



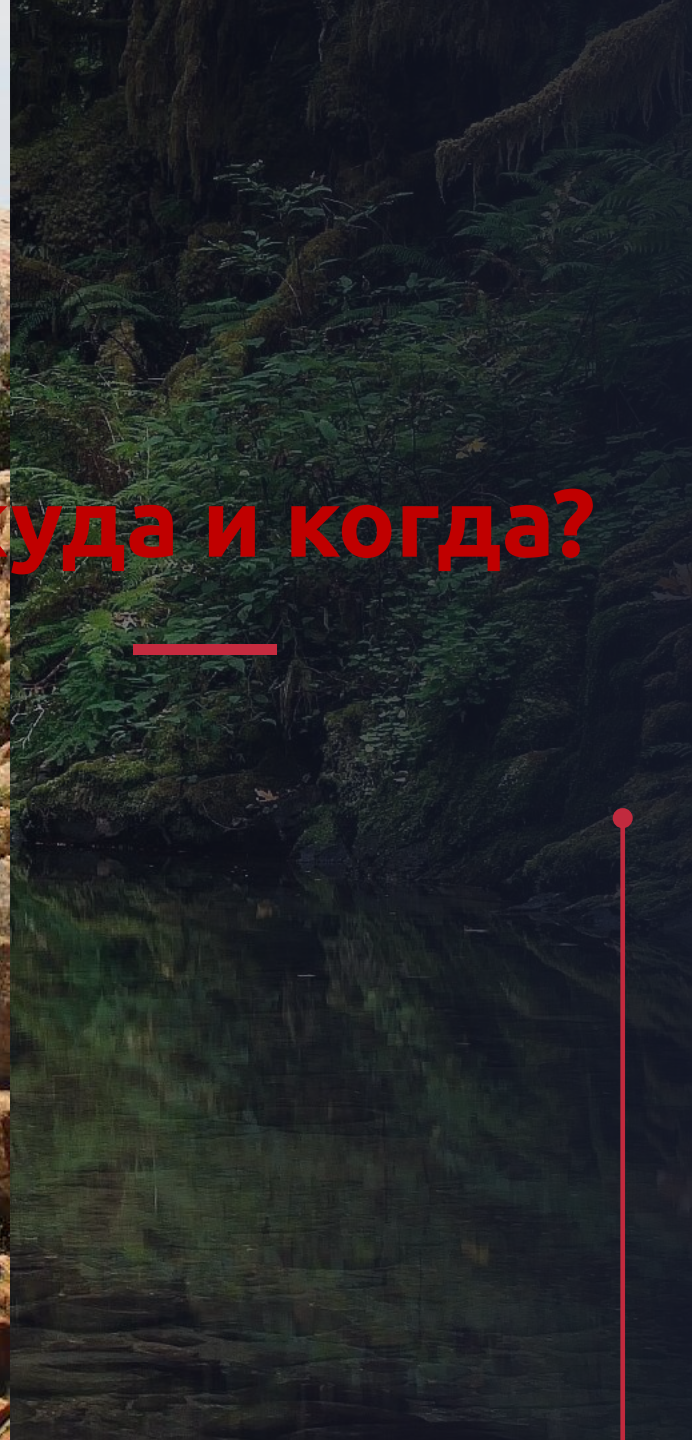
Жеглова П.А. Радостина В.А.

МОСТЫ

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ
КОНСТРУКЦИИ МОСТОВ



Откуда и когда?



САМЫЙ САМЫЙ

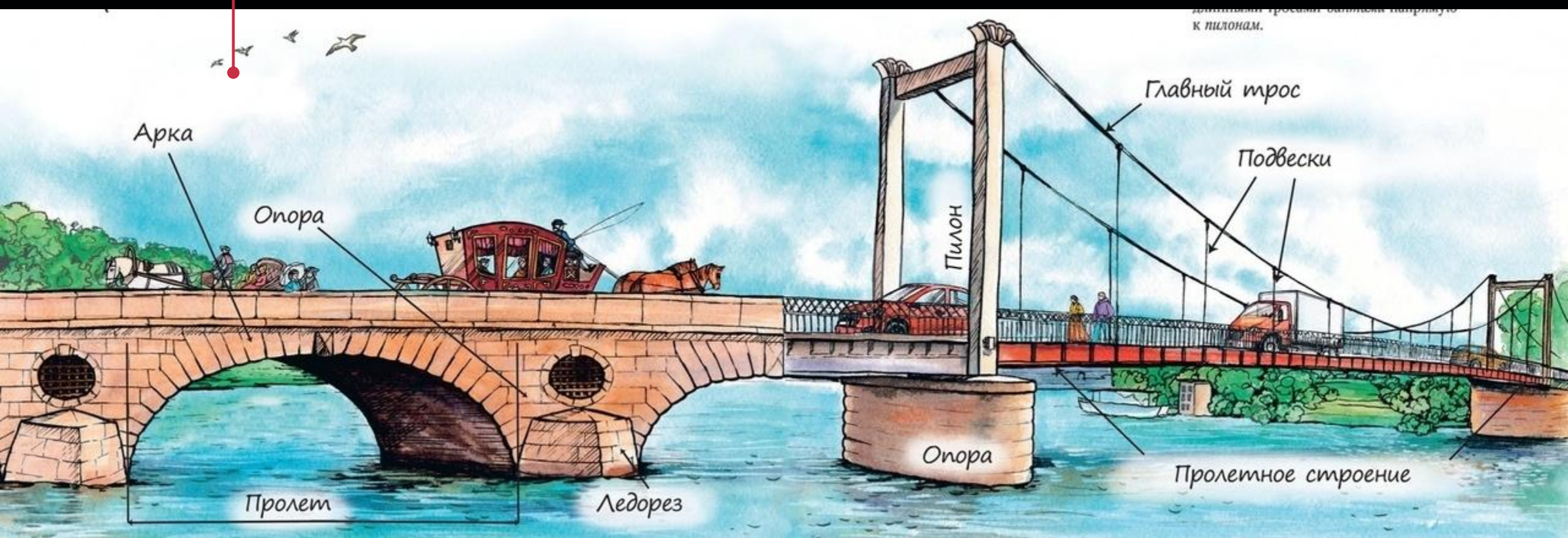
**Чугунный мост в Айронбридж —
первый металлический арочный
мост в мире 1781 г**



**Даньян-Куньшаньский виадук 164,8
км - самый длинный мост в мире**



ЭЛЕМЕНТЫ



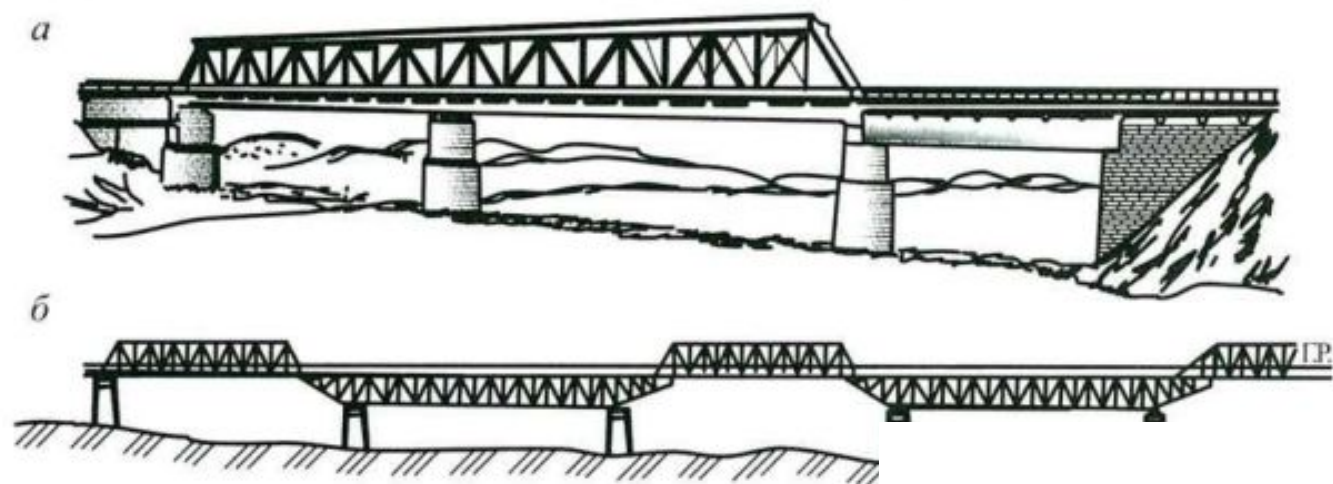
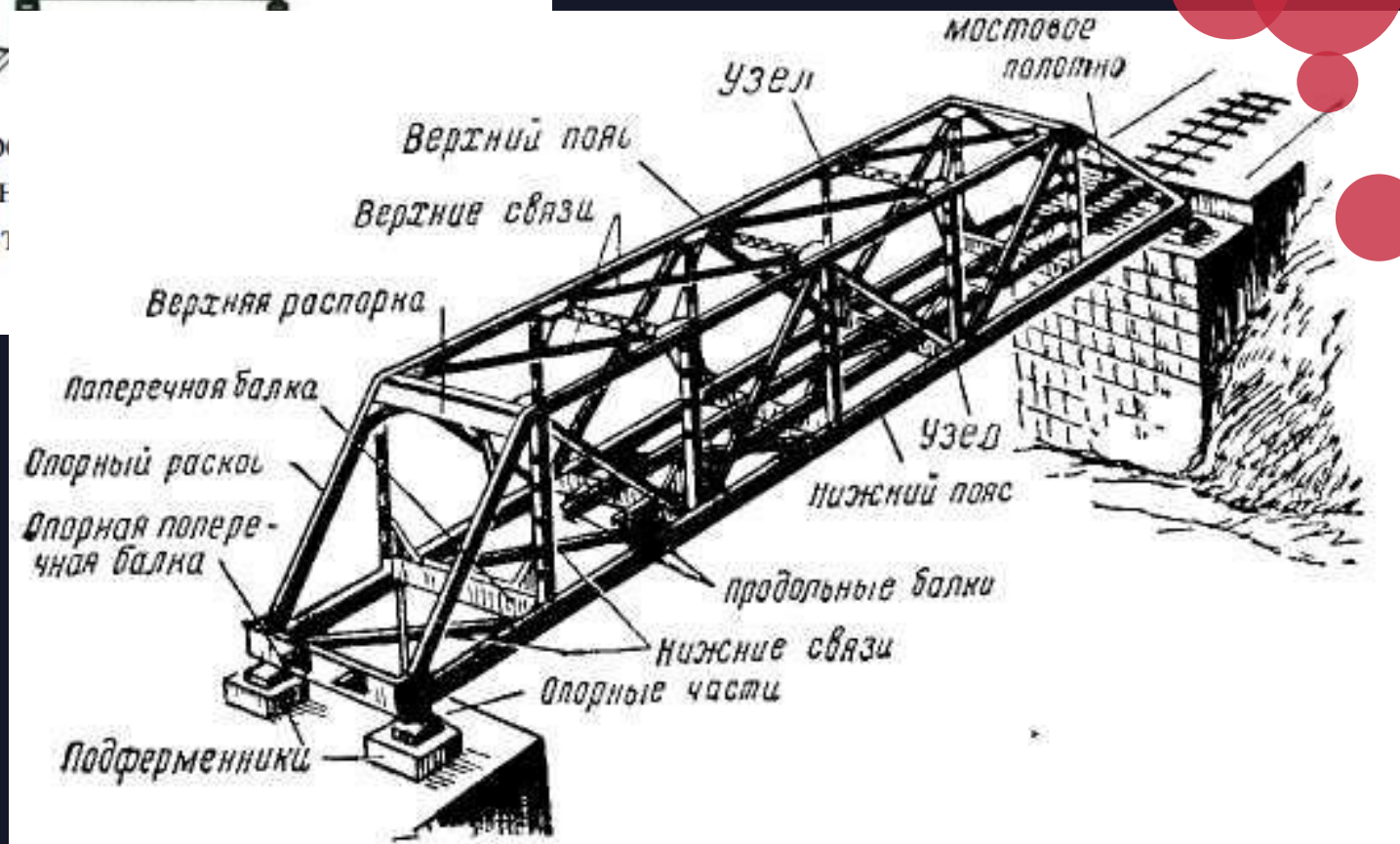


Рис. 7.8. Виды стальных мостов
 а — мост с двухпролетным неразрезным и разрезным;
 б — мост с консольными ст

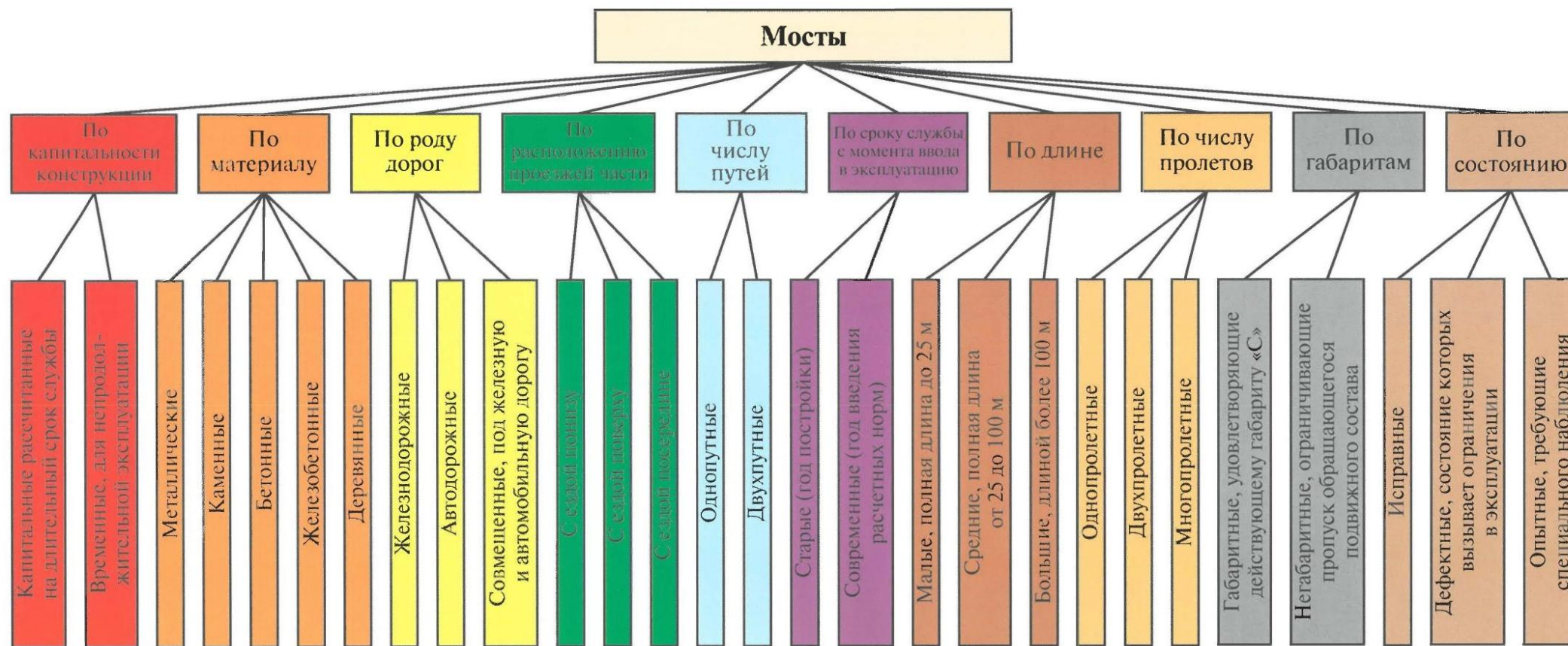


ПОЧЕМУ СТАЛНЫЕ ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ?



КЛАССИФИКАЦИЯ

1.3. Классификация мостов по эксплуатационным данным



ПО КОНСТРУКЦИИ ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ СО СПЛОШНОЙ СТЕНКОЙ

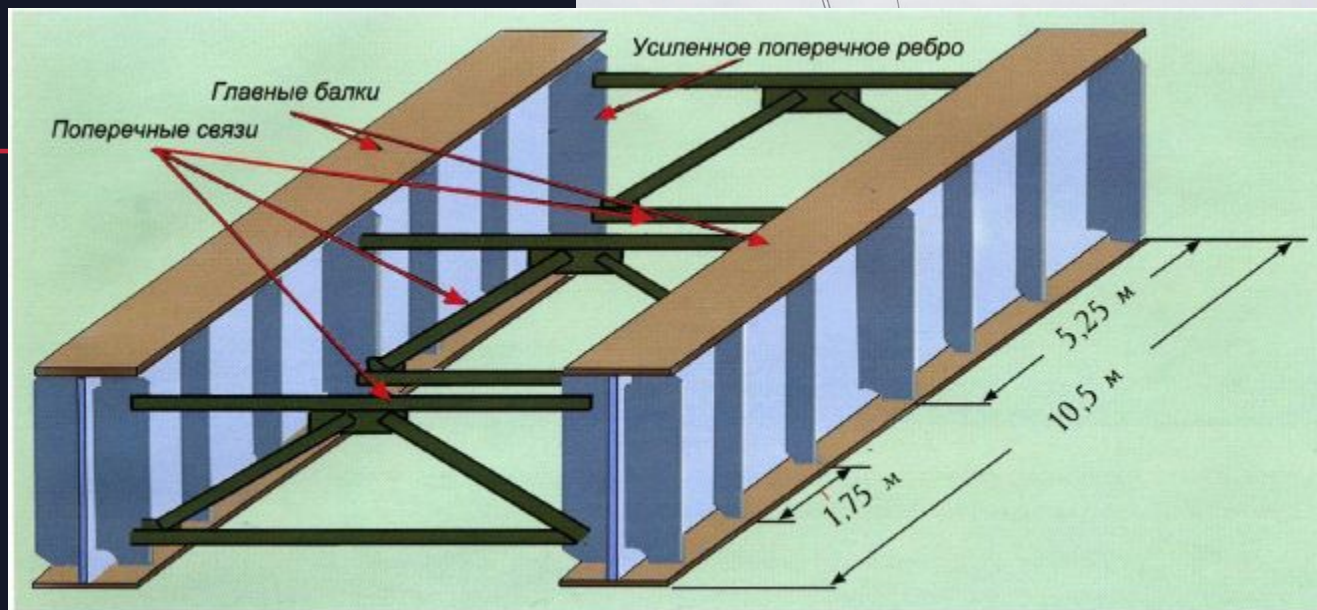


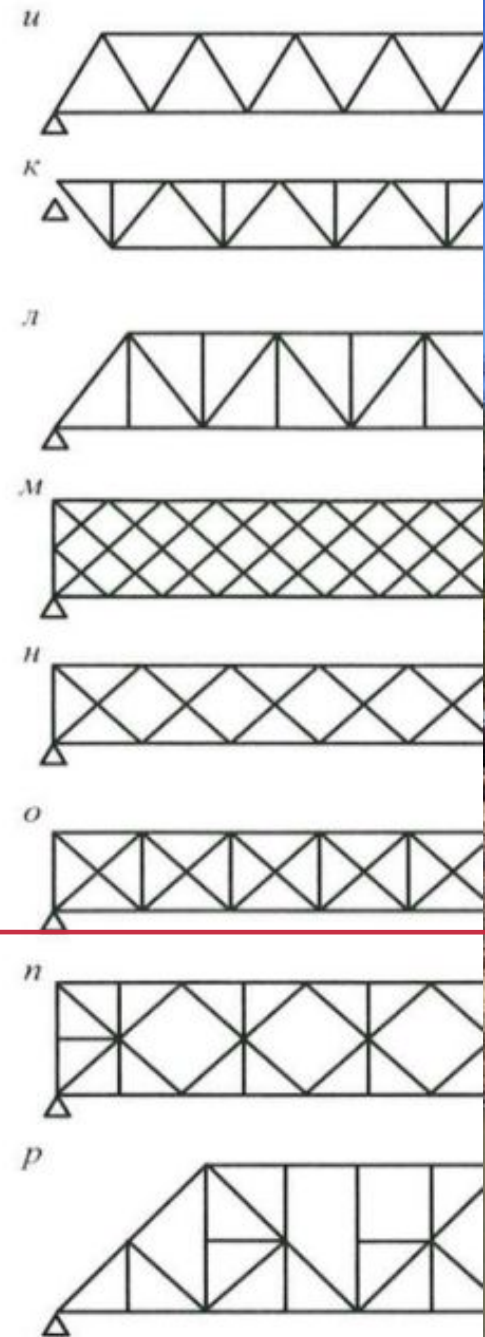
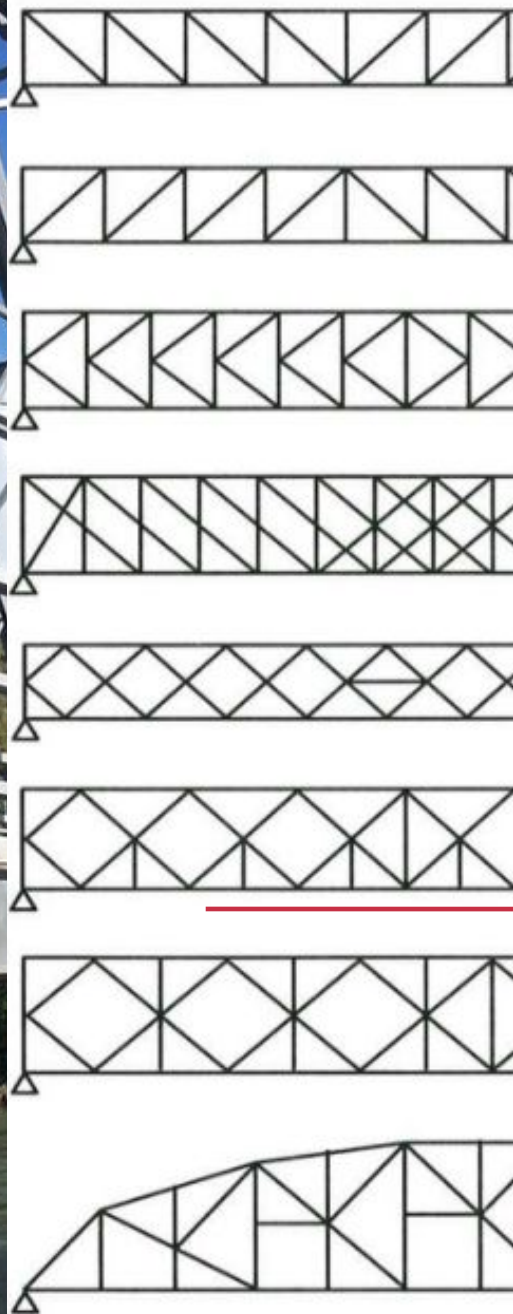
Рис. 10.7

Примечание. Продольные связи не показаны.



со сквозными фермами

схемы решеток



По роду **езды** различаются:



ПОНИЗУ



ПОВЕРХУ



1 БАЛОЧНЫЕ

- разрезные
- консольные
- неразрезные

2 АРОЧНЫЕ

- Одно и многопролетные

3 РАМНЫЕ

пролетные опоры и строение составляют единую конструкцию

4 ВИСЯЧИЕ

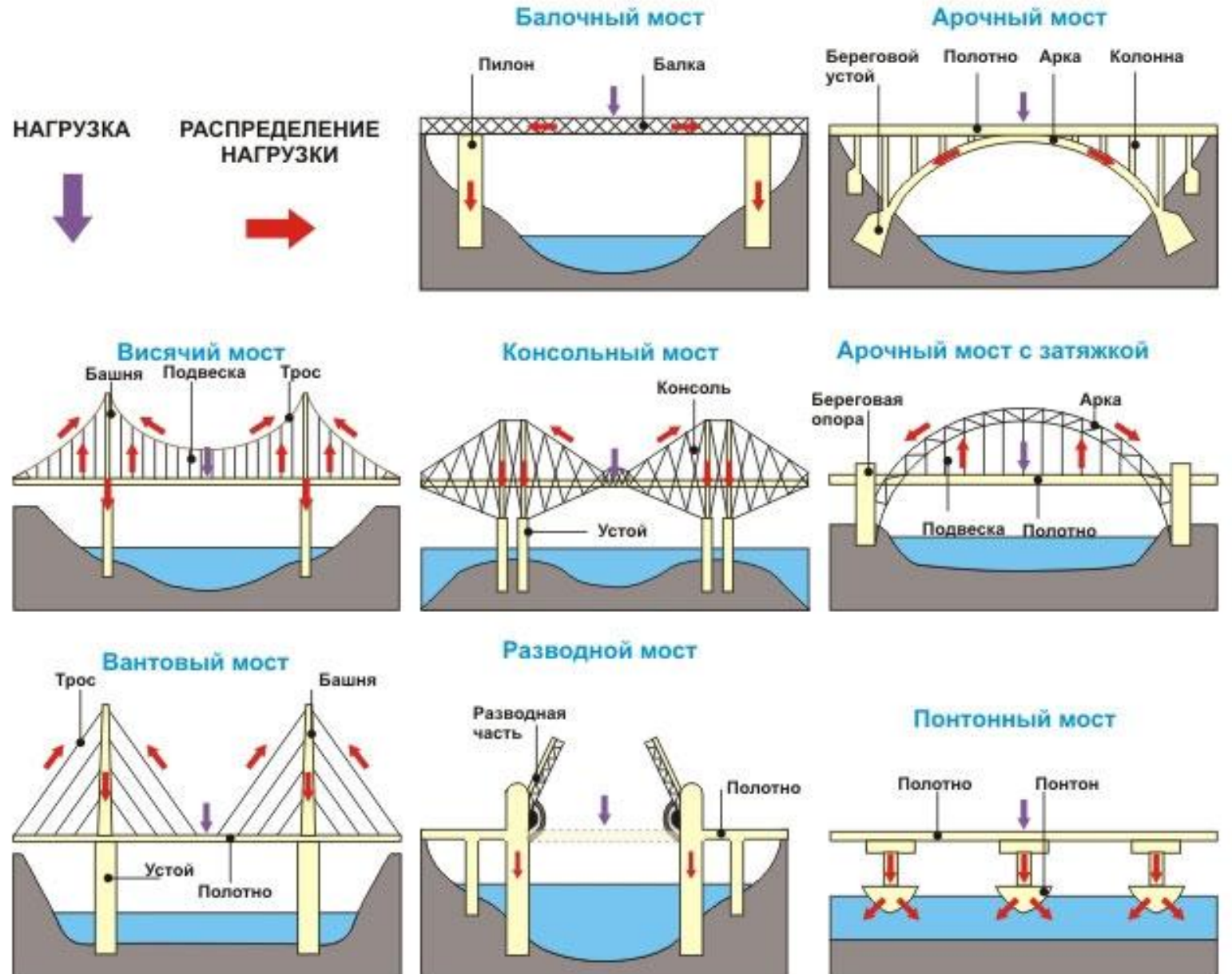
Кон-я выполнена из гибких элементов, к которым можно отнести канаты, цепи

5 ВАНТОВЫЕ

несколько пилонов соединяются с дорожным полотном при помощи стальных тросов (вантов)

6 КОНСОЛЬНЫЕ

пролетные строения свешиваются за пределы опор



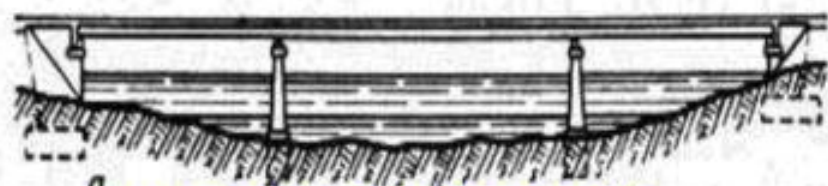
01

БАЛОЧНЫЕ

САМЫЙ МАССОВЫЙ И ПРОСТОЙ ТИП



Системы мостов



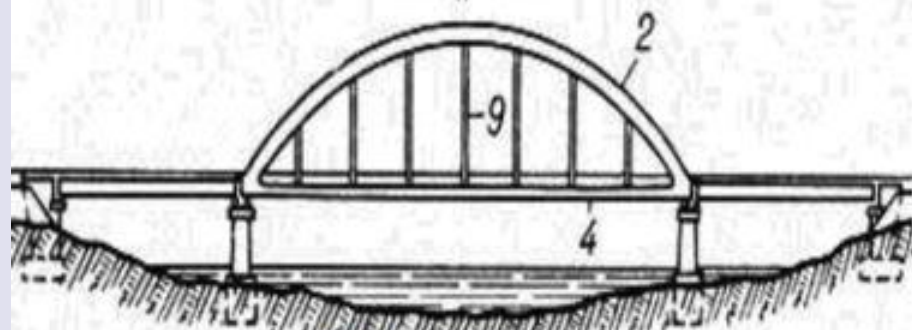
а с неразрезной балкой



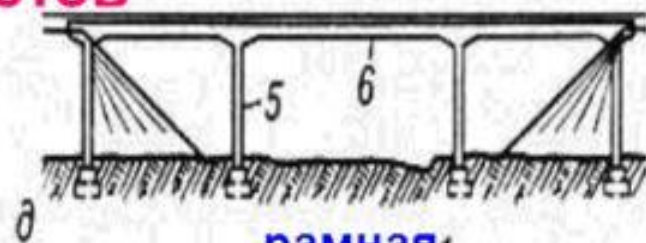
б балочно-консольная



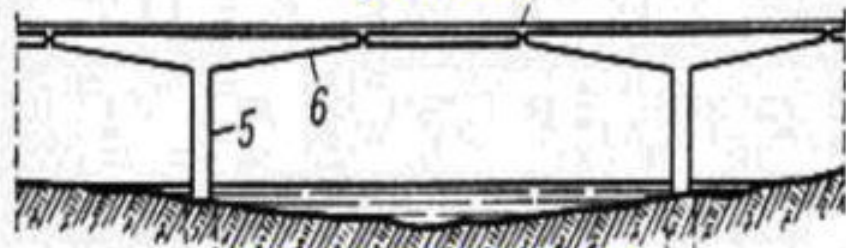
в аточная



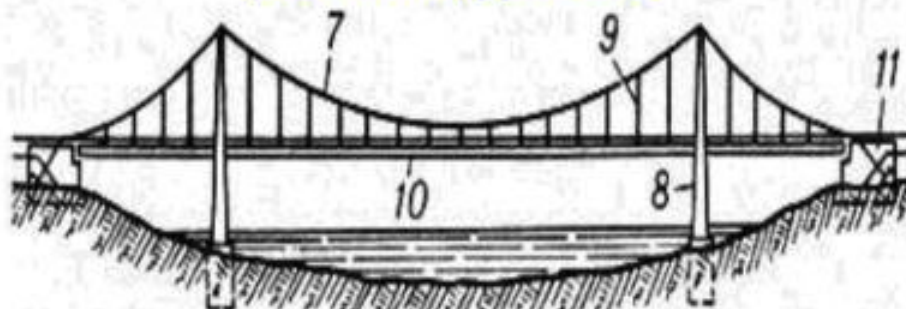
г комбинированная



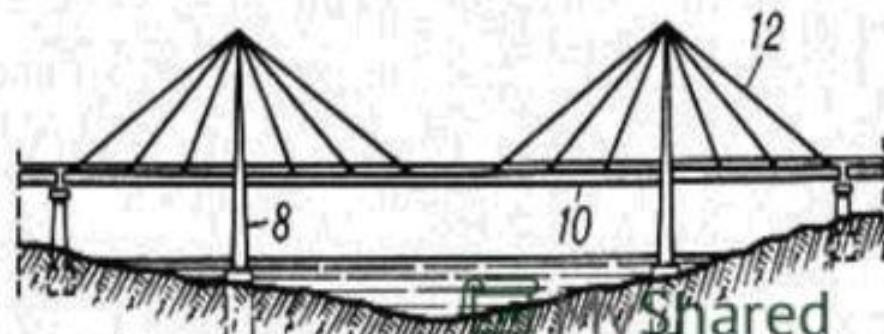
д рамная



е рамно-подвесная



ж висячая



з вантовая

Shared

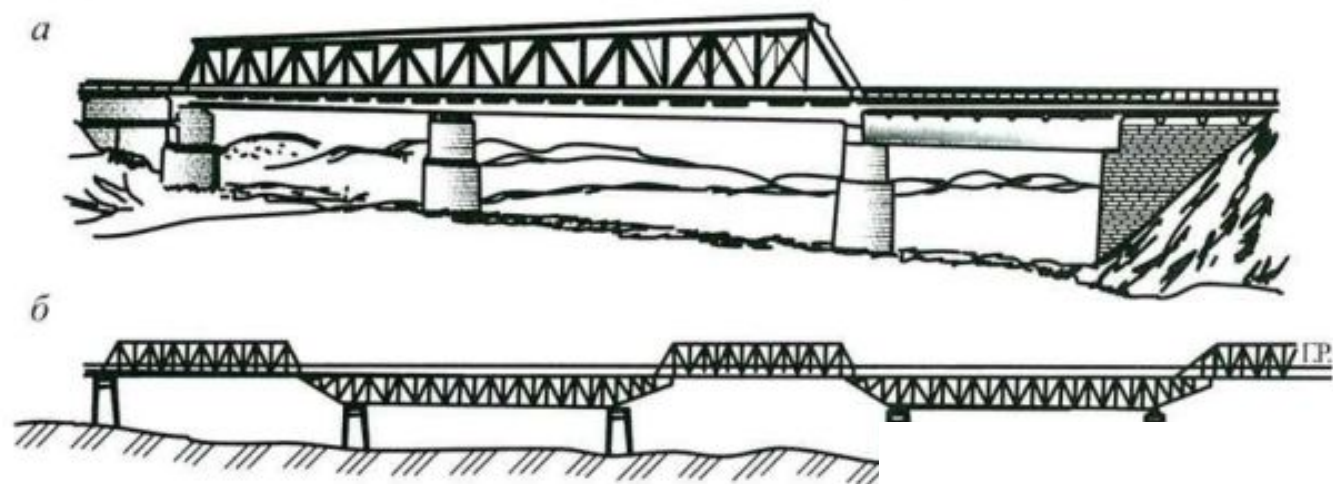
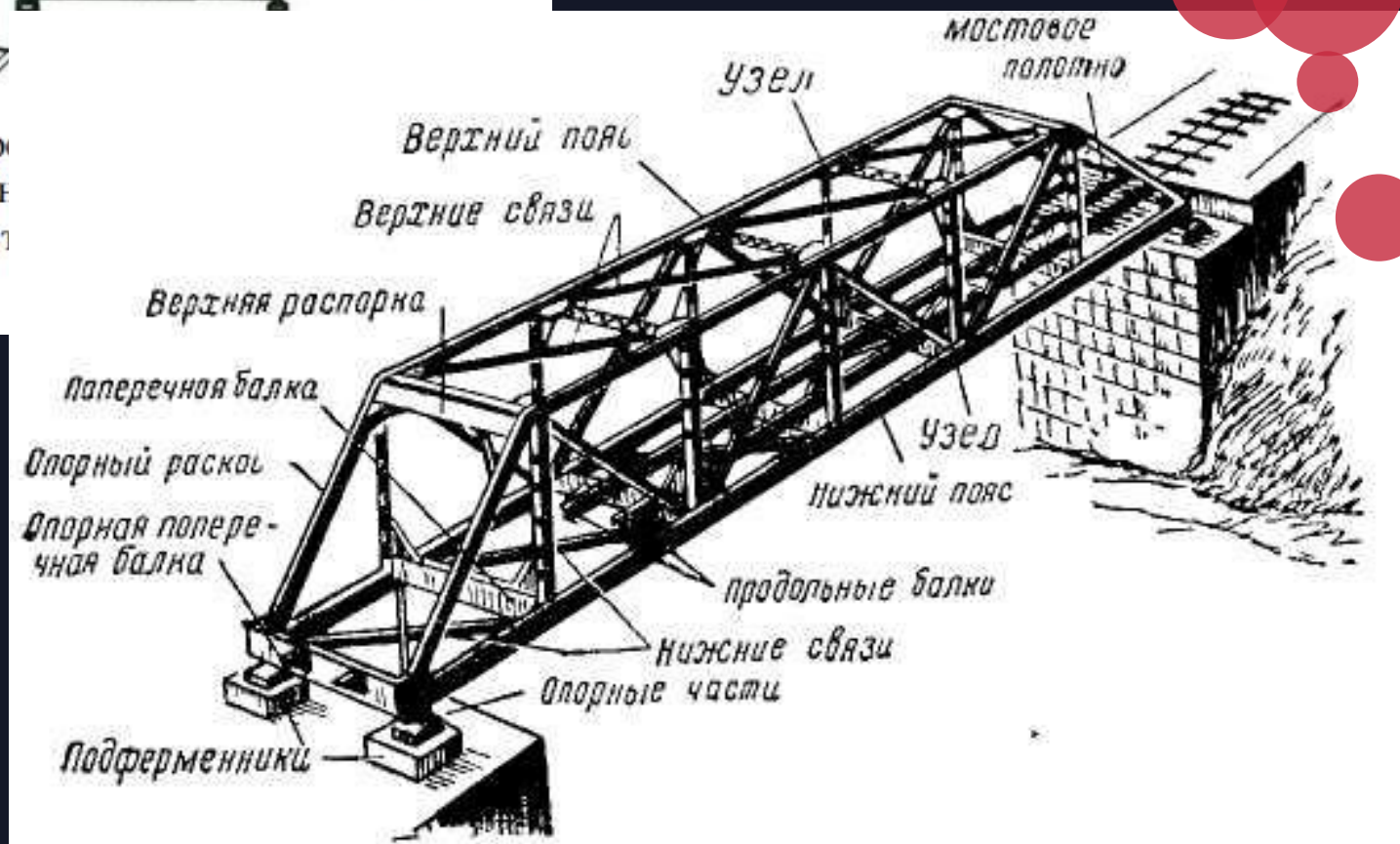


Рис. 7.8. Виды стальных мостов
 а — мост с двухпролетным неразрезным и разрезным;
 б — мост с консольными ст



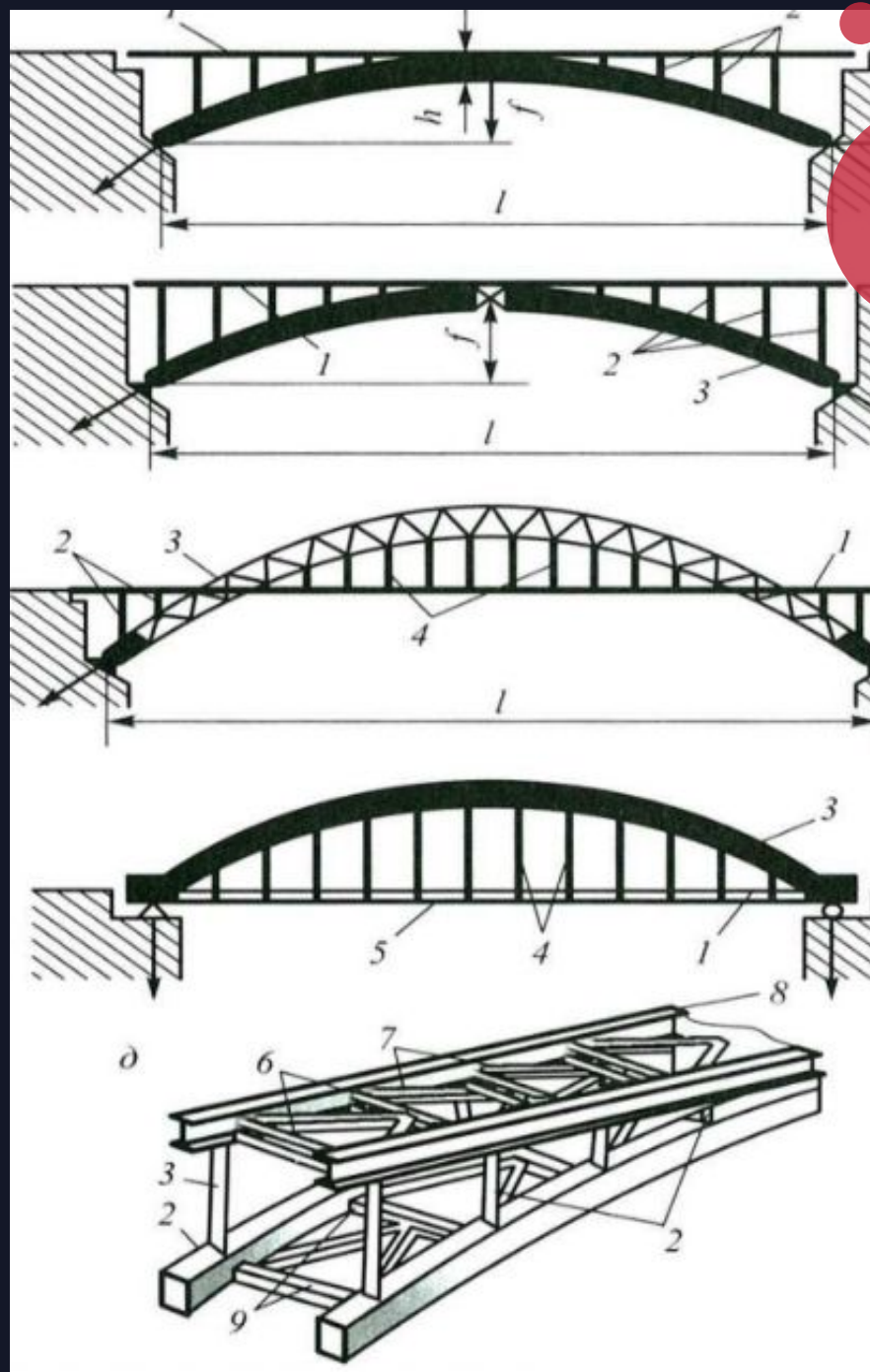
02

АРОЧНЫЕ

АРОЧНЫЙ ПРОЧНЕЕ И ГИБЧЕ
БАЛОЧНОГО МОСТА



Рис. 7.14. Основные системы металлических арочных мостов:
а — арочный двухшарнирный однопролетный мост с ездой поверху; *б* — трехшарнирный мост с ездой поверху; *в* — арочный мост с ездой посередине; *г* — арка с жесткой затяжкой; *д* — деталь конструкции арки; *1* — конструкция проезжей части; *2* — надарочные стойки; *3* — арка; *4* — подвески; *5* — затяжка; *6* — поперечные балки; *7* — связи в уровне проезжей части; *8* — продольная балка; *9* — связи вдоль арок (нижние связи)



03

РАМНЫЕ

- ХОРОШАЯ ВИДИМОСТЬ ПОД МОСТОМ ВСЛЕДСТВИЕ МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ СТОЕК
- ПОВЫШЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ ЗА СЧЕТ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ РИГЕЛЕЙ И СТОЕК
предназначенны для пересечения
глубоких ущелий



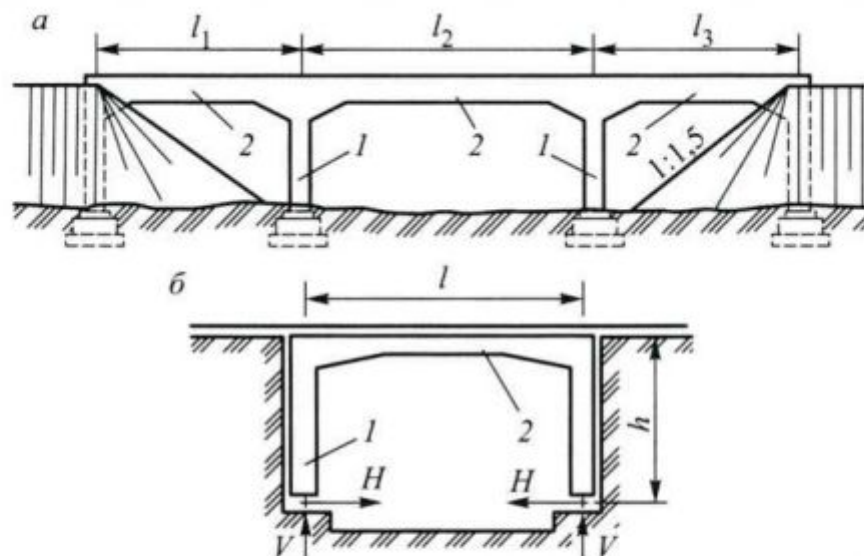


Рис. 7.9. Схемы рамных мостов:

a — рамный неразрезной трехпролетный мост; *б* — рамный однопролетный мост; *1* — стойки; *2* — ригель; *l* — пролет однопролетного рамного моста; *l*₁, *l*₂, *l*₃ — пролеты многопролетного рамного моста; *h* — высота рамы; *H* — горизонтальная опорная реакция; *V* — вертикальная опорная реакция

04

ВИСЯЧИЕ

ДЛИНА МОСТА ВЕЛИКА, НО НЕТ
ВОЗМОЖНОСТИ УСТАНОВИТЬ
ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ОПОРЫ



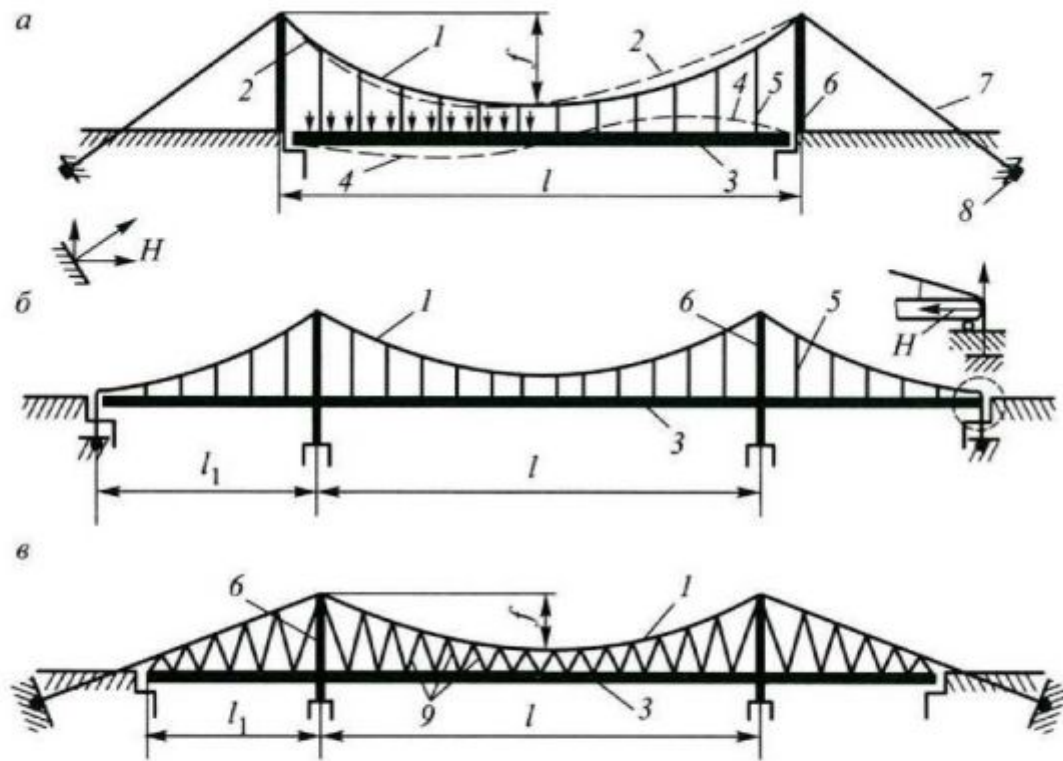


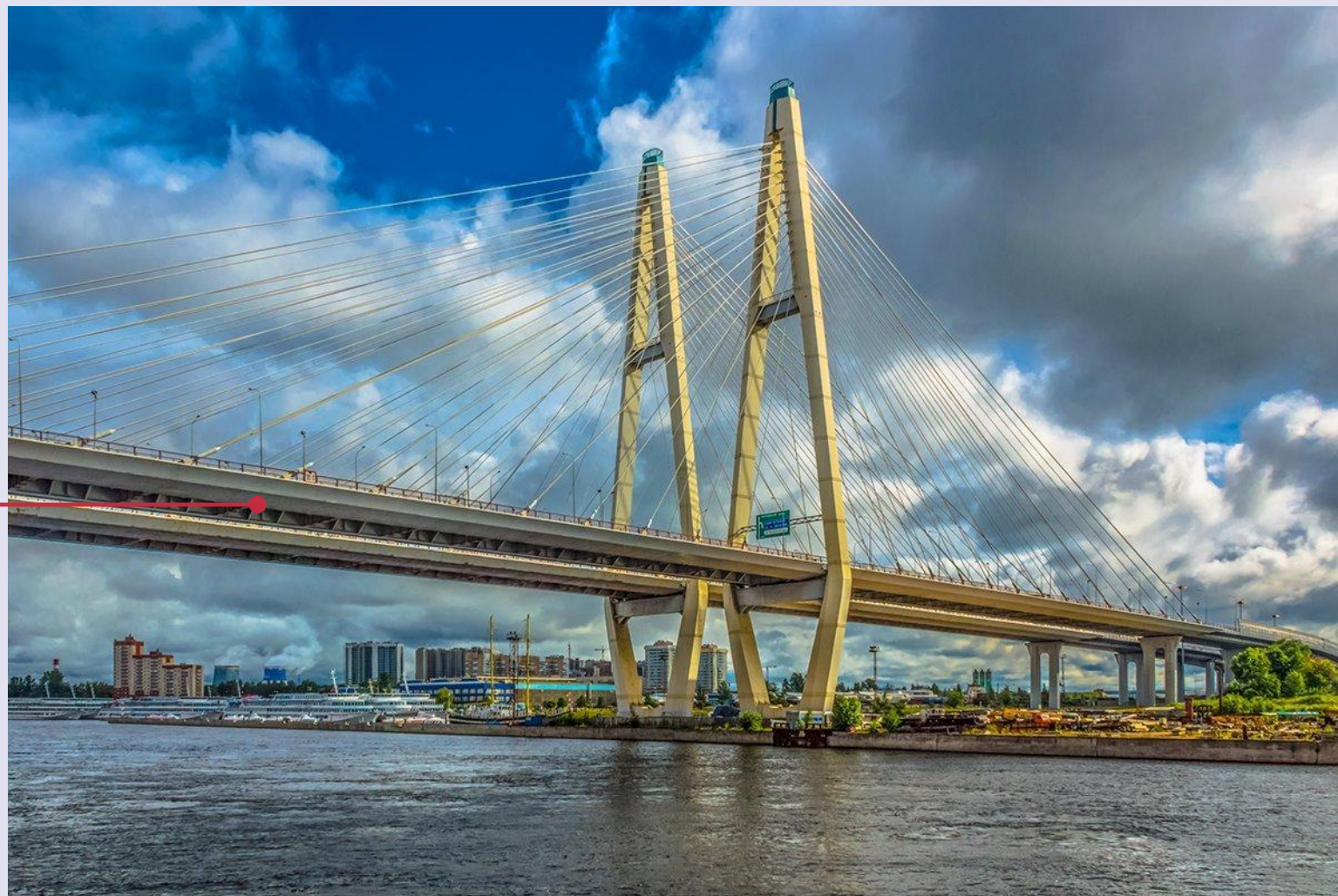
Рис. 7.11. Схемы висячих мостов:

a — с балкой жесткости; *б* — с закреплением кабелей в устоях; *в* — с наклонными подвесками; 1 — кабель; 2 — деформированное состояние кабеля при загрузке левого пролета; 3 — балка жесткости; 4 — деформированное состояние балки жесткости при загрузке полупролета; 5 — вертикальная подвеска; 6 — пилон; 7 — оттяжка; 8 — анкерное закрепление оттяжки; 9 — наклонные подвески

05

ВАНТОВЫЕ

- ЛЕГКОСТЬ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
- БОЛЬШАЯ ПЕРЕКРЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ
- ВЫСОКАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ



06

КОНСОЛЬНЫЕ

ПРИМЕНЯЮТСЯ ПРИ БОЛЬШОЙ ДЛИНЕ
И ШИРИНЕ ПРОЛЕТОВ



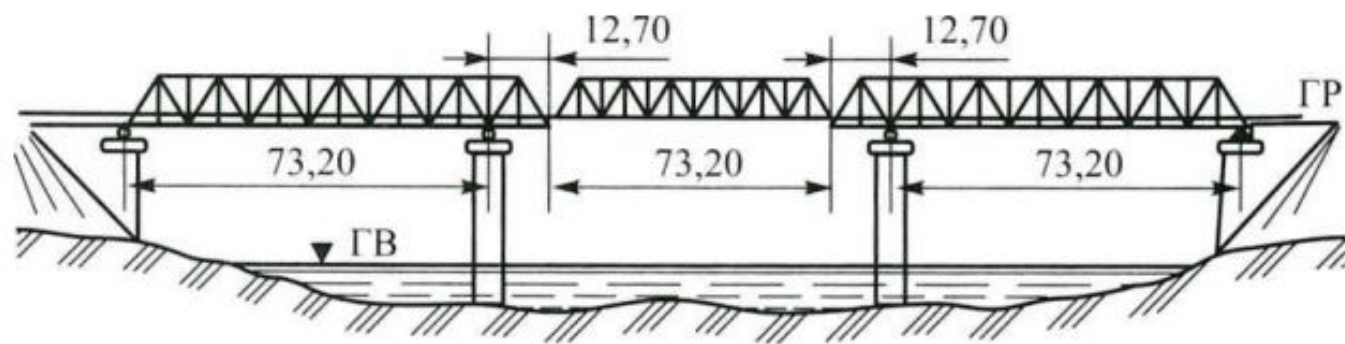


Рис. 7.13. Балочно-консольные пролетные строения



Соединение элементов



НА ЗАКЛЕПКАХ

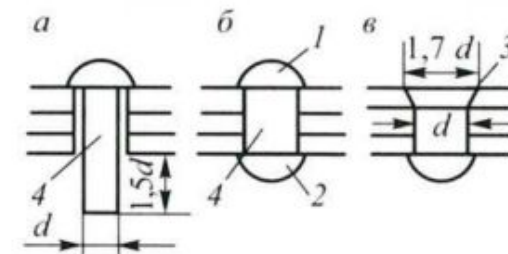


Рис. 7.2. Виды заклепок:
а — до клепки; *б* — после клепки;
в — с потайной головкой; 1 — за-
 кладная головка; 2 — замыкающая
 головка; 3 — потайная головка;
 4 — стержень

НА ОБЫЧНЫХ БОЛТАХ

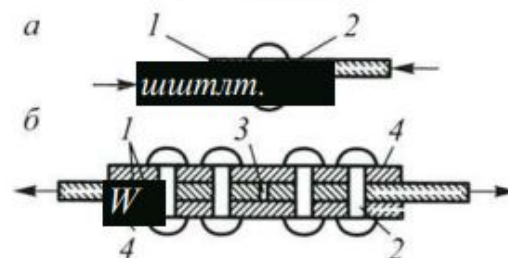


Рис. 7.3. Соединения на заклепках: *а* — односрезное соединение — со-
 единение внахлестку; *б* — двухсрез-
 ное соединение — соединение встык
 с двумя накладками; 1 — срез; 2 —
 смятие; 3 — стык; 4 — накладка

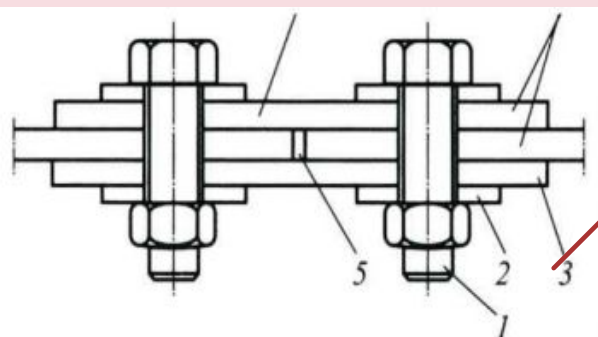


Рис. 7.4. Стык на высокопрочных болтах:
 1 — болт; 2 — шайба; 3 — накладка;
 4 — поверхности трения; 5 — стык

НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

РАСЧЕТ

металлических пролетных строений

Нормативная база:

- **СП 35.13330.2011 Мосты и Трубы.** Свод правил содержит нормы по проектированию новых и реконструкции существующих мостовых сооружений и труб под насыпями.
- **СП 443.1325800.2019 Мосты с конструкциями из алюминиевых сплавов.** Настоящий свод правил распространяется на проектирование новых и реконструируемых мостовых сооружений, предназначенных для пропуска пешеходов.
- **СП 16.13330.2017 Стальные конструкции.**
- **СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.**

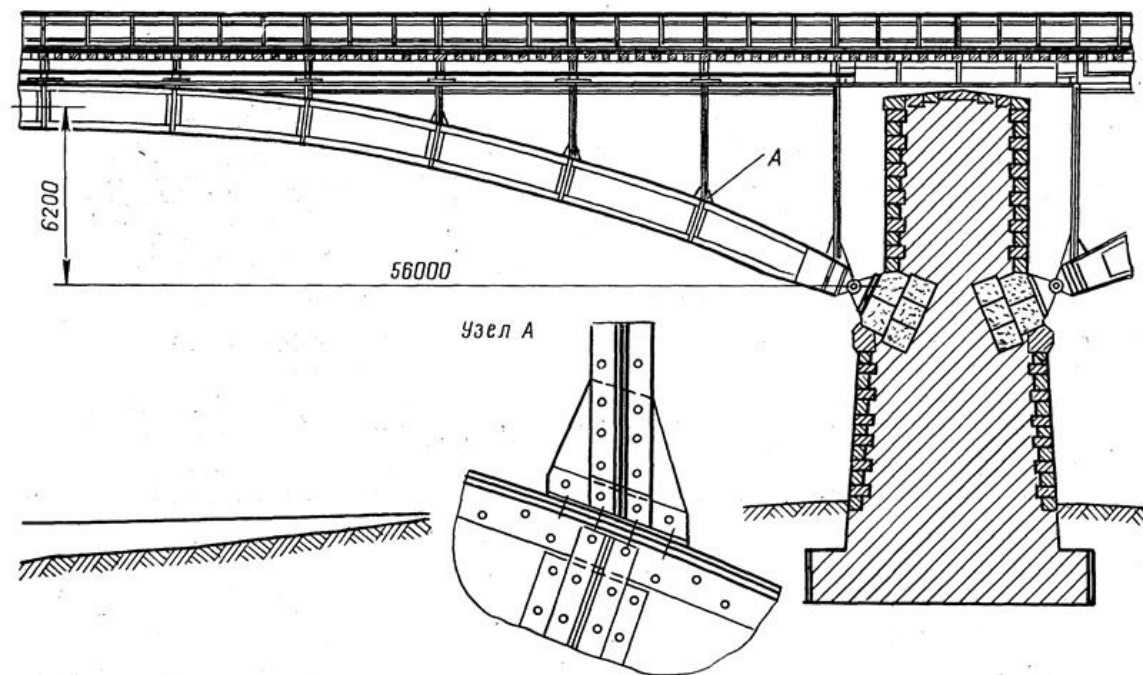


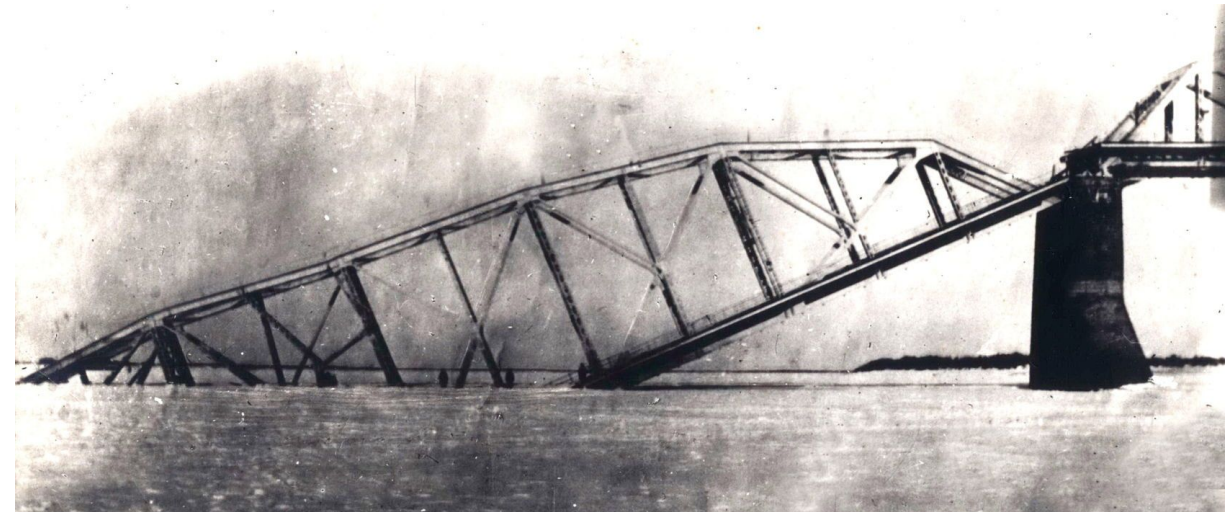
Рис. 261. Фрагмент моста

МЕТОД РАСЧЕТА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Мосты и другие искусственные сооружения рассчитывают по методу предельных состояний: по первой группе, гарантирующей сооружение от нарушения эксплуатации в связи с истощением прочности, устойчивости или выносливости, то есть несущей способности, и по второй группе, гарантирующей сооружение от появления недопустимых перемещений – деформаций (прогибов, осадок, углов поворота, колебаний, трещин). Нормальной считается эксплуатация, осуществляемая без ограничений и внеочередного ремонта.

Основные данные для проектирования мостов:

1. Габариты мостов: – габариты приближения конструкций (габарит моста); – подмостовые габариты на судоходных и сплавных реках.
2. Временные нагрузки от подвижного состава и пешеходов.



Сбор нагрузок

Конструкции мостов и труб следует рассчитывать на нагрузки и воздействия и их сочетания, принимаемые в соответствии с таблицей:

Номер нагрузки (воздействия)	Нагрузки и воздействия	Номер нагрузки (воздействия), не учитываемой в сочетании с данной нагрузкой (воздействием)
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		
От подвижного состава и пешеходов		
7	Вертикальные нагрузки	16, 17
8	Давление грунта от подвижного состава	16, 17
9	Горизонтальная поперечная нагрузка от центробежной силы	10, 16, 17
10	Горизонтальные поперечные удары подвижного состава	9, 11, 12, 16 - 18
11	Горизонтальная продольная нагрузка от торможения или силы тяги	10, 13, 14, 16, 17
В. Прочие		
12	Ветровая нагрузка	10, 14, 18
13	Ледовая нагрузка	11, 14, 16, 18
14	Нагрузка от навала судов	11 - 13, 15 - 18
15	Температурные климатические воздействия	14, 18
16	Воздействие морозного пучения грунта	7 - 11, 13, 14, 18
17	Строительные нагрузки	7 - 11, 14, 18
18	Сейсмические нагрузки	10, 12 - 17
19	Трение и сопротивление сдвигу в опорных частях	11, 14, 18
Примечания. 1. Расчеты на выносливость производят на сочетания, в которые кроме постоянных нагрузок и воздействий входят временные нагрузки N 7 - 9, при этом вертикальную нагрузку от пешеходов на тротуарах с вертикальной нагрузкой от подвижного состава совместно учитывать не следует. 2. Расчеты по предельным состояниям II группы следует производить только на сочетания нагрузок и воздействий N 1 - 9, 15 и 17. При этом в расчетах железобетонных конструкций по трещиностойкости также надлежит учитывать нагрузку N 11, а при расчете горизонтальных перемещений верха опор - нагрузки N 10, 12 и 13. 3. Для пешеходных мостов закрытого типа следует учитывать снеговую нагрузку согласно СП 20.13330.		

Величины нагрузок и воздействий для расчета конструкций по всем группам предельных состояний принимают с коэффициентами надежности по нагрузке γ_f (согласно 6.10, 6.23 и 6.32 для соответствующих нормативных нагрузок и воздействий) и динамическими коэффициентами $1 + \mu$ или $1 + 2/3\mu$, указанными в 6.22 согласно таблице 6.2.

Группа предельного состояния	Вид расчета	Вводимый коэффициент	
		ко всем нагрузкам и воздействиям, кроме подвижной вертикальной	к подвижной вертикальной нагрузке*
I	а) Все расчеты, кроме перечисленных в «б» - «г»	γ_f	$\gamma_f; 1 + \mu$
	б) На выносливость	$\gamma_f = 1$	$\gamma_f = 1; 1 + 2/3\mu$
	в) По устойчивости положения	γ_f	γ_f^{***}
	г) На сочетания, включающие сейсмическую нагрузку	γ_f^{**}	γ_f
II	Все расчеты, включая расчеты по образованию и раскрытию трещин в железобетоне	$\gamma_f = 1$	$\gamma_f = 1$

* Во всех неговоренных случаях (кроме нагрузки от кранов по [6.30](#)) динамический коэффициент следует принимать $1 + \mu = 1$.

** Для сейсмических нагрузок следует принимать $\gamma_f = 1$.

*** К порожнему составу железных дорог и метрополитена следует принимать $\gamma_f = 1$.

Постоянные нагрузки и воздействия

- 1) Нормативную вертикальную нагрузку от собственного веса конструкций, а также постоянных смотровых приспособлений, опор и проводов линий электрификации и связи, трубопроводов и т.д. следует определять по проектным объемам. Для балочных пролетных строений нагрузку от собственного веса допускается принимать равномерно распределенной по длине пролета, если величина ее на отдельных участках отклоняется от средней величины не более чем на 10 %.
- 2) Нормативное давление грунта от веса насыпи на опоры мостов и следует определять по формулам, кПа:

а) вертикальное давление:

для опор мостов

б) горизонтальное (боковое) давление

$$p_n = \gamma_n h_x \tau_n, \quad (6.3)$$

где h , h_x - высота засыпки, м, определяемая для устоев мостов по приложению [Е](#), для звеньев труб - приложению [Ж](#);

γ_n - нормативный удельный вес грунта, кН/м;

- 3) Нормативное гидростатическое давление (взвешивающее действие воды) следует определять в соответствии с указаниями раздела 11.
- 4) Нормативное воздействие от транспорта следует определять в соответствии с указаниями раздела 12.

результатам расчета осадок

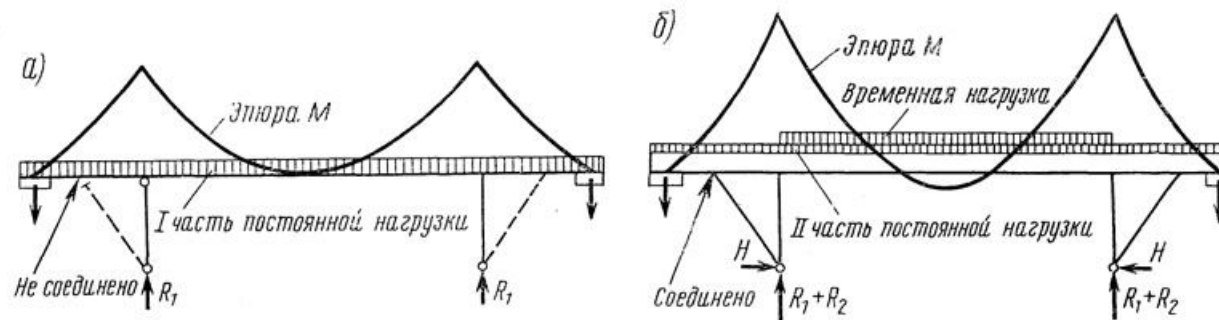


Рис. 83. Схема работы конструкции моста при последовательных стадиях загрузки:
а — I стадия работы; б — II стадия работы

Временные нагрузки и воздействия

1) Нормативная временная вертикальная нагрузка от подвижного состава железных дорог (СК)

Нагрузку СК необходимо принимать в расчетах:

- на выносливость;
- железобетонных конструкций по раскрытию трещин, по сейсмическим нагрузкам, а также при определении прогибов пролетных строений и перемещений опор - на всех загружаемых путях; при загрузках второго и третьего путей - во всех других случаях.

2) Нормативная временная вертикальная нагрузка от подвижного состава на автомобильных дорогах

а) от автотранспортных средств - в виде полос АК (рисунок 6.1, а), каждая из которых включает одну двухосную тележку с осевой нагрузкой $10\mathcal{K}$ (кН) и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью v (на обе колеи) - $\mathcal{K}$ (кН/м), где c - длина, м, соприкосновения колеса с покрытием проезжей части.

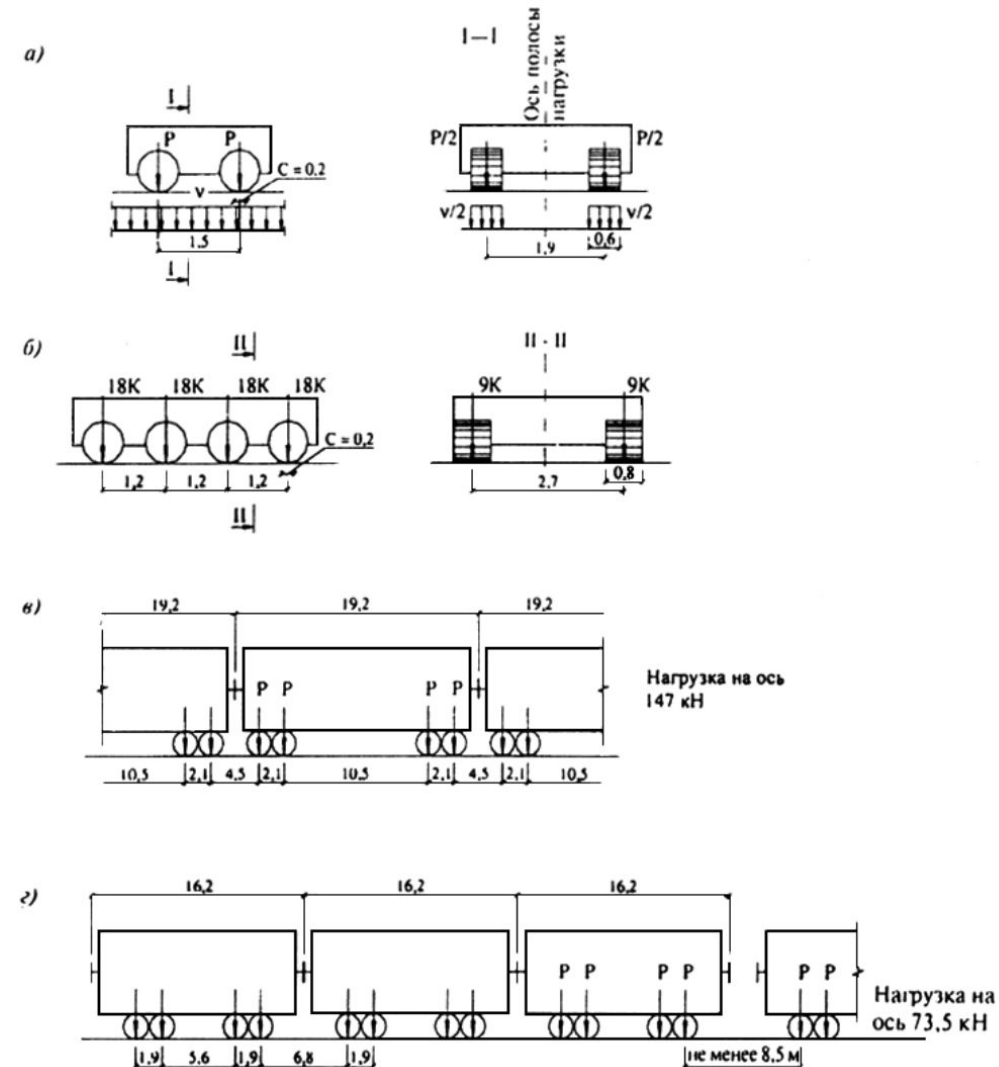
б) от тяжелых одиночных нагрузок НК (рисунок 6.1, б) для мостов и труб, проектируемых:

под нагрузку А14 - в виде четырехосной тележки Н14 с нагрузкой на ось $18\mathcal{K}$ (кН);

под нагрузку А11 - то же, в виде тележки Н11 с нагрузкой на ось 196 кН;

в) от подвижного состава метрополитена с каждого пути - в виде поезда расчетной длины, состоящего из четырехосных вагонов (рисунок 6.1, в) общим весом каждого загруженного вагона 588 кН. При загрузке линий влияния, имеющих два или более участков одного знака, разделяющие их участки другого знака следует загружать порожними вагонами весом каждый 294 кН;

г) от трамваев (при расположении трамвайных путей на самостоятельном огражденном или обособленном полотне) с каждого пути - в виде поездов из четырехосных вагонов (рисунок 6.1, г) общим весом каждого загруженного вагона 294 кН и порожнего - 147 кН; число вагонов в поезде и расстояние между поездами должны соответствовать самому неблагоприятному загрузке при следующих ограничениях: число вагонов в одном поезде - не более четырех; расстояния между крайними осями рядом расположенных поездов - не менее $8,5$ м.



3) Нормативное горизонтальное (боковое) давление грунта на устои мостов (и промежуточные опоры, если они расположены внутри конусов) от подвижного состава, находящегося на призме обрушения.

4) Нормативная горизонтальная поперечная нагрузка от центробежной силы для мостов, расположенных на кривых.

5) Нормативную горизонтальную продольную нагрузку от торможения или сил тяги подвижного состава

6) Нормативную временную нагрузку для пешеходных мостов, тротуаров и служебных проходов следует принимать в виде:

1) вертикальной равномерно распределенной нагрузки:

а) на пешеходные мосты - 4,0 кПа;

б) на тротуары автодорожных мостов - при отсутствии нагрузки АК - 4,0 кПа, при учете совместно с нагрузкой АК - 3,0 кПа;

2) равномерно распределенной нагрузки, учитываемой при отсутствии других нагрузок:

а) вертикальной - при расчете только элементов тротуаров железнодорожных мостов и мостов метрополитена с устройством пути на балласте - 10,0 кПа, при расчете элементов тротуаров на прочих мостах - 4,0 кПа;

б) вертикальной и горизонтальной - при расчете перил городских мостов - 1,0 кН/м;

3) сосредоточенных давлений, учитываемых при отсутствии других нагрузок:

а) вертикального - при расчете элементов тротуаров городских мостов - 10,0 кН с площадкой распределения от колеса автомобиля 0,015 м² (0,15·0,10 м), прочих мостов - 3,4 кН;

б) вертикального или горизонтального при расчете перил мостов - 1,27 кН.

Прочие временные нагрузки и воздействия:

Прочие временные нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Ветровые нагрузки:	
при эксплуатации моста	1,4
при строительстве и монтаже	1,0
Ледовая нагрузка	1,2
Нагрузка от навала судов	1,2
Температурные климатические воздействия	1,2
Воздействие морозного пучения грунта	1,3
Воздействие сопротивления от прения в подвижных опорных частях	по 6.28
Строительные нагрузки:	
собственный вес вспомогательных обустройств	1,1 (0,9)
вес складываемых материалов и воздействие искусственного регулирования во вспомогательных сооружениях	1,3 (0,8)
вес работающих людей, инструментов, мелкого оборудования	1,3 (0,7)
вес кранов, копров и транспортных средств	1,1 (1,0)
усилия от гидравлических домкратов и электрических лебедок при подъеме и передвижке	1,3 (1,0)
усилия от трения при перемещении пролетных строений и других грузов:	
на салазках	1,3 (1,0)
на катках	1,1 (1,0)
на тележках	1,2 (1,0)
Примечания	
1 Значения γ_f , указанные в скобках, принимают в случаях, когда при невыгодном сочетании нагрузок увеличивается их суммарное воздействие на элементы конструкции.	
2 Значения γ_f к снеговой нагрузке для пешеходных мостов закрытого типа принимают согласно СП 20.13330 .	

Расчет металлических конструкций моста

Порядок конструирования и расчета следующий:

- 1) при заданной разбивке на пролеты предварительно назначают генеральные размеры конструкции и сечения основных ее элементов;
- 2) производят конструирование и расчет на местную нагрузку ортотропной плиты проезжей части;
- 3) выполняют расчет по прочности, устойчивости, выносливости и деформациям главных несущих элементов, в результате чего уточняют их сечения;
- 4) конструируют и рассчитывают стыки и соединения металлоконструкций;
- 5) разрабатывают прочие элементы пролетного строения (смотровые приспособления, опорные части, деформационные швы, конструкции тротуаров и перил и др.);
- 6) выпускают чертежи КМ со спецификациями деталей и паспортом пролетного строения.

При неудовлетворении условиям одного из предельных состояний или заданным технологическим условиям, при конструктивных ограничениях, «плохих» значениях параметров, нестыковке элементов пролетного строения между собой и в других подобных ситуациях на этапах 2 - 5 проектировщики возвращаются на один из предыдущих этапов, корректируя соответствующие данные.

Расчеты по прочности

Центрально-растянутые и центрально-сжатые элементы

8.25 Расчет по прочности элементов, подверженных центральному растяжению или сжатию силой N , следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y m . \quad (8.4)$$

Здесь и в 8.26 — 8.32 m — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 8.15.

Изгибаемые элементы

8.26 Расчет по прочности элементов, изгибаемых в одной из главных плоскостей, следует выполнять по формуле

$$\frac{M}{\alpha W_n} \leq R_y m , \quad (8.5)$$

где α — коэффициент, учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций в сечении и определяемый по формулам (8.6) и (8.7) при условии выполнения требований 8.32;

W_n — здесь и далее в расчетах по прочности минимальный момент сопротивления сечения нетто, определяемый с учетом эффективной ширины пояса b_{ef} .

Расчет на прочность и ползучесть стальных канатов

8.33 Расчет по прочности стальных канатов гибких несущих элементов в вантовых и висячих мостах, а также напрягаемых элементов предварительно напряженных конструкций следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{A} \leq R_{dh} m m_1, \quad (8.31)$$

где R_{dh} — расчетное сопротивление канатов;

m — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 8.15;

m_1 — коэффициент условий работы, определяемый по приложению У.

Расчеты по устойчивости

8.36 Расчет при плоской форме потери устойчивости сплошностенчатых элементов замкнутого и открытого сечений, подверженных центральному сжатию, сжатию с изгибом и внецентренному сжатию при изгибе в плоскости наибольшей гибкости, следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{A} \leq \varphi R_y m, \quad (8.35)$$

где φ — коэффициент продольного изгиба, определяемый по таблицам Ф.1 — Ф.3 приложения Ф в зависимости от гибкости элемента λ и приведенного относительного эксцентриситета e_{ef} ;
 m — здесь и в 8.38 — 8.41 — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 8.15.

Расчет на выносливость элементов стальных конструкций и их соединений

8.57 Расчет на выносливость элементов стальных конструкций и их соединений (кроме канатов) следует выполнять по формулам:

$$\sigma_{\max, ef} \leq \gamma_w R_y m; \quad (8.63)$$

$$\tau_{\max, ef} \leq 0,75 \gamma_w R_y m, \quad (8.64)$$

где $\sigma_{\max, ef}$ — абсолютное наибольшее нормальное напряжение (растягивающее — положительное);

$\tau_{\max, ef}$ — абсолютное наибольшее скалывающее напряжение при расчете угловых швов на срез (его направление принимается за положительное);

γ_w — коэффициент;

m — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 8.15.

END

Thank you

PRESENTATION

