плиты.

Расчетный изгибающий момент в продольном ребре определяют только от давления колеса нагрузки АК в сечениях (рис. 3, а, б):

посередине панели
$$M_1 = 0,35 \gamma_f (1 + \mu) \frac{P}{8} (2d - S_{np});$$

над поперечной балкой
$$M_2 = -0,21 M_1,$$

где P — нормативное давление колеса АК ($P=54$ кН);
 $\gamma_f = 1,5$ — коэффициент надежности по нагрузке АК при расчетах элементов проезжей части;

$1 + \mu = \frac{15}{37,5 + d}$ — динамический коэффициент для продольных ребер;

d — панель продольных ребер — расстояние между осями поперечных валок;

$S_{np} = C + 2\Delta$ — длина площадки давления на поверхность ортотропной плиты ($C = 0,2$ м — длина площадки давления колеса АК);

$\Delta \cong 0,07$ м — толщина дорожного покрытия.

От давления колеса в продольном ребре возникает местные напряжения, которые нужно определить в нижней и верхней фибрах ребра в двух сечениях: посередине пролета и над поперечной балкой (рис. 3, в)

$$\sigma_{м.в.} = \frac{M}{J} y_в; \quad \sigma_{м.н.} = \frac{M}{J} y_н, \quad (6)$$

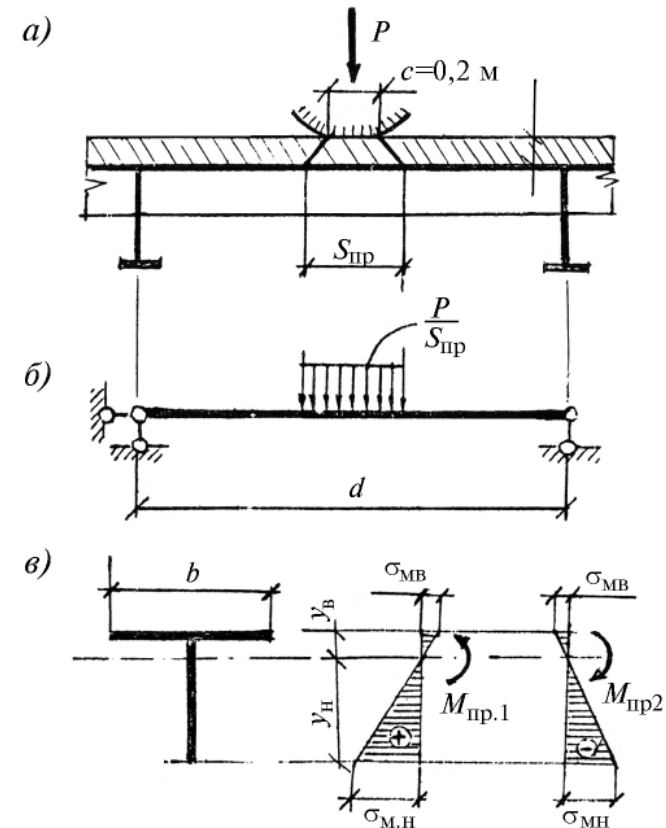


Рис. 3. Схема для расчета продольных ребер ортотропной плиты:

а — конструктивная схема; б — расчетная схема ребра; в — расчетное сечение продольного ребра и эпюры напряжений

где J — момент инерции площади сечения продольного ребра, в состав которого включается участок горизонтального листа на ширине b , равной расстоянию между соседними ребрами;

y_B, y_H — расстояние от центра тяжести площади сечения ребра соответственно до верхнего и нижнего волокон.

Продольные ребра включаются в состав сечения банки жесткости, поэтому желательно, чтобы местные напряжения не превышали $0,5R_y$, где R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести.

Равномерно распределенное давление на поперечную балку от массы металлических конструкций g_1 , ортотропной плиты и массы дорожного покрытия g_2 на 1 м^2 площади моста)

$$g = 9,81(\gamma_f g_1 + \gamma_f g_2) d, \text{ кН/м,}$$

где $\gamma_f = 1,1$ и $\gamma_f = 1,5$ — коэффициенты надежности по постоянной нагрузке соответственно для собственного веса и веса дорожного покрытия.

Сосредоточенное давление P на поперечную балку колеса подвижной нагрузки и равномерно распределенной части нагрузки АК определяют, загружая линию влияния давления на балку (рис. 4, а)

$$P = 9,81(1 + \mu) \left(\gamma_f K \left(1 - \frac{0,75}{d} \right) + \gamma_f K \cdot 0,05d \right), \text{ кН,}$$

где $\gamma_f = 1,5$ и $\gamma_f = 1,2$ — коэффициенты надежности по нагрузке соответственно для тележки АК и равномерно распределенной нагрузки АК;

$1 + \mu = 1 + \frac{15}{37,5 + 2d}$ — динамический коэффициент для поперечных балок;

K — класс нагрузки АК;

d — панель продольных ребер.

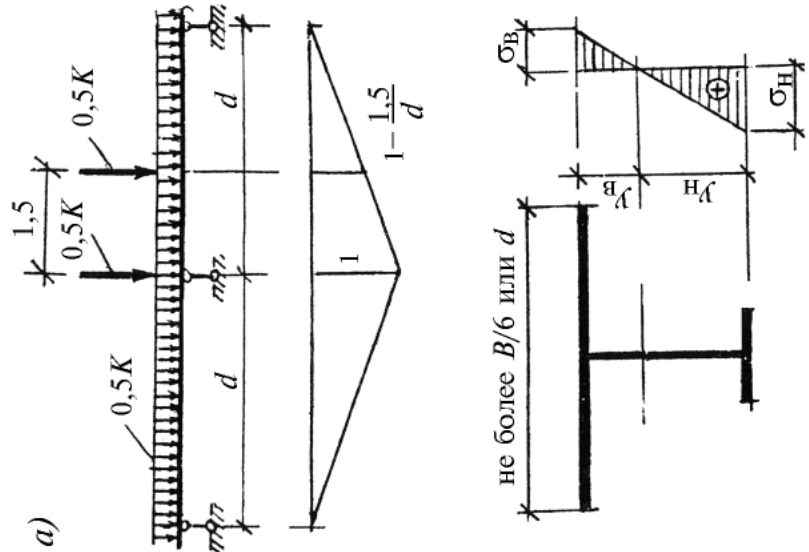
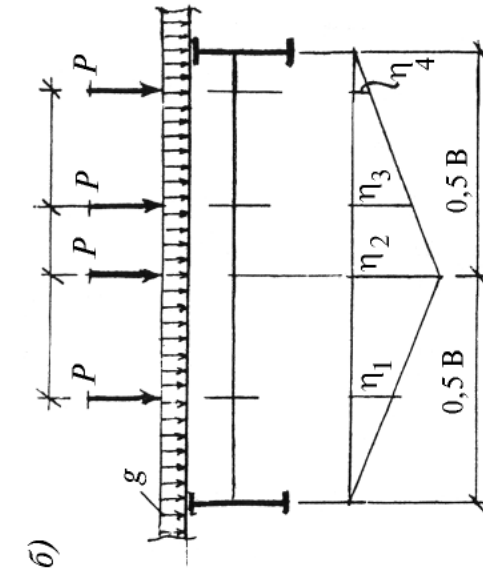


Рис. 4. Схемы для расчета поперечных балок:

а — схема загрузки линии влияния давления на поперечную балку; б — схема загрузки линии влияния изгибающего момента в сечении посередине длины поперечной балки; σ — расчетное сечение поперечной балки и опоры напряжений

Сосредоточенные силы от давления колес размещают в соответствии с количеством полос движения в наименее выгодном положении для изгибающего момента (рис. 4, б). Изгибающий момент посередине пролета поперечной балки

$$M = \frac{gB^2}{8} + P \sum \eta_i,$$

где B — расчетный пролет поперечной балки, равный при плоских балках расстоянию между их осями, а при коробчатых главных балках — расстоянию между их стенками;

η_i — ординаты линии влияния изгибающего момента под сосредоточенными силами P .

Расчет по прочности поперечной балки выполняют по формулам:

$$\frac{M}{J} y_{\text{в}} \leq R_y m; \quad \frac{M}{J} y_{\text{н}} \leq R_y m,$$

где J — момент инерции площади сечения поперечной балки, в состав которой включается участок горизонтального листа на ширине $B/6$, но не более d (рис. 4, в);

$y_{\text{в}}$, $y_{\text{н}}$ — расстояние от центра тяжести площади сечения балки соответственно до верхнего и нижнего волокон;

R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести;

$m = 1$ — коэффициент условий работы для автодорожных мостов.

[1, с. 62–65; 2, с. 149–152].

5.3. Балка жесткости

Балку жесткости рассчитывают по прочности при изгибе или внецентренном сжатии в сечениях, для которых определены изгибающие моменты M_{max} и M_{min} и нормальные силы N .

В состав расчетной площади сечения балки жесткости включают площадь сечения ортотропной плиты с подкрепляющими продольными ребрами (рис. 5). Определяют положение

нейтральной оси и величину момента инерции расчетной площади сечения балки жесткости. Прочность сечения балки жесткости следует проверять по следующим условиям:

для верхних волокон плиты главной балки (в сечениях посередине пролета продольных ребер и над поперечными балками) и для нижних волокон продольных ребер жесткости (в тех же сечениях)

$$\sigma_M + \sigma_o \leq R_y m;$$

для нижних волокон главных балок

$$\sigma_o \leq R_y m,$$

где σ_M — местные напряжения в соответствующих волокнах и сечениях продольных ребер, определяемые по формуле (6);

$m = 1$ — коэффициент условий работы;

σ_o — общие напряжения в соответствующих волокнах главной балки, равные

$$\sigma_o = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{J} y,$$

где y — расстояние от нейтральной оси до рассматриваемого волокна;

A и J — соответственно площадь сечения и момент инерции площади сечения балки жесткости.

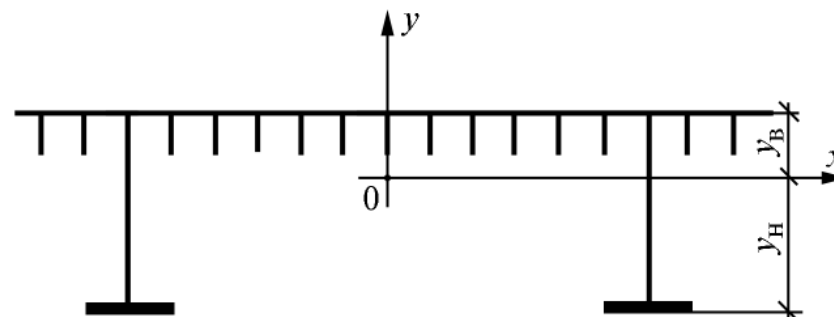


Рис. 5. Расчетное сечение балки жесткости

5.4. Пилон

Пилон следует рассчитать от прочности как внецентренно сжатый стержень в плоскости действия максимального изгибающего момента

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{J} y \leq R_y m,$$

где A и J — соответственно площадь нетто и момент инерции площади нетто сечения пилон;

y — расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленного волокна в плоскости изгиба.

Расчет пилон по устойчивости в плоскости, перпендикулярной плоскости изгиба, следует производить по п. 4.36 СНиП 2.05.03-64.

6. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЧЕРТЕЖИ

На основании принятых решений, составленных эскизов и проведенных расчетов разрабатывают конструктивные чертежи висячего или вантового моста. На этой стадии проектирования взаимно увязывают все части и элементы конструкции и разрабатывают детали. При необходимости вносят в конструкцию обоснованные изменения. При разработке конструктивных чертежей рекомендуется пользоваться иллюстрациями, приведенными в учебниках и пособиях.

Конструктивный чертеж выполняют на листе формата 297×841 мм на этом чертеже необходимо изобразить:

— поперечное сечение моста на половине ширины с показом: конструкций главных и поперечных балок, проезжей части и ее ограждения, тротуаров и перил, расположения подвесок или вант;

— верхнюю часть (в двух проекциях) стойки с показом узла крепления несущего кабеля (или вант) к ней и поперечного сечения по стойке;

— узел крепления подвески к несущему кабелю в двух проекциях (для вантового моста);

— одну-две детали по выбору студента (конструкция кабеля или ванты, конструкция закрепления канатов или прядей в анкерных стаканах, закрепление концов кабеля в грунте и т.п.).

На чертежах проставляют размеры конструкций и деталей.

Масштаб чертежей должен быть выбран в пределах 1:5÷1:20 в зависимости от размеров изображаемых деталей и их размещения на листе.

[1, с. 21–226; 231–237; 2, с. 32–52].

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Проектирование металлических мостов: Учеб. /Под ред. А.А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1982. — 320 с.
2. Вантовые мосты /Под ред. А.А. Петропавловского. — М.: Транспорт, 1985. — 224 с.
3. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы /Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. — 200 с.
4. Кузьмин Л.Ю. Расчет пролетного строения моста большого пролета: Метод. рекомендации. — М.: РГОТУПС, 2002.
5. Гришунин В.Е., Кузнецов И.М. Сопротивление материалов и строительная механика. Статический расчет стержневых систем с использованием вычислительной программы INTAB-12. Часть 1. Ввод исходных данных и построение расчетных схем (21/2/6). — М.: РГОТУПС, 2000.

Дополнительная

6. Гибшман Е.Е. Проектирование металлических мостов. — М.: Транспорт, 1969. — 415 с.
7. Проектирование висячих и вантовых мостов /Под ред. В.К. Качурина. — М.: Транспорт, 1971. — 280 с.
8. Ильясевич С.А. Металлические коробчатые мосты. — М.: Транспорт, 1970. — 280 с.
9. Металлические конструкции. Спец. курс: Уч. пос. для вузов /Под ред. Е.И. Беленя. — 2-е изд. — М.: Стройиздат, 1982. — 472 с.
10. Кирсанов Н.М. Висячие и вантовые конструкции: Уч. пос. для вузов. — М.: Стройиздат, 1981. — 158 с.

Приложение 1

**Габариты мостов (с ездой по верху)
на автомобильных дорогах (рис. 6)**

Категория дороги, на которой расположен мост	Число полос движения нагрузки АК	Размеры элементов габарита моста, м			
		Ширина проезжей части <i>nB</i>	Ширина предохранительной полосы <i>П</i>	Ширина тротуаров <i>T</i>	Габарит <i>Г</i>
II	2	7,5	2	1,5	Г-11,5
III	2	7	1,5	1	Г-10
IV	2	6	1	1	Г-8
V	1	4,5	1	1	Г-6,5

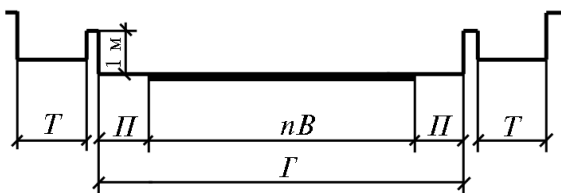


Рис. 6. Очертание габарита автодорожного моста

Приложение 2

**Канаты стальные оцинкованные
спиральной закрытой конструкции по ТУ 14-4-1216-82**

Диаметр каната, м	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Масса 1000 м каната, кг	Суммарное разрывное усилие всех проволок в канате, Н (кгс)
32	689	6057	981969 (100200)
42	1228	10862	1667960 (170200)
52	1902	16848	2527420 (257900)
62	2703	23850	3548580 (362100)
72	3631	32088	4729600 (482900)

Приложение 3

Справочные данные по висячим и вантовым мостам

Тип моста	№ рисунка	Расход стали				Расход железобетона на пролетное строение	
		на пролетное строение	на пилон,	на канаты,	всего на мост	м ³	м ³ на м ² площади моста*
		т	т	т	т	т	т на м ² площади моста
Висячий	7,а	121	58	63	304	170	0,30
	7,б	26	84	157	572	590	0,35
	7,в	-	360	-	3237	-	0,51
	7,г	4780	709	972	7033	-	0,52
Вантовый	8,а	600	250	80	1000	1380	0,72
	8,б	-	-	-	-	-	-
	8,в	6300	850	538	7184	-	0,58
	8,г	6300	-	-	-	-	-
	9,а	-	-	-	4069	-	0,54
9,б	-	-	-	3237	-	0,42	
9,в	2715	360	375	3450	-	0,39	
9,г	-	-	485	6985	-	0,37	

* площадь моста равна произведению расстояния между перилами на длину проезжей части.

Канд. техн. наук, проф. Л.Ю. Кузьмин

Канд. техн. наук, доц. А.А. Муратов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВ

Задание на курсовой проект

Редактор *И.А. Четверикова*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалева*

ЛР № 020307 от 28.11.91

Тип. зак.	Изд. зак. 194	Тираж 150 экз.
Подписано в печать 25.04.03	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 2,0		Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПСа, 107078, Москва, Басманный пер., 6