

22. Железобетонные мосты



22.1. Введение

Мост — искусственное сооружение, возведенное через реку, озеро, овраг, пролив или любое другое физическое препятствие. Мост, возведённый через дорогу, называют путепроводом, мост через овраг или ущелье — виадуком.

Мост является одним из древнейших инженерных изобретений человечества.

Примитивные мосты, представлявшие собой перекинутое через ручей бревно, возникли в глубокой древности.

Позже в качестве материала начали использовать камень. Древние римляне, применявшие сводчатые конструкции в качестве опор и использовавшие цемент. Многие древнеримские мосты служат и по сей день.

С конца XVIII века для строительства применяется металл.

В XIX веке появление железных дорог потребовало создания мостов, способных выдерживать значительные нагрузки. Постепенно в качестве основных материалов в мостостроении утверждаются сталь и железо.

В XX веке мосты стали строить также из железобетона. Крупнейшие мосты современности, в том числе, высочайшие в мире Виадук Мийо и мост Акаси-Кайкё (длина главного пролёта 1991 м), относятся к винтовым и подвесным. Подвесные пролётные строения позволяют перекрывать наибольшие расстояния.

22.2. Классификация по назначению

Автодорожные – для пропуска всех видов движущихся по автомобильным дорогам транспортных средств и пешеходов;

Железнодорожные – для пропуска железнодорожных поездов;

Пешеходные – только для пропуска пешеходов;

Городские – для пропуска всех видов городских транспортных средств(автомобилей, троллейбусов, трамваев, метро) и пешеходов;

Совмещенные – для пропуска автомобилей и железнодорожных поездов;

Специальные – для пропуска трубопроводов силовых кабелей и т. п.

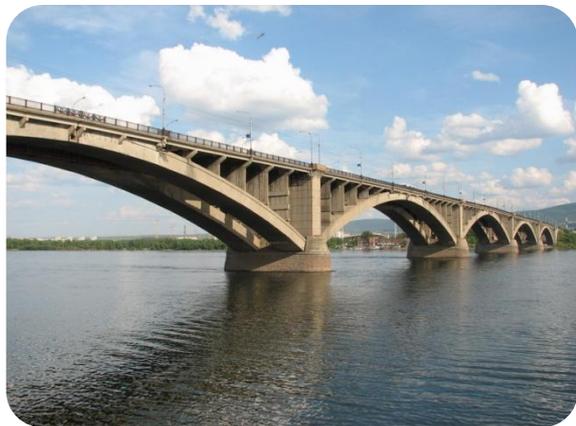


Рис.22.1. Коммунальный мост через Енисей.



Рис.22.2 . Cambie Street Bridge- мост в Ванкувере.

22.3. Классификация по статической схеме

По статической схеме мосты делятся на балочные, распорные и комбинированные.

Балочные — самый простой вид мостов. Предназначены для перекрытия небольших пролётов. Основная отличительная особенность балочной системы состоит в том, что с пролётных строений на опоры передаются только вертикальные нагрузки, а горизонтальные отсутствуют. Балочные мосты разделяют на следующие типы:



Рис.22.3. Разрезная система



Рис.22.4. Неразрезная система

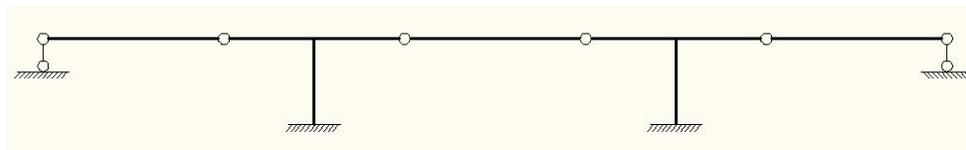


Рис.22.5. Рамно-консольная система



Рис.22.6. Температурно-неразрезная система

22.4. Достоинства и недостатки

- Разрезная система — состоит из ряда балок, причём одна балка перекрывает один пролёт. Недостатки: большое количество деформационных швов и обязательное наличие двух опорных частей на каждой промежуточной опоре;
- Неразрезная система — одна балка пролётного строения перекрывает несколько пролётов или сразу все. Неразрезная система хороша меньшим, чем в разрезной, количеством деформационных швов и меньшей строительной высотой. Недостаток такой системы — чувствительность к деформации основания;
- Рамно-консольная система — состоит из двух типов балок. Одни балки опираются на две опоры и имеют консольные свесы. Другие балки называются подвесными, поскольку опираются на соседние балки. Достоинством консольной системы является её статическая определённость, а следовательно, лёгкость расчёта и нечувствительность к грунтам. К недостаткам системы можно отнести большое количество и сложность устройства деформационных швов шарнирного типа, а также нарушение комфортности проезда в зоне шарниров. В настоящее время мосты такой системы сооружаются редко;
- Температурно-неразрезная система — состоит из двух опорных балок, объединённых в цепь с помощью верхней соединительной плиты. Под действием вертикальных нагрузок такая система работает как разрезная, а под действием горизонтальных — как неразрезная. Её достоинством является меньшее количество деформационных швов, а недостатком — обязательное наличие двух опорных частей на каждой промежуточной опоре.

22.5. Конструкции мостов

В основном мосты классифицируются по конструкции несущих элементов.

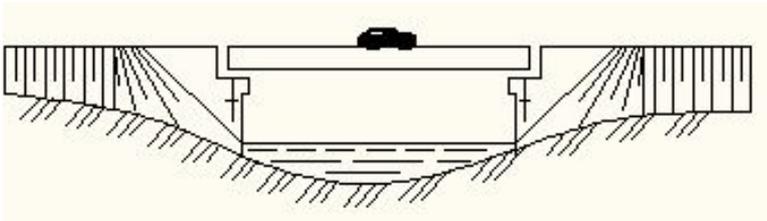


Рис.22.7. Балочный

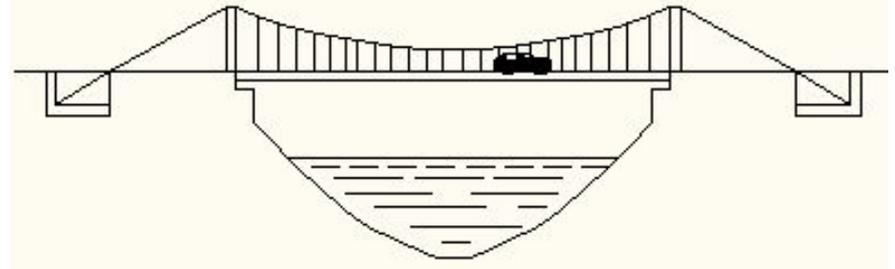


Рис.22.8. Подвесной

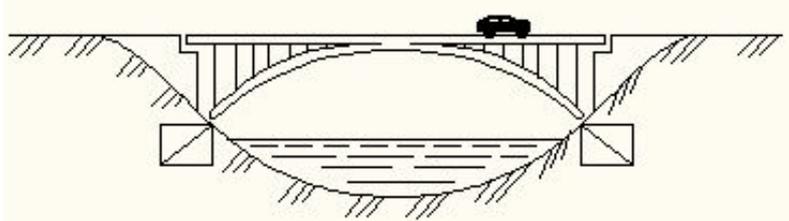


Рис.22.9. Арочный

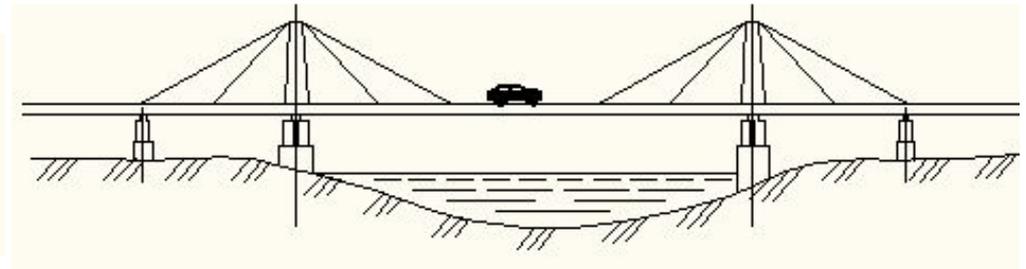


Рис.22.10. Вантовый

22.6. Элементы мостов

Как правило, мосты состоят из пролётных строений и опор. Пролётные строения служат для восприятия нагрузок и передачи их опорам; на них может располагаться проезжая часть, пешеходный переход, трубопровод. Опоры переносят нагрузки с пролётных строений на основание моста.

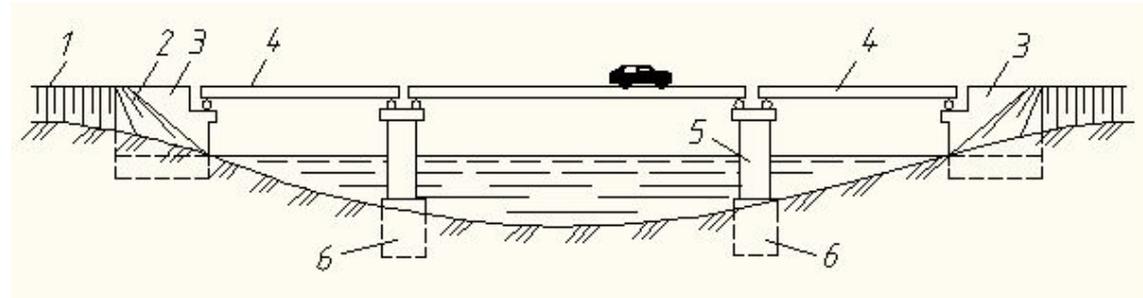
Пролётные строения состоят из несущих конструкций: балок, ферм, диафрагм (поперечных балок) и собственно плиты проезжей части. Обычно пролётные строения прямолинейны, однако в случае необходимости (например, при постройке эстакад и дорожных развязок) им придают сложную форму: спиралеобразную, кольцевую, и т. д.

Пролётные строения поддерживаются опорами, каждая из которых состоит из фундамента и опорной части. Формы опор могут быть весьма разнообразными. Устои служат для соединения моста с подходными насыпями.

Материалами для мостов служат металл(сталь и алюминиевые сплавы), железобетон, бетон, природный камень, дерево, верёвки.

22.6. ЭЛЕМЕНТЫ МОСТОВ

Далее подробней рассмотрим конструкции балочного и вантового моста.



- 1 - насыпь подхода;
- 2 - конус насыпи;
- 3 - устой;
- 4 - пролетное строение с ездой поверху;
- 5 - промежуточная опора (бык);
- 6 - фундамент опоры;
- 7 - вант;
- 8 - пелон.

Рис.22.11. Схема элементов балочного моста

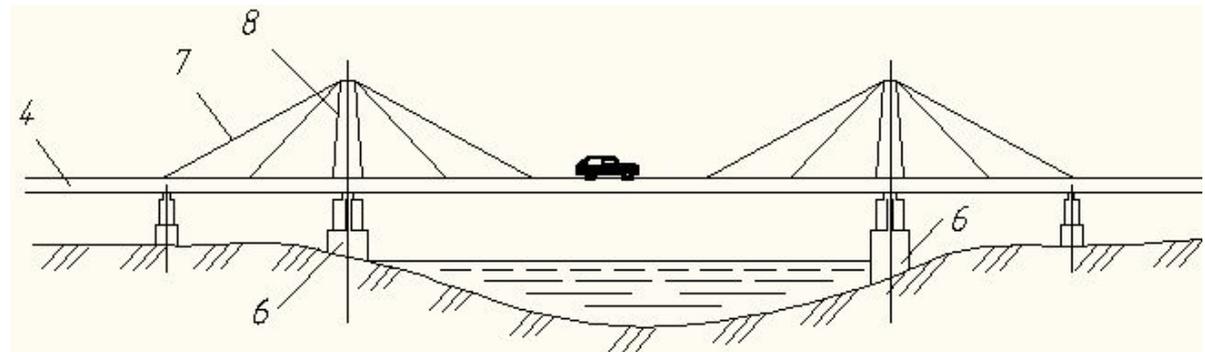


Рис.22.12. Схема элементов вантового моста

22.6. Элементы мостов

Основные элементы моста - опоры и пролетные строения.

Плита пролетного строения поперек моста рассматривается как балка, опирающаяся на упругие опоры (ребра). В продольном направлении она работает на сжатие от общего действия нагрузки (в составе главных балок), в поперечном направлении - воспринимает местное действие временной нагрузки и участвует в перераспределении ее между главными балками.

В зависимости от числа перекрываемых пролетов мосты бывают однопролетными или много пролетными. Крайние **опоры**, расположенные в местах сопряжения моста с насыпями дороги, называют **устоями**, а массивные промежуточные - **быками**. Каждая опора воспринимает нагрузку от веса пролетных строений, подвижной нагрузки, проходящей по ним, давления ветра, льда, навала судов. На устои, кроме того, действует вес насыпи подходов к мосту.

Фундаменты возводят с опиранием непосредственно на грунт или, если грунт ненадежен, на специальное искусственное основание. Материалами для опор служат бетонная, железобетонная и каменная кладки.

Пилоны - столбы большого сечения, поддерживающие основные (несущие) тросы в висячих мостах. передающие нагрузки от кабеля на фундаменты, они могут быть выполнены стальными или железобетонными. Пилон следует рассчитать по прочности как внецентренно сжатый стержень в плоскости действия максимального изгибающего момента

Вант – стальной трос, соединяющий пилон(в вантовом мосте) и дорожное полотно.

Насыпь подхода - сопряжение обеспечивающее *плавный въезд* на мост.

22.7. Основные расчеты элементов моста

Расчет балочного пролетного строения рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- определение нагрузок действующих на пролетное строение;
- проверка несущей способности плиты балки пролетного строения;
- проверка балки на прочность на действие изгибающего момента и поперечной силы;
- конструирование продольной и наклонной арматуры;
- проверка хомутов и отгибов на действие поперечной силы.

Расчет вант и тросов сводится к определению количества канатов в сечении.



Рис.22.13. Крепление вант внутри пилона

22.7. Основные расчеты элементов моста

В соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84 расчеты опор следует выполнять по предельным состояниям на действие постоянных нагрузок и неблагоприятных сочетаний временных.

Для бетонных и железобетонных опор капитальных мостов расчеты производят по двум группам предельных состояний:

I группа:

- устойчивость фундаментов опор против опрокидывания и сдвига (плоского и глубокого - совместно с грунтом основания);
- прочность элементов конструкции (по материалу);
- устойчивость центрально и внецентренно сжатых элементов;
- выносливость железобетонных элементов конструкции (в случаях, когда коэффициенты асимметрии цикла напряжения превышают: в бетоне - 0,6, в арматуре - 0,7);
- устойчивость фундаментов при воздействии сил морозного пучения грунтов;
- несущая способность основания.

II группа:

- деформации оснований и фундаментов (осадки, крены, горизонтальные смещения);
- продольные и поперечные смещения верха опор (железнодорожных мостов с балочными пролетными строениями);
- трещиностойкость бетонных и железобетонных элементов конструкций.

22.8. Виды нагрузок

Конструкции мостов следует рассчитывать на нагрузки и воздействия и их сочетания, принимаемые в соответствии со СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы».

а) Постоянные

- 1) Собственный вес конструкций
- 2) Воздействие предварительного напряжения (в том числе регулирования усилий)
- 3) Давление грунта от веса насыпи
- 4) Гидростатическое давление
- 5) Воздействие усадки и ползучести бетона
- 6) Воздействие осадки грунта

б) Временные

- 7) Вертикальные нагрузки
- 8) Давление грунта от подвижного состава
- 9) Горизонтальная поперечная нагрузка от центробежной силы
- 10) Горизонтальные поперечные удары подвижного состава
- 11) Горизонтальная продольная нагрузка от торможения или силы тяги

в) Прочие

- 12) Ветровая нагрузка
- 13) Ледовая нагрузка
- 14) Нагрузка от навала судов
- 15) Температурные климатические воздействия
- 16) Воздействие морозного пучения грунта
- 17) Строительные нагрузки
- 18) Сейсмические нагрузки
- 19) Трение и сопротивление сдвигу в опорных частях

22.9. Расчет усилий в главных балках

Рассмотрим расчет усилий от нагрузки НК-80 в пролете балочного моста.

Часть нагрузок воспринимается непосредственно пролетным строением и передается на опоры, часть нагрузок может воздействовать на пролетное строение через опоры или не оказывать на пролетное строение заметного влияния, в зависимости от конструктивной схемы моста.

Таким образом, расчет пролетного строения выполняется только для двух видов нагрузок: постоянная нагрузка от собственного веса конструкций и временная вертикальная нагрузка от подвижного состава.

Поперечные силы в упор от постоянной нагрузки (опорные реакции):

$$Q_A = \frac{ql}{2}; \quad (22.1)$$

Момент от постоянной нагрузки:

$$M_{пост} = \frac{gl^2}{8}. \quad (22.2)$$

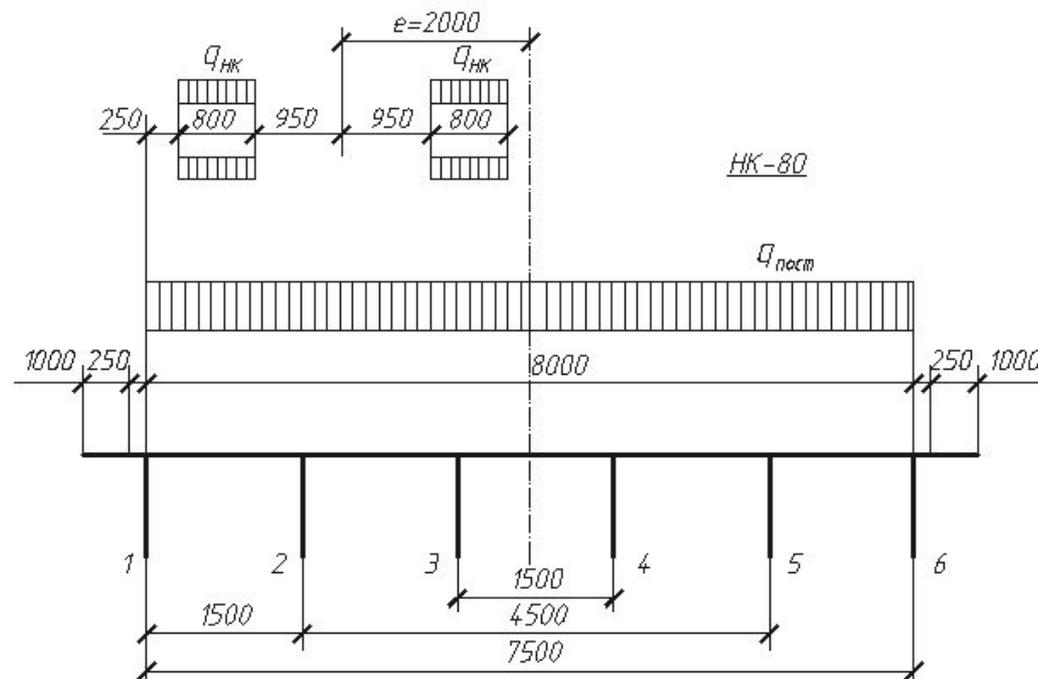


Рис.22.14. Расчетная схема к определению усилий в главных балках

22.9. Расчет усилий в главных балках

Момент от временной нагрузки НК-80:

$$M_{l/2} = p_{\varnothing} \cdot \left[\frac{bh}{3} (k_{\text{рыч}} + 2k_{\text{вн}}) + k_{\text{вн}} \cdot \omega \right]; \quad (22.3)$$

Поперечные силы от временной нагрузки НК-80:

$$\text{на опорах: } Q_{on} = \frac{1}{2} \cdot p_{\varnothing} \cdot l \left[k_{\text{вн}} + \frac{b}{l} (k_{\text{рыч}} - k_{\text{вн}}) \right]; \quad (22.4)$$

$$\text{в середине пролета: } Q_{l/2} = \frac{l}{24} \cdot p_{\varnothing} \left[3k_{\text{вн}} + \left(\frac{2b}{l} \right)^2 (k_{\text{рыч}} - k_{\text{вн}}) \right], \quad (22.5)$$

где

b – расстояние между главными балками;

h – значение момента в точке расчета(определяется по эпюре влияния);

$k_{\text{рыч}} ; k_{\text{вн}}$ – коэффициенты поперечной установки;

ω – площадь на под линией влияния эпюры моментов;

P_{\varnothing} – эквивалентная колесная нагрузка для НК-80;

l – длина пролета.

22.9. Расчет усилий в главных балках

Поперечные силы и изгибающие моменты в пролетах и на опорах средних диафрагм, возникающие в них от распределения ими подвижной нагрузки между прогонами, определяют по линиям влияния, построенным для определения коэффициентов поперечной установки.

Для определения изгибающих моментов и поперечных сил в пролетах использовалась нормативная нагрузка НК-80 (80т).

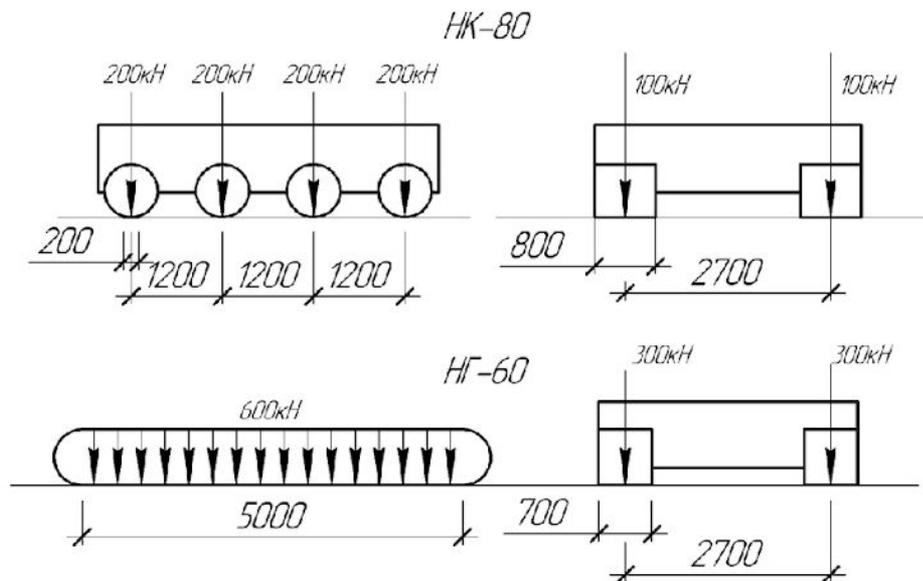


Рис.22.15. Схемы временных нагрузок НК-80 и НГ-60(размеры в мм)

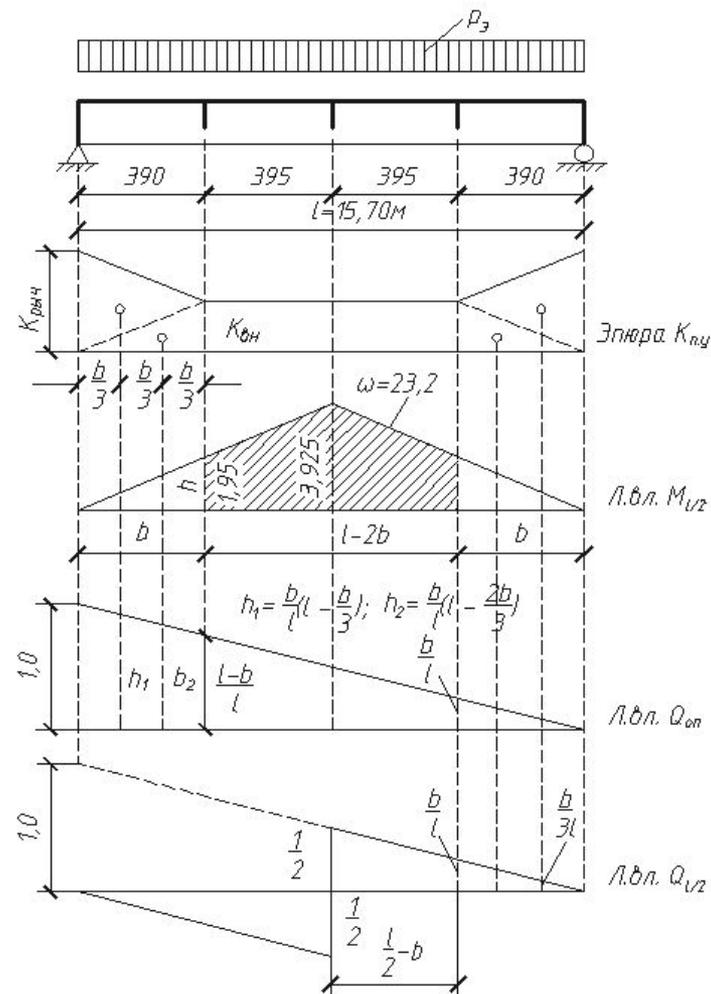


Рис.22.16. Эпюры к расчету главных балок

22.10. Проверочные расчеты элементов моста

Элементы проезжей части.

Расчетный изгибающий момент в продольном ребре определяют только от давления колеса нагрузки АК в сечениях

посередине панели

$$M_1 = 0.35\gamma_f(1 + \mu) \frac{P}{8} (2d - S_{np}); \quad (22.6)$$

над поперечной балкой

$$M_2 = -0,21M_1, \quad (22.7)$$

где

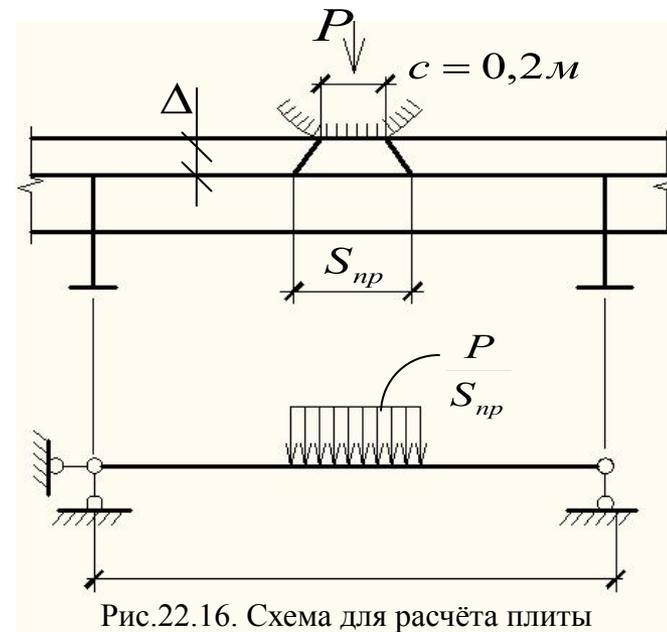
P - нормативное давление колеса АК ($P=54$ кН);

γ_f - коэффициент надежности по нагрузке АК;

$1 + \mu$ - динамический коэффициент для продольных ребер;

$S_{np} = C + 2\Delta$ - длина площадки давления на поверхность плиты;

$\Delta \cong 0,07$ - длина площадки давления на поверхность плиты.



22.10. Проверочные расчеты элементов моста

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

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).

$$\sigma_m + \sigma_o \leq R_y m; \quad (22.8)$$

для нижних волокон главных балок

$$\sigma_o \leq R_y m, \quad (22.9)$$

где

σ_m - местные напряжения в соответствующих волокнах и сечениях продольных ребер;

$m = 1$ - коэффициент условий работа;

σ_o - общие напряжения в соответствующих волокнах главной балки;

22.10. Проверочные расчеты элементов моста

Проверка кабелей и вантов производится для подвесного и вантового мостов.

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

$$\frac{N}{A} \leq R_{dh} m m_1 n_k, \quad (22.10)$$

где

N - максимальное усилие в гибком несущем элементе от расчетных нагрузок;

A - расчетная площадь сечения всех проволок в канате;

m - коэффициент условий работы для канатов в гибких несущих элементах(0,8);

m_1 - коэффициент условий работы канатов, зависящий от конструкции закрепления каната в концевых анкерах и от радиуса перегиба каната;

R_{dh} - расчетное сопротивление для канатов;

n_k - число канатов в гибком элементе.

22.10. Проверочные расчеты элементов моста

Проверка пилонов производится для подвесного и вантового мостов.

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

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{J} y \leq R_y m, \quad (22.11)$$

где

A и J - соответственно площадь нетто и момент инерции площади нетто сечения пилона;

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

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

Источники

- СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы .М 2011.
- Примеры проектирования сборных железобетонных мостов В. А. Российский, В. Р. Назаренко, Н. А.Словинский Высшая школа, 1970. -517с
- Саламахин П.М. Инженерные сооружения в транспортном строительстве М.: Академия, 2007. - 346 с.
- <http://dedmaxorka.livejournal.com/33756.html>
- «РАСЧЕТ МОСТА БОЛЬШОГО ПРОЛЁТА» с методическими указаниями для студентов VI курса. Л.Ю.Кузьмин , А.А. Муратов. РГОТУПС М-2003