

Инженерно-гидрометеорологические  
изыскания

**Тема 4.**

**Изыскания мостов и  
водопропускных труб**

Клименко Д.Е., к.г.н., доцент

# Термины и определения

Искусственные сооружения — наиболее сложная часть железных и автомобильных дорог. Их выполняют двух видов: возводимые над поверхностью земли мосты различного типа и водопропускные трубы, устраиваемые через водотоки и другие препятствия; тоннели, сооружаемые под поверхностью земли на пересечении дорогой гор, высоких холмов и при проложении в больших городах линий метрополитенов.

Мосты строили с древнейших времен. Первоначально они имели простую конструкцию. Их возводили из дерева и камня вручную для пешеходного и гужевого движения. Широкие и глубокие реки оказывались трудными для постройки мостов, которые заменяли паромными переправами или наплавными мостами из плотов или судов.

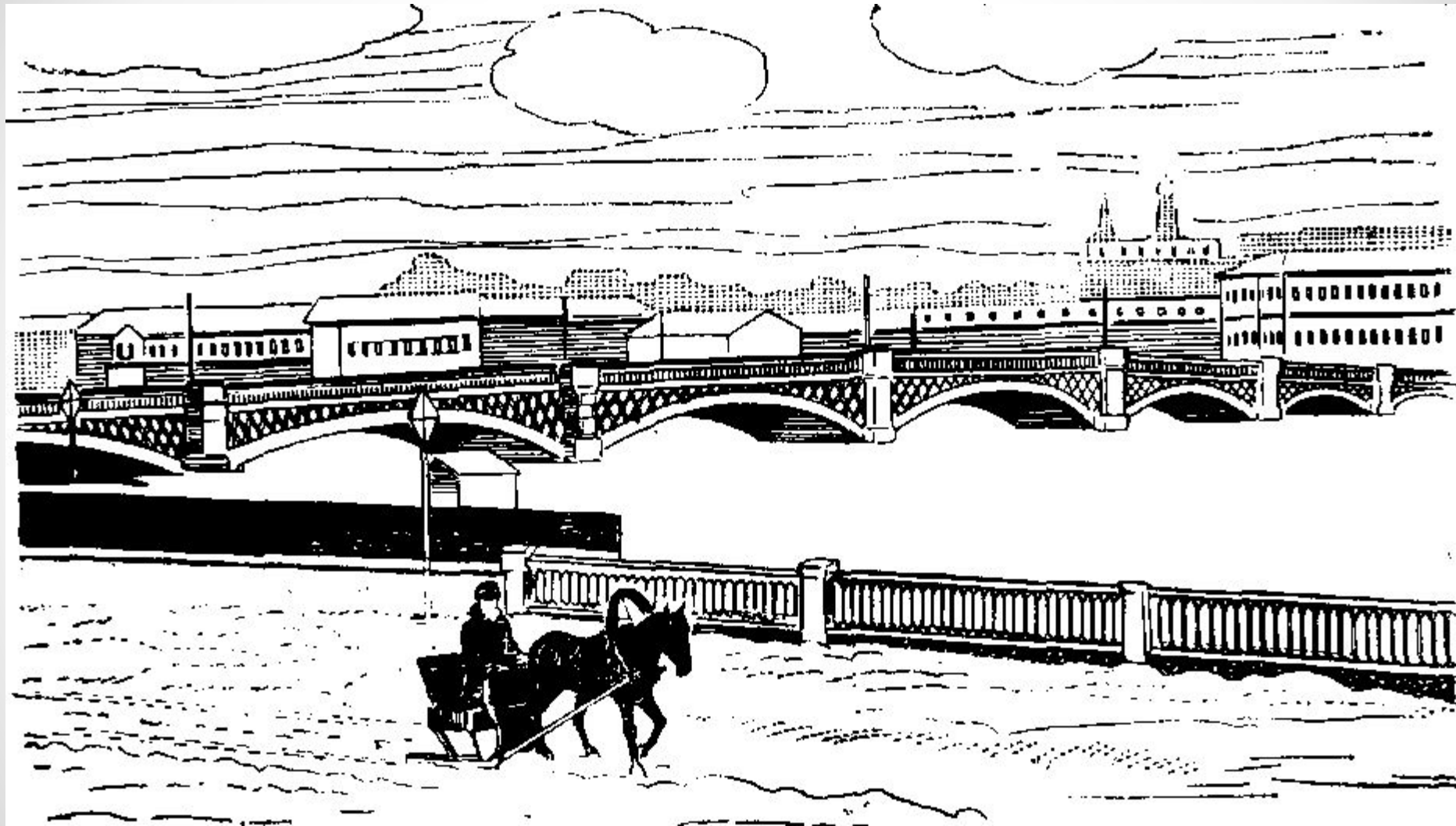
Деревянные мосты вначале сооружали простыми балочными, затем перешли к более сложным конструкциям.

Каменные мосты выполняли из сводов на массивных опорах. Размер опор по фасаду моста достигал одной трети, а в отдельных случаях даже половины пролета. Кладку осуществляли на известковых растворах или тщательной пригонкой отдельных блоков с укладкой их насухо. Много каменных мостов было построено в XV—XIX вв., и они существуют до сих пор в странах Западной Европы — Франции, Италии, Испании и др. Пролеты мостов достигали 90 м, мосты поражали красотой и совершенством своих форм. В нашей стране каменные мосты строили преимущественно в Закавказье. Некоторые из них сохранились до наших дней.

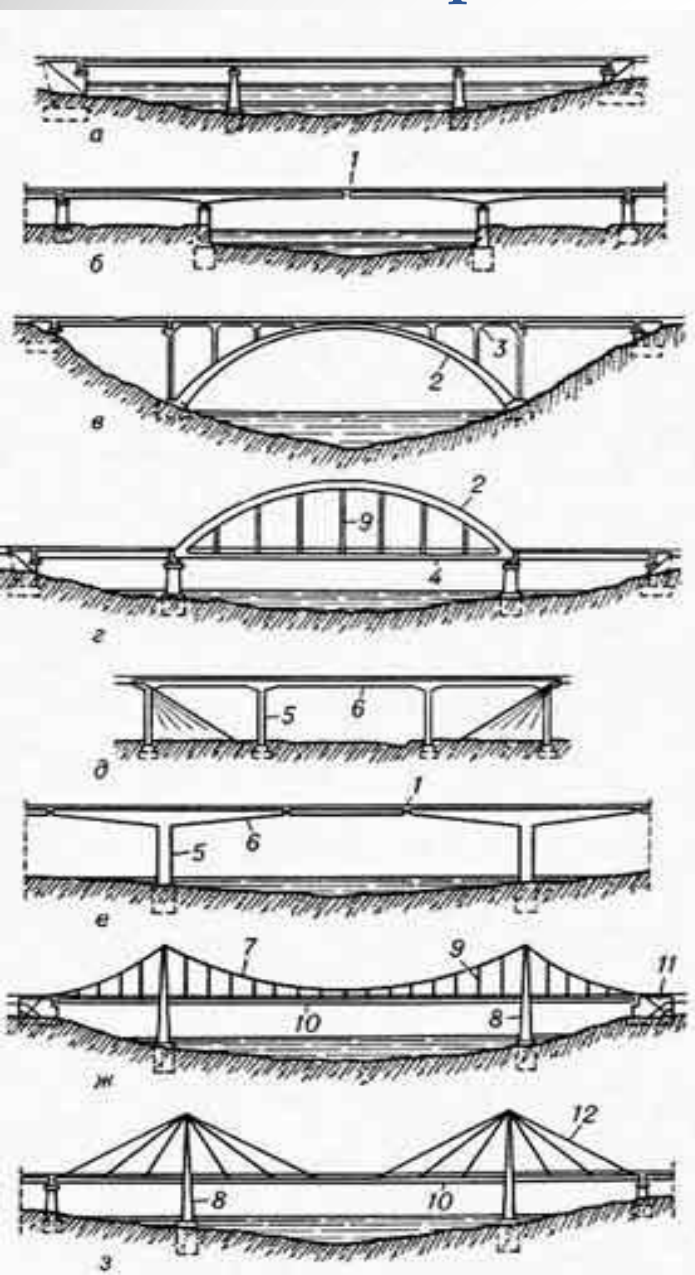
С началом строительства железных дорог в XIX в. стали сооружать капитальные металлические мосты. Необходимость движения поездов потребовала постройки достаточно прочных и надежных каменных опор. Появились новые конструкции и способы возведения таких мостов, стали применять стальные конструкции и бетон. Развивались и совершенствовались методы проектирования мостов, что особенно характерно для второй половины XIX в.

Известны русские ученые, разработавшие новые конструкции и методы строительства первых крупнейших металлических городских и железнодорожных мостов в этот период — инж. С. В. Кербедз, построивший в 1842—1850 гг. мосты через р. Неву с пролетами 45 и 47

# Городской мост через р. Неву с чугунными пролетными строениями



# Основные системы современных предварительно напряженных железобетонных мостов



Конструктивные виды мостов: а – с неразрезной балкой; б – балочно-консольная; в – арочная; г – комбинированная (безраспорная арка с затяжкой); д – рамная; е – рамно-подвесная; ж – висячая; з – вантовая; 1 – шарнир; 2 – арка; 3 – надарочное строение; 4 – затяжка; 5 – стойка; 6 – ригель; 7 – кабель; 8 – пилон; 9 – подвески; 10 – балка жесткости; 11 – анкерная опора; 12 – ванты

# Виды и классификация искусственных сооружений

Искусственные сооружения — технически сложная часть строящихся дорог. В зависимости от условий рельефа местности расходы на постройку обычно составляют до 10 % общей стоимости дороги, а иногда, например в горной местности, до 25%. В период эксплуатации искусственные сооружения требуют особо тщательного надзора и ухода. Наиболее часто встречающиеся на дорогах искусственные сооружения — это мосты и водопропускные трубы, реже — подпорные стены, тоннели, селеспуски, галереи, лотки и т. п.

Мосты состоят из опор и пролетных строений (рис. 1.1). К обоим концам моста примыкает земляное полотно подходов. На многих реках, особенно больших, применяют регуляционные сооружения и укрепления для защиты опор мостов и подходов от размыва высоким паводком воды и ледоходом.

По назначению дорог и роду пропускаемых подвижных нагрузок мосты могут быть: железнодорожные для пропуска железнодорожных нагрузок (см. рис. 1.1); автодорожные для пропуска транспортных средств по автомобильным дорогам; городские для метрополитена, автомобильного, трамвайно-троллейбусного и пешеходного движения; совмещенные для одновременного пропуска железнодорожного и автомобильного транспорта; пешеходные для пешеходов; специального назначения для пропуска водопроводов, газо- и нефтепроводов и каналов.

По условиям расположения на местности различают следующие виды искусственных сооружений:

- путепроводы — на пересечении дорог в разных уровнях рис. 1.2, а);
- разводные мосты, когда для пропуска судов устраивают разводное пролетное строение, поднимаемое вверх (рис. 1.2, б) или раскрываемое;
- виадуки при пересечении дорогой глубоких и сухих логов, оврагов, горных ущелий, сооружаемые взамен высоких (более 15— 20 м) насыпей (рис. 1.2, в);
- эстакады для пропуска железной или автомобильной дороги в городах над магистральными улицами (рис. 1.2, г), а также' при строительстве дорог в сильно заболоченных местах, когда экономически невыгодной оказывается насыпь (на слабых грунтах в основании);
- наплавные мосты с плавучими опорами из понтонов или барж, устраиваемые на широких и глубоких реках, когда постройка постоянных опор не оправдывается размерами движения, а также в случае временной необходимости, например на период постройки капитального моста. Для пропуска по реке судов в наплавных мостах применяют выводные секции, а на период ледохода и ледостава такие мосты разбирают (рис. 1.2, д).

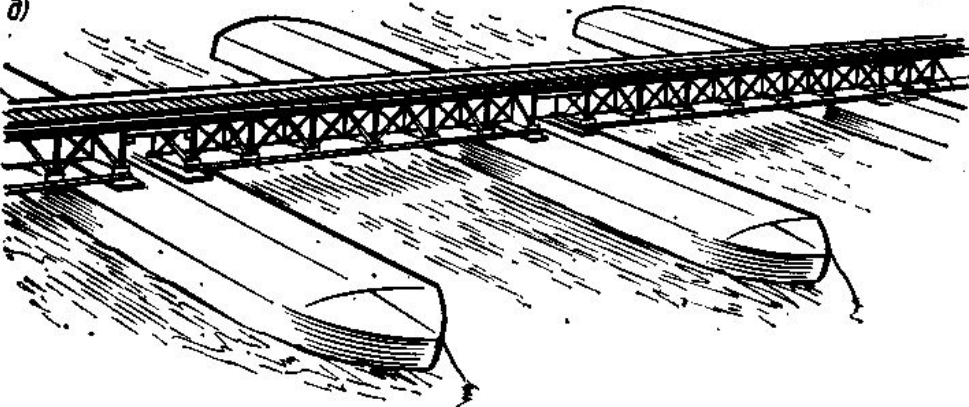
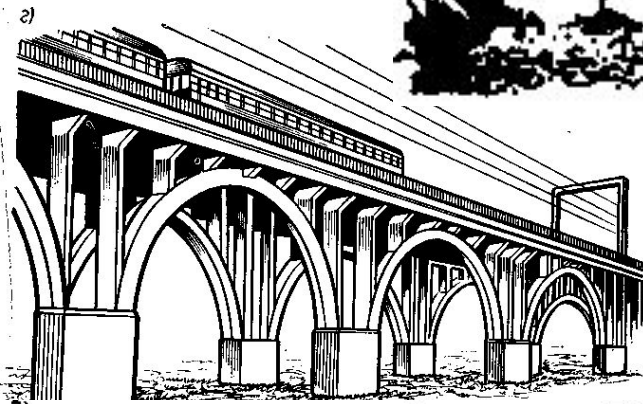
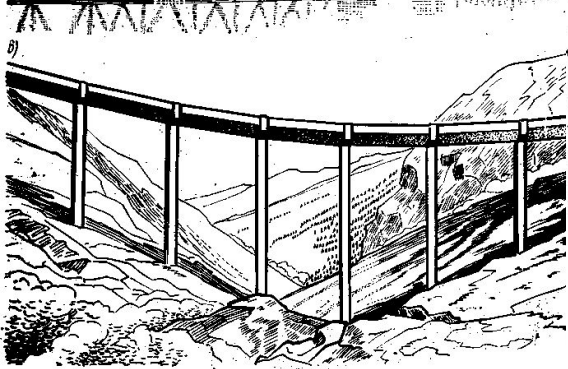
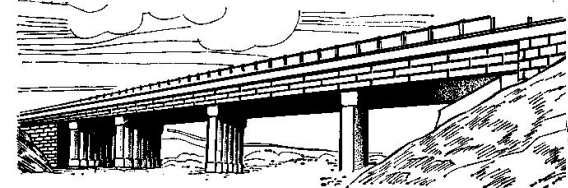
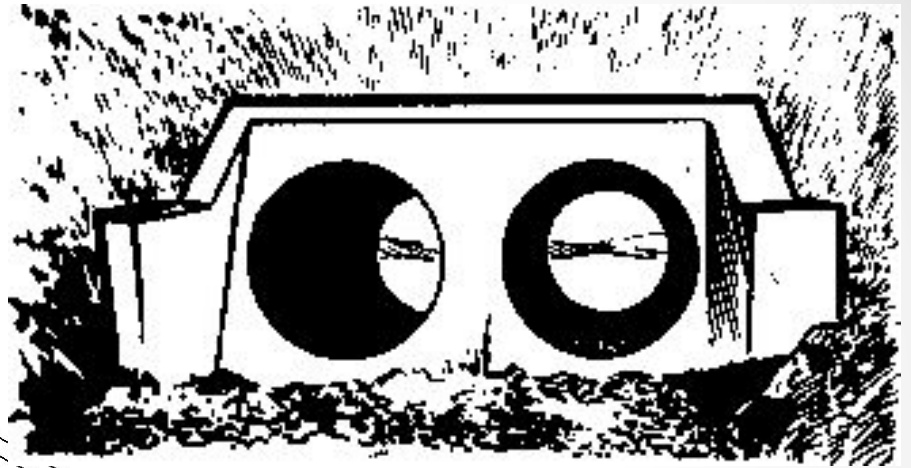
Водопропускные трубы (рис. 1.3) — сравнительно простые по конструкции и постройке искусственные сооружения. При насыпи небольшой высоты (до 1 — 1,5 м) и незначительном количестве протекающей воды иногда устраивают лоток.

# Виды и классификация искусственных сооружений



Железнодорожный мост: 1 — пролетное строение; 2 — опора

Двухочковая водопропускная труба



Виды мостов: а — путепровод; б — разводной; в — виадук; г — эстакада; д — наплавной;

# Элементы моста и статические схемы

Основные элементы моста — опоры и пролетные строения (рис. 1.8). Опоры различают: береговые (устои) и промежуточные (быки). 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.

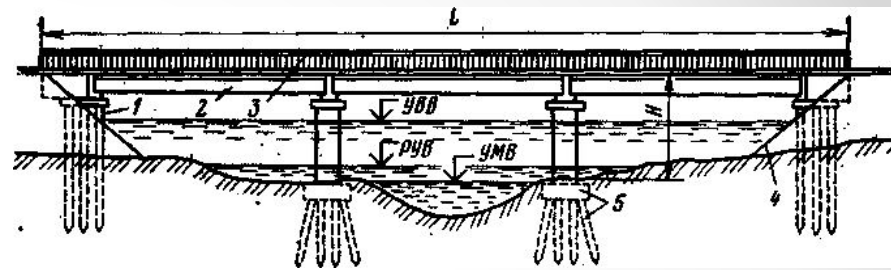
Опоры имеют фундамент с надфундаментной частью. Фундаменты возводят с опиранием непосредственно на грунт или, если грунт ненадежен, на специальное искусственное основание. Материалом для опор служат бетонная, железобетонная и каменная кладки, а в редких случаях для верхней части применяют металлические конструкции. Форма и размеры опор зависят от значения и характера нагрузок, передающихся от пролетных строений, собственного веса и веса насыпи, а также определяются условиями прохода под мостом водного потока, ледохода и местными инженерно-геологическими условиями.

Пролетные строения имеют (см. рис. 1.8) главные несущие элементы в виде балок сплошного сечения, сквозных ферм или комбинированных конструкций. На основных несущих элементах располагается конструкция проезжей части моста автомобильного (городского) или мостовое полотно железнодорожного моста. Главные несущие элементы объединяют связями, обеспечивающими устойчивость и поперечную жесткость пролетного строения.

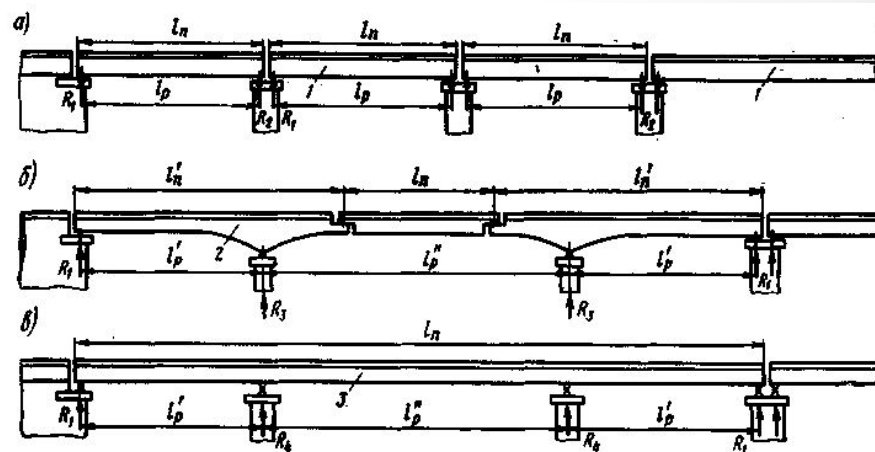
Основные размеры моста и его элементов следующие: полная длина  $L$ ; (см. рис. 1.8) между задними границами устоев или концами пролетного строения, непосредственно соприкасающимися с насыпью подходов; отверстие моста, обеспечивающее пропуск высокой воды (за вычетом толщины опор), высота  $H$  моста, исчисляемая от верха проезжей части или подошвы рельсов до уровня меженных вод; строительная высота  $H_c$  — от верха проезжей части до низа конструкции пролетного строения; расчетный пролет, равный при балочном пролетном строении расстоянию между центрами опорных частей, на которые устанавливают балки (фермы); расчетная ширина пролетного строения — расстояние между осями несущих конструкций (ферм или крайних балок); высота тела опор — от верхней площадки до верха (обреза) фундамента; глубина фундамента и др.

Все эти размеры моста и его элементов устанавливают в процессе проектирования с учетом местных инженерно-гидрологических, геологических и судоходных условий, выявленных в процессе изысканий, а также на основе требований по интенсивности движения не только в момент проектирования, но и в более далекой перспективе, соответствующей сроку службы моста. По характеру работы пролетных строений и опор, т. е. в зависимости от статической схемы, различают балочные, рамные, арочные, висячие и комбинированные системы мостов.

Наибольшее распространение имеют балочные системы мостов (балочные мосты). В них пролетные строения в виде сплошных балок или сквозных решетчатых ферм свободно установлены на опорные части, через которые передаются все вертикальные нагрузки на опоры моста. Пролетные строения могут быть балочно-разрезными (рис. 1.9, а), балочно-консольными (рис. 1.9, б) и балочно-неразрезными (рис. 1.9, в). В балочно-разрезной системе изгиб от собственного веса и подвижной нагрузки одного пролетного строения не отражается на изгибе смежных с ним пролетов. Такие системы применяют преимущественно в малых и средних железобетонных и металлических мостах с пролетами до 33 м. В железнодорожных мостах металлические балочно-разрезные решетчатые конструкции пролетных строений распространены для пролетов от 33 до 158 м. Другие разновидности балочных систем (балочно-консольные и балочно-неразрезные) отличаются от балочно-разрезных тем, что нагрузка, расположенная на одном пролетном строении, влияет и на соседние. Это обстоятельство приводит к некоторому облегчению сечений балок или элементов ферм за счет совместной работы конструкции нескольких пролетов.



1 — береговые опоры (устои); 2 — пролетное строение со сплошными главными балками; 3 — перильные ограждения; 4 — конус насыпи; 5 — свайный фундамент; УВВ — уровень высоких вод; РУВ — рабочий уровень воды; УМВ — уровень меженных вод

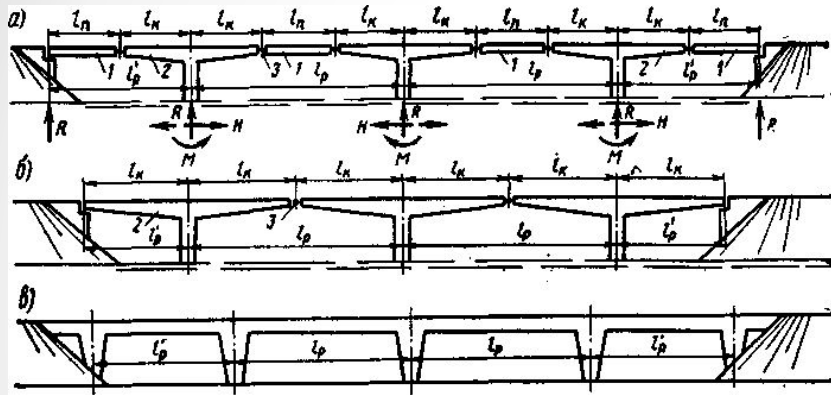


Балочные пролетные строения:  
/ — разрезное полной длиной  $l_p$ ; 2 — консольно-балочное длиной  $l_p$ ; 3 — неразрезное полной длиной

# Элементы моста и статические схемы

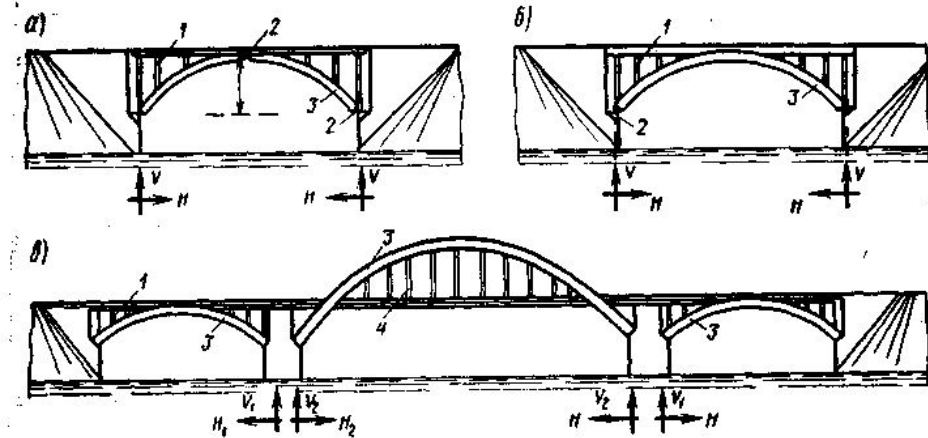
Рамные пролетные строения:

1 — подвесное пролетное строение; 2 — консоль Т-образной рамы; 3 — шарниры;  $l_p$  — расчетные пролеты;  $l_k$  — длина консоли;  $1L$  — длина подвесного пролетного строения;  $K$ ,  $H$ ,  $M$  — вертикальная и горизонтальная опорные реакции, изгибающий момент



Арочные пролетные строения:

1 — надарочные рамы или стойки; 2 — шарниры; 3 — арки; 4 — подвески





# Виды водопропускных труб. Назначение их размеров

Водопропускные трубы — наиболее распространенный вид искусственных сооружений. Число их на железных дорогах в районах с различным рельефом местности составляет 0,3—0,9 трубы, а на автомобильных—1,0—1,4 трубы на 1 км трассы. В целом трубы составляют 75% общего количества искусственных сооружений на дорогах и 40—45 % стоимости общих затрат на постройку искусственных сооружений.

Прежде при постройке дорог были распространены каменные и бетонные трубы, но в начале XX в. стали применяться и железобетонные трубы. В 1936 г. были разработаны первые типовые круглые железобетонные трубы диаметром 1—2 м звеньями длиной 1 м для железных дорог.

Водопропускная труба — это искусственное сооружение, предназначенное для пропуска под насыпями дорог небольших постоянно или периодически действующих водотоков. В отдельных случаях трубы могут использоваться в качестве путепроводов, для прогона скота и т. п.

Расход воды в трубе не должен превышать, как правило, 80—100 м<sup>3</sup>/с. При проектировании дороги, особенно при малых высотах насыпи, часто приходится решать вопрос выбора одного из двух возможных сооружений — малого моста или трубы. Если технико-экономические показатели этих сооружений примерно одинаковы, предпочтение отдается трубе, так как наличие трубы в насыпи не нарушает непрерывности земляного полотна и верхнего строения пути; эксплуатационные расходы на содержание трубы меньше, чем малого моста.

В зависимости от материала звеньев трубы могут быть каменные, бетонные, железобетонные, металлические (чугунные, стальные гофрированные), деревянные.

Деревянные трубы строят только в качестве временных сооружений на обходах, временных путях и т. п. Не применяют в настоящее время и каменные трубы, так как они не отвечают современным требованиям индустриализации строительства.

В настоящее время наибольшее распространение получили сборные железобетонные и бетонные типовые унифицированные трубы. Железобетонные круглые трубы имеют отверстие от 0,5 до 2,0 м и прямоугольные — от 1,5 до 6,0 м.

Отверстие и высоту в свету труб назначают, как правило, при длине их до 20 м не менее 1,0 м, а при длине трубы больше 20 м — 1,25 м.

Трубы на автомобильных дорогах II категории допускается устраивать отверстием не менее 0,75 м при длине трубы до 15 м, а при длине до 30 м — не менее 1,0 м.

Отверстия труб на железных и автомобильных дорогах в районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки ниже минус 40 °С назначают не менее 1,5 м независимо от длины трубы с работой их по безнапорному режиму.

Обязательным и важнейшим конструктивным элементом при сооружении трубы является укрепление подводящего и отводящего русел. Вместе с проводимой унификацией конструкций водопропускных труб, кроме старых видов укреплений (каменные отсыпки и мощение), были рекомендованы следующие виды укреплений, кроме районов вечной мерзлоты:

1 — бетонными квадратными плитами размером 49х49х10 см со срезанными углами, укладываемыми на щебеночное основание толщиной 10 см;

2 — бетонными призматическими плитами (блоками П-2);

3 — монолитным бетоном классом по прочности на сжатие не ниже В20 толщиной не менее 8 см;

4 — одиночным мощением и каменной наброской. Тип крепления выбирают с учетом скорости протекания воды, а также в результате технико-экономического обоснования.

# Инженерно-гидрометеорологические изыскания мостов и труб

1. Гидрометрические работы
2. Морфометрические работы
  - Назначение морфометрических работ
  - Определение уровня режима
  - Продольный профиль реки
  - Выбор и съемка морфостворов
  - Камеральная обработка
3. Обследование существующих сооружений и долинных ходов
  - Обследование искусственных водотоков
  - Обследование существующих мостовых переходов
  - Обследование некапитальных плотин
  - Обследование конусов выноса и селевых потоков
  - Определение гидрологических характеристик долинных ходов трассы
4. Гидрологические расчеты водотоков с ненарушенным бытовым режимом
  - Расчет расходов и уровней воды, при наличии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений
  - Расчеты максимального стока весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений
  - Расчеты, максимального стока дождевых паводков при отсутствии данных гидрометрических наблюдений
  - Расчетные гидрографы весеннего половодья и дождевых паводков
  - Перенос уровней и расходов с водпостов на створ перехода
  - Расчет судоходного и меженного уровней в створе перехода
  - Продолжительность стояния уровней. Расчет рабочего уровня
  - Максимальные расходы и объемы выносов селевых потоков
  - Расчеты ледового режима рек
5. Гидрологические расчеты водотоков с нарушенным бытовым режимом
  - Построение кривой свободной поверхности водотока в условиях подпора
  - Расчеты при сгонно-нагонных и приливно-отливных явлениях
  - Определение расчетных расходов на переходах, расположенных в зоне влияния плотин
  - Ледовый режим зарегулированных рек
6. Прогнозы русловых процессов
7. Воздействия течений, волн и льда на сооружения мостовых переходов
  - Параметры воздействия водного потока
  - Параметры ледового воздействия
  - Расчет ветровых и судовых волн и их наката на откосы сооружений

# Морфометрические работы

## Определение уровня режима

Независимо от отнесения данного перехода к одному из случаев выполнения морфометрических работ, перечисленных в п. 2 п. 3.1, в районе перехода устанавливаются на местности отметки следующих характерных уровней: а) высоких вод (УВВ); б) высокого ледохода (УВЛ); в) подвижки льда (УПЛ); г) межени (УМВ).

Отметки указанных уровней на местности устанавливаются путем опроса старожилов или по отметкам и местным признакам.

Определение высоких уровней в створах переходов путем опроса местных жителей или по следам паводков часто является единственным источником получения сведений об УВВ при кратковременности полевых работ, большой удаленности от водомерных постов или при их отсутствии. Достоверность УВВ достигается многократным (не менее 6-7) определением их отметок не только в районе перехода, но и в других пунктах (особенно населенных) выше или ниже по реке с последующим переносом отметок УВВ на переход и их сравнением.

При определении морфометрических характеристик методом опроса старожилов устанавливается происхождение наивысших УВВ (дождевые, ливневые, снеговые, от таяния ледников), частоту паводков в году, частоту затопления пойм (ежегодно или в течение какого-то периода).

Обязательно определяют период, в течение которого наивысший или другие характерные уровни не превышались, что может быть известно старожилому от старших родственников; при этом не следует пренебрегать самыми приближенными данными, которые при сопоставлении с другими сведениями могут дать представление об указанном периоде. Собирают сведения об условиях, способствовавших возникновению катастрофического уровня (глубина снега, характер снеготаяния, выпадение обильных дождей и т.п.).

Ориентиры, до которых доходила вода, описывают и делают их зарисовки и фотографии, производят нивелировку указанных старожилами и найденных меток УВВ.

Результаты опроса оформляют актом, заверенным начальником партии (прил. 3.1). Подпись старожила в акте не требуется.

Опросные данные об исторических наивысших УВВ анализируют на основе архивных и литературных сведений. При этом следует учитывать их репрезентативность в настоящее время в связи с хозяйственным использованием реки за истекший период времени с момента наблюдаемого исторического паводка (строительство ГЭС, изъятие стока на мелиорацию и т.п.).

К следам паводков на местности относятся:

наносы (мелкие сучья, пучки трав, обломки тростника, ил и т.п.) на пологих берегах и деревьях;

отложения взвешенных наносов или нефти на коре деревьев и в складках местности;

обдиры и другие повреждения деревьев (льдинами, от переувлажнения почвы, подмыва берегов);

линия смачивания оштукатуренных и деревянных стен зданий;

следы подмыва крутых берегов;

полоса смыва «пустынного загара» на скальных берегах или железобетонных сооружениях (ее нижняя граница относится к среднему уровню, а верхняя к уровню 10-20% обеспеченности);

граница развития моховой и лишайниковой растительности на стволах деревьев и на скалистых берегах;

граница распространения пойменной растительности в засушливых районах и изменения цвета и состава травы на склонах.

Следы затопления на коре деревьев, смыв «пустынного загара» и линии изменения цвета растительности лучше видны на некотором расстоянии.

Следы УВВ на местности могут сохраняться в течение 10-15 лет (при отсутствии за это время более высокого паводка).

# Морфометрические работы

## Продольный профиль реки

Продольный профиль реки в месте перехода снимают для определения уклона свободной поверхности потока. При этом определяют:

- а) отметки уреза воды на момент производства работ;
- б) глубины по фарватеру в наиболее характерных точках дна (гребень переката, плесовая ложина);
- в) отметки бровок берегов и наиболее пониженных мест прирусловых валов.

Протяженность съемки зависит от конкретных местных условий:

при режиме реки, не нарушенном гидротехническими сооружениями, профиль снимают на протяжении ситуационной схемы перехода, но не менее суммарной длины одного плеса и одного переката - для больших рек, двух плесов и двух перекатов - для средних рек и трех-пяти плесов и перекатов - для малых рек;

если вблизи перехода на расстоянии до 5 км расположен водпост ГМС, продольный профиль доводят до него; при этом площади водосборов для створа перехода и створа водпоста не должны различаться более, чем на 25%;

если переход находится в зоне подпора другой рекой, профиль снимают вниз от перехода до устья, где определяют отметку подпирающей реки, вверх - до конца кривой подпора. При большой длине кривой подпора допускается ее верхнюю часть составлять по картографическому материалу;

при расположении перехода вблизи крупной плотины данные для построения продольного профиля получают в организациях, ведающих проектированием или эксплуатацией плотины.

# Морфометрические работы

## Камеральная обработка

В результате обработки материалов морфометрических работ должны быть составлены:

- а) ситуационная схема с вариантами трассы перехода и морфостворами;
- б) продольный профиль реки по руслу с линиями свободной поверхности водотока при различных УВВ;
- в) профили морфостворов;
- г) зависимости скоростей течения и расходов воды от глубины потока для морфоствора, снятого непосредственно

выше створа перехода. Пример оформления чертежей морфометрических работ приведен в прил. 3.2.

Для определения гидравлических характеристик водотока морфометрическим способом необходимо:

- а) установить по продольному профилю реки и ситуационной схеме уклоны водной поверхности в русле и на пойме с учетом спрямляющих течений при УВВ; если с повышением уровня уклоны меняются, строят зависимость  $i=f(H)$ ;
- б) разделить профиль (в точках перелома рельефа) на участки с единообразными условиями по глубине, косине струй, характеру растительности;
- в) установить уровень выхода воды на пойму;
- г) выделить неработающие «мертвые» площади сечения морфоствора;
- д) определить расчетные значения шероховатости для каждого участка морфоствора по измеренным расходам или по таблицам М. Ф. Срибного, Н. М. Носова и В. Т. Чоу

# Обследование существующих сооружений и долинных ходов

## Обследование искусственных водотоков

В практике проектирования встречаются переходы через искусственные водотоки, к которым относятся каналы, спрямляющие русла, обвалованные участки рек.

Каналы по назначению принято подразделять на: гидротехнические (деривационные, судоходные, аварийные и др.), гидромелиоративные, водохозяйственные (оросительные, транзитные и др.), судоходные.

Поперечное сечение проектируемых каналов характеризуется: шириной  $B$  при расчетном уровне воды для заданного расхода воды; площадью живого сечения  $W$ ; смоченным периметром  $s$ ; гидравлическим радиусом  $R=w/c$ ; шириной между бровками русловых откосов  $B_{бр}$ ; коэффициентом заложения откосов  $m$ ; шириной по дну  $b$ , глубиной  $h$ ; коэффициентом шероховатости дна и откосов.

Спрямляющие участки русел устраивают трапециевидного поперечного сечения. При обваловании искусственно (дамбами) ограничивают размеры пойменных участков, примыкающих к руслу.

С течением времени такие водотоки превращаются в видоизмененные резные русла с тем или иным типом руслового процесса, который вызывает их расширение и углубление. Изменение очертаний поперечного сечения и гидравлических характеристик потока может быть вызвано превышением заданного в проекте расчетного расхода воды. Начальные параметры поперечного сечения, гидравлических и других характеристик каналов и прочих искусственных водотоков следует получать в подготовительный период изысканий в проектных и эксплуатирующих организациях.

В период полевого обследования необходимо установить наличие и состояние выше и ниже проектируемого мостового перехода построенных гидротехнических и мостовых сооружений и в том числе водосборных, водоперепускных и водораспределительных сооружений, а также режим их работы.

Подлежат тщательному изучению внутригодовой режим речного стока, максимальные сбросные расходы воды и в том числе аварийные. Эти данные нужно получить в эксплуатирующих организациях путем официальных запросов и детального изучения дополнительной документации на месте. Следует произвести дополнительно к этим данным опросы старожилов, местных жителей, очевидцев с оформлением соответствующих актов.

Необходимо полевым обследованием установить возможные изменения речного стока выше и ниже проектируемого моста за счет дополнительного притока поверхностного стока или его регулирования искусственными сооружениями различного назначения (водораспределители, аккумулирующие емкости, автомобильные и железные дороги и т.п.), возникших после строительства искусственных водотоков.

В полевой период нужно установить наличие, тип и состояние укреплений дна и откосов каналов и канализированных русел, а также характер руслового процесса и деформации поперечного сечения. Скорость течения и другие гидравлические характеристики потока в расчетном створе рекомендуется определять гидрометрическим путем с целью получения натуральных значений коэффициентов шероховатости. При отсутствии косины в качестве расчетного принимается проектный створ мостового перехода, в противном случае - морфоствор, разбиваемый в непосредственной близости от трассы перехода.

Для установления характера руслового процесса необходимо выполнить промеры глубин и нивелирование 3-4 поперечных сечений ниже трассы проектируемого мостового перехода на расстоянии друг от друга от 25 до 50 м в зависимости от ширины искусственного водотока (канала).

Продольный уклон водной поверхности нужно определять по данным непосредственных наблюдений в период полевого обследования не менее 2-3 раз на расстоянии от 200 до 500 м выше и ниже расчетного створа. На криволинейных участках канала необходимо определять поперечный уклон водной поверхности.

На каждом мостовом переходе должны быть выполнены топографические съемки на расстоянии не менее 300 м выше и ниже расчетного створа.

Кроме топографических, инженерно-геологических и гидрологических данных должны быть собраны следующие сведения:

перспективы дальнейшего использования искусственных водотоков; необходимость и размеры проездов по берегам, подлежащих перекрытию мостом; характер пропуска судов и в том числе имеющих специальные габариты; подмостовые габариты частей моста, перекрывающих водоток и проезды.

Если предполагается на судоходном водотоке (канале) устраивать разводной пролет моста, то необходимо собирать следующие дополнительные данные:

- а) о судоходном фарватере и возможных его перемещениях, получаемые путем сопоставительного анализа лоцманских карт и материалов полевых наблюдений за траекториями прохождения судов в районе мостового перехода;
- б) о минимально допустимых габаритах мостов с неразводными пролетами с учетом карчехода, ледохода, волнения, искривления водной поверхности, набега воды на опоры от динамического воздействия речного потока и т.п.;
- в) о скоростях течения воды на участке русла, перекрываемом разводным пролетом в период навигации;
- г) о выборе местоположения и размерах разводного пролета, высоте его подъема, сроках и длительности разводки, согласованные с соответствующими органами.

Гидрологические расчеты при наличии гидрометрических полевых измерений и при их отсутствии, а также расчеты отверстий мостов и размывов подмостовых русел нужно определять по рекомендациям соответствующих глав настоящего Пособия. Полученные в результате полевого обследования и расчетов отметки уровней высокой и меженной воды, а также отверстия мостов должны быть увязаны с отметками, полученными от организаций эксплуатирующей или проектирующей искусственный водоток (канал).

# Обследование существующих сооружений и долинных ходов

## Обследование существующих мостовых переходов

В результате обследования моста получают зависимости:

- а) рабочей площади и максимальных глубин под мостом при пиках наблюдаемых половодий от расхода и уровня;
- б) подпора перед мостом от расхода (для неразмывающего дна) или рабочей площади под мостом (для размываемого дна);
- в) коэффициента формы живого сечения под мостом от уровня или расхода.

При обследовании мостового перехода собирают данные:

- а) год постройки опор моста и подходных насыпей;
- б) годы изменения отверстия моста и проводившихся укрепительных работ, характер и их размеры;
- в) годы смены пролетных строений, отметки головки рельсов низа конструкции пролетных строений до и после смены;
- г) отметки УВВ, УВЛ и УМВ под мостом, а также отметки УВВ с верховой и низовой сторон подходных насыпей на всем их

протяжении;

- д) годы и места переливов при УВВ через подходные насыпи, размеры повреждений и длительность перерывов движения;
- е) геологическое строение по оси перехода по проектным данным и исполнительным чертежам;
- ж) размывы подмостового русла, устанавливаемые по совмещенным профилям живых сечений;
- з) изменения плана русла вследствие руслового процесса путем совмещения съемок разных лет и лоцманских карт (см. гл.9);
- и) продольные и поперечные профили подходных насыпей и регуляционных сооружений с указанием типа укреплений их

откосов;

- к) годы, места и размеры повреждений укреплений откосов струенаправляющих дамб и подходных насыпей;
- л) условия судоходства и сплава в районе перехода (аварии судов и плотов у моста, перемещения судоходного фарватера,

достаточность подмостовых габаритов).

При наличии групповых отверстий указанные данные собирают по каждому пойменному мосту.

На основании материалов проводят анализ работы мостового перехода - устанавливают его водопропускную способность и при необходимости намечают меры по ее увеличению. Если предусматривается реконструкция перехода, то на основании указанного анализа намечают мероприятия по улучшению работы перехода. Если вблизи проектируется новый мостовой переход, то данные анализа используют для принятия проектных решений.

При обследовании малых мостов и труб, являющихся дополнительными отверстиями на поймах крупных мостовых переходов, собирают следующие данные об их работе:

- а) количество пойменных мостов и труб, размеры их отверстий, наличие и тип шандоров;
- б) профили живых сечений под мостами, поперечное сечение труб, тип укреплений русел и глубину размыва ниже мостов и труб;

в) отметка уровня подпертой воды с верховой стороны сооружения (на верховом откосе насыпи), на входе в сооружение (на откосе конуса и выходных оголовках труб), ниже сооружения (на низовом откосе насыпи).

Аналогичные данные собирают при расположении малых мостов и труб на долинных ходах с той лишь особенностью, что при сборе сведений об уровнях должно быть установлено, какими паводками они вызваны: с собственного бассейна малого водотока или реки, в пойме которой проходит трасса.

# Обследование существующих сооружений и долинных ходов

## Обследование некапитальных плотин

При проектировании мостовых переходов через водотоки, где имеются некапитальные плотины, необходимо учитывать возможность прорыва их.

Некапитальными считаются плотины, которые могут быть разрушены при пропуске расчетных (и менее) паводков для проектируемого мостового перехода. Возможность частичного или полного разрушения плотин устанавливается расчетом на основании материалов натурного обследования всех плотин, расположенных выше створа перехода как на пересекаемом трассой водотоке, так и на его притоках. Плотина, находящаяся ниже перехода, подлежит обследованию, если створ перехода находится в зоне ее влияния, что устанавливается по отметке уровня воды верхнего бьефа при максимальном наполнении водохранилища с учетом кривой подпора при прохождении паводка.

В результате обследования должны быть собраны следующие данные:

период постройки плотины;

наличие, тип и конструкции водосбросных сооружений, их пропускная способность;

длина плотины по урезу воды в верхнем бьефе при предельном наполнении водохранилища;

ширина плотины по гребню, заложение верхового и низового откосов тела плотины;

материалы, из которых сооружена плотина, наличие и тип укреплений гребня и откосов;

тип и качество сопряжений плотины с основанием и берегами;

напор (максимальная разность отметок уровней воды в верхнем и нижнем бьефах);

запас высоты гребня плотины над нормальным подпертым уровнем;

наличие понижений на гребне (мест возможного сосредоточенного размыва), устанавливаемых по снятому профилю плотины;

состояние плотины (наличие и отсутствие фильтрации через тело плотины, оползней откосов, деформаций укреплений и т.п.);

объем водохранилища при предельном наполнении его;

наблюдались ли прорывы или переливы через гребень плотины (где, на каком протяжении, во время снегового или ливневого паводков), если наблюдались, то описать принятые меры по восстановлению плотины;

наличие ниже плотины, транзитного русла водотока, по которому должен быть снят продольный профиль на участке плотины до створа перехода.

На основании перечисленных выше данных составляется заключение о возможности разрушения плотины, при расчетных для мостового перехода гидрологических условиях.



## Гидрологические расчеты водотоков с ненарушенным бытовым режимом

Методика гидрологических расчетов речного стока подробно изложена в специальном курсе. Ниже приведены методы определения специфических расчетных гидрологических характеристик, используемых при проектировании мостов и труб.

# Расчет судоходного и меженного уровней в створе перехода

Для нешлюзовых рек определение РСУ производят в следующем порядке:

а) Определяют класс внутреннего водного пути, зависящего от гарантированной глубины судового хода на перспективу (не менее 15 лет от срока ввода моста в эксплуатацию).

Гарантированная глубина судового хода на перспективу устанавливается министерством (ведомством), регулирующим судоходство на соответствующем водном пути, или организацией, уполномоченной министерством, по генеральной схеме развития путей водного транспорта с учетом объема перевозок на перспективу, реальных условий судоходства, габаритов существующих мостов и др.

б) Определяют расчетную (средненоголетнюю) продолжительность физической навигации  $T$ , в сутках, как среднеарифметическое этих периодов за все годы наблюдений (не менее 10 лет).

За период навигации в общем случае принимается продолжительность периода, когда река свободна от ледостава и других ледяных образований. В случае, когда лед на реке или водохранилище искусственно взламывается ледоколом, за начало навигации принимают дату прорезания канала, пригодного для прохода судов.

в) Определяют допустимую по классу водного пути продолжительность (сут) стояния уровней воды выше РСУ по формуле  $t=kT/100$ ,

где  $k$  - коэффициент допускаемого снижения навигации, принимаемый по табл.

г) По водомерным графикам паводков (половодий)  $H=f(t)$  определяют для всех лет наблюдений уровни воды  $H_T$ , превышаемые более высокими в течение  $t_{СУТ}$ .

д) Полученный ряд уровней  $H_T$  ранжируют в порядке убывания и для каждого уровня определяют их эмпирическую вероятность.

е) По найденным эмпирическим точкам на клетчатке нормального распределения строят плавную кривую  $H_T=(P_m)$ . В зависимости от расчетной вероятности превышения уровня  $P_d$ , определяемой из табл., и устанавливают расчетный судоходный уровень РСУ.

| Класс внутреннего водного пути | Участки нешлюзовых и первой зоны шлюзовых рек   |   | Участки второй зоны шлюзовых рек                |   |
|--------------------------------|---|---|---|---|
|                                | Коэффициент допускаемого снижения навигации $k$ | Расчетная вероятность превышения уровня $P_d$ , % | Коэффициент допускаемого снижения навигации $k$ | Расчетная вероятность превышения уровня $P_d$ , % |
| I                              | 5   | 2   | 5   | 2   |
| II                             | 6   | 3   | 6   | 3   |
| III                            | 6   | 4   | 6   | 4   |
| IV                             | 5   | 5   | 7   | 5   |
| V                              | 3   | 5   | 7   | 5   |
| VI                             | 2   | 4   | 6   | 6   |
| VII                            | 2   | 4   | 6   | 6   |

# Расчет судоходного и меженного уровней в створе перехода

Для шлюзовых рек и водохранилищ расчет РСУ производят в следующем порядке:

а) Устанавливают класс реки в соответствии с указаниями ГОСТ 26775-85.

б) Если судоходство в паводок совершается через разборчатые плотины, то расчетный судоходный уровень определяют так же, как для нешлюзовых рек.

в) Если на реке в продолжении всей навигации имеется подпор, создаваемый плотиной, а паводок проходит через плотину при отметках ниже нормального подпорного уровня (НПУ), то определяют зону верхнего бьефа плотины, в которой расположен мост:

в первой зоне - когда отметки уровня пропуска паводка расчетной вероятности ниже отметок НПУ с учетом кривой подпора;

во второй зоне - когда отметки уровня пропуска паводка расчетной вероятности выше отметок НПУ с учетом кривой подпора.

г) При расположении моста в первой зоне за РСУ принимают подпорный уровень водохранилища с учетом кривой подпора; при этом отметка РСУ должна быть не менее, чем на 0,5 м выше отметки НПУ водохранилища.

При длительном стоянии форсированных уровней, превышающих НПУ более чем на 0,5 м, отметку РСУ следует устанавливать на основании комплексного технико-экономического обоснования.

д) Если мост расположен во второй зоне, РСУ определяют в последовательности:

по материалам наблюдений за уровнями воды и с учетом проектных данных водохозяйственных расчетов плотины определяют расчетную продолжительность физической навигации как среднеарифметическое этих продолжительностей за все годы наблюдений;

вычисляют допустимую продолжительность  $t$  (суток) стояния уровней воды более высоких, чем РСУ;

по водомерным графикам  $H=f(t)$  паводков за все годы наблюдений определяют уровни воды, превышаемые более высокими в течение  $t$  суток;

полученный ряд уровней  $HT$  ранжируют в порядке убывания и для каждого из них определяют эмпирическую вероятность по формуле;

по эмпирическим точкам на клетчатке строят плавную кривую  $HT=(Pm)$  и в зависимости от расчетной вероятности превышения  $Pd\%$ , определяют РСУ.

Если полученная отметка РСУ окажется ниже нормального подпорного уровня НПУ, то за отметку РСУ принимают отметку НПУ с учетом кривой подпора, увеличенную на 0,5 м.

Если же этот уровень имеет отметку выше НПУ с учетом кривой подпора, то за отметку РСУ принимают отметку этого уровня, увеличенную на 0,5 м.

е) При пропуске паводка через плотину при отметках НПУ за отметку РСУ принимают отметку уровня воды  $Pd\%$ -ной обеспеченности принимаемой по табл. 7.5. При этом отметка РСУ должна быть не менее чем на 0,5 м выше НПУ водохранилища.

При расчете отметки РСУ для мостовых переходов в нижних бьефах плотин следует учитывать регулирующее влияние водохранилищ на уровни воды.

При отсутствии водомерных графиков для нешлюзовых рек рекомендуется следующий метод их получения:

принимают условный ряд с 30-ю расходами воды и вероятностями первых трех расходов воды в ранжированном ряду, равными  $p$ ,  $2p$ ,  $4p$ , где  $p$  - вероятность расчетного расхода. Ранжированные вероятности первых трех уровней воды будут равны 3,2%; 6,5%; 9,7%;

величины первых трех расходов  $Q_{p1}$  определяют с учетом параметров аналитических кривых распределения;

по величинам расходов  $Q_{p1}$  на пике паводков строят гидрографы;

по построенным гидрографам и с помощью кривой  $Q=f(t)$  строят водомерные графики  $H=f(t)$ ;

полученные значения уровней воды и соответствующие им вероятности 3,2%; 6,5%; 9,7% наносят на клетчатку, с которой и снимается РСУ требуемой вероятности.

В качестве расчетных меженных уровней принимают наименьшую межень обеспеченностью на 99% (НМ99%) и среднюю межень (НМ50%).

Наименьший уровень указанной обеспеченности для створа перехода при наличии наблюдений рассчитывают путем обработки ряда наименьших в году уровней открытой воды

## Расчет судоходного и меженного уровней в створе перехода

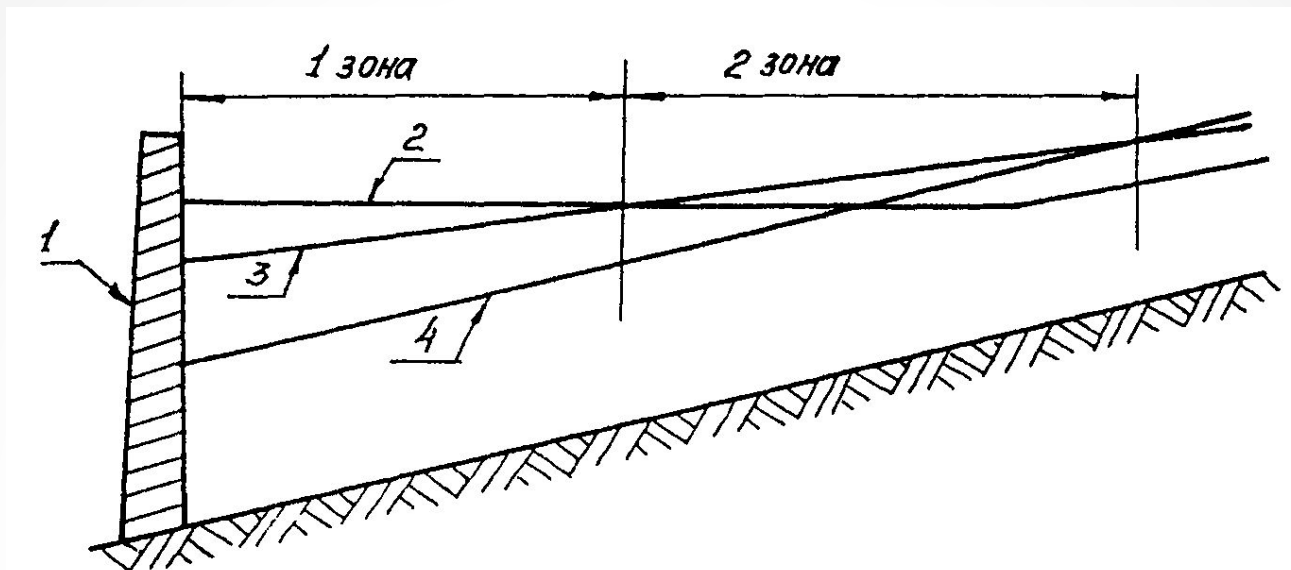


Схема расположения зон (к расчету РСУ):

1 - плотина; 2 - нормальный подпорный уровень НПУ; 3 - уровень пропуска паводка обеспеченностью  $P\%$  через водосливные отверстия плотины; 4 - уровень паводка до строительства плотины

# Продолжительность стояния уровней. Расчет рабочего уровня

Продолжительность стояния уровней (среднее многолетнее число дней в году, когда наблюдается уровень не выше данного) определяют по материалам Гидрометеослужбы; при необходимости уровни переносят с водпоста на створ перехода.

Для оценки продолжительностью стояния уровней строят график  $H_y=f(t)$ , где  $H_y$  - отметка уровня;  $t$  - продолжительность стояния в сутках. Расчет ведут в табличной форме, выписывая для каждого года число дней, в которых уровень был не выше данной отметки. В таблице приводят сумму дней за весь период и средние многолетние значения чисел дней с уровнями, достигающими данной отметки или меньшими.

Результаты расчета представляют графиком. По такому графику определяют среднемноголетнюю продолжительность стояния любого уровня для установления сроков фондирования и возведения опор, перекрытия проток, выполнения укрепительных работ, эксплуатации временных сооружений и плавучих средств, устройства срезки подмостового русла и др.

Для предварительных расчетов можно строить график продолжительности стояния уровней по уравнению аппроксимирующей кривой

$$\left(\frac{t^2}{T^2} + \frac{H_y^2}{H^2}\right) - 2\left(\frac{t}{T} + \frac{H_y}{H}\right) + 1 = 0,$$

где  $T$  - наибольшая продолжительность стояния, суток;  $H$  - наивысший уровень над нулем графика, м;  $t$  - продолжительность стояния любого уровня  $H_y$  в интервале между предельными значениями, сут.

В проектах организации строительных работ принимают за расчетный уровень высокой воды с вероятностью превышения 10% а при соответствующем технико-экономическом обосновании - вероятностью превышения до 50%. Метод определения вероятности превышения рабочего уровня, основанный на минимизации приведенной стоимости вспомогательного сооружения.

Рабочий уровень принятой вероятности превышения определяют для каждого месяца в году с построением ступенчатого графика. Схема расчета следующая (в качестве примера рассматривается рабочий уровень вероятностью 10%): выбирают наибольшие по годам за каждый месяц уровни воды;

для каждого месяца составляют статистический ряд уровней высокой воды, определяют эмпирическую вероятность превышения каждого члена ряда и, экстраполируя эмпирическую кривую распределения, определяют уровни с вероятностью превышения 10%;

по полученным для каждого месяца уровням строят график, позволяющий строительной организации установить рабочий уровень, а также период, в который возможно производство тех или иных работ при этом уровне.

# Продолжительность стояния уровней. Расчет рабочего уровня

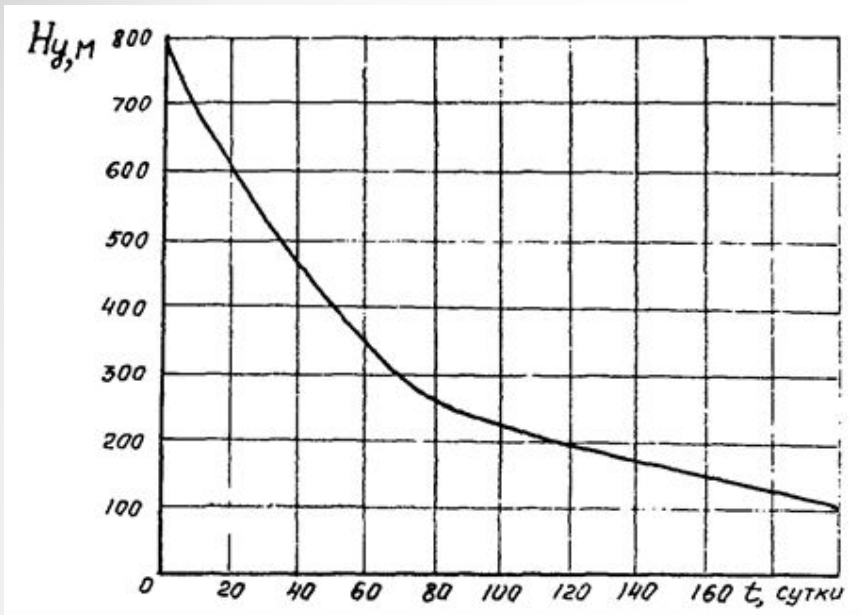
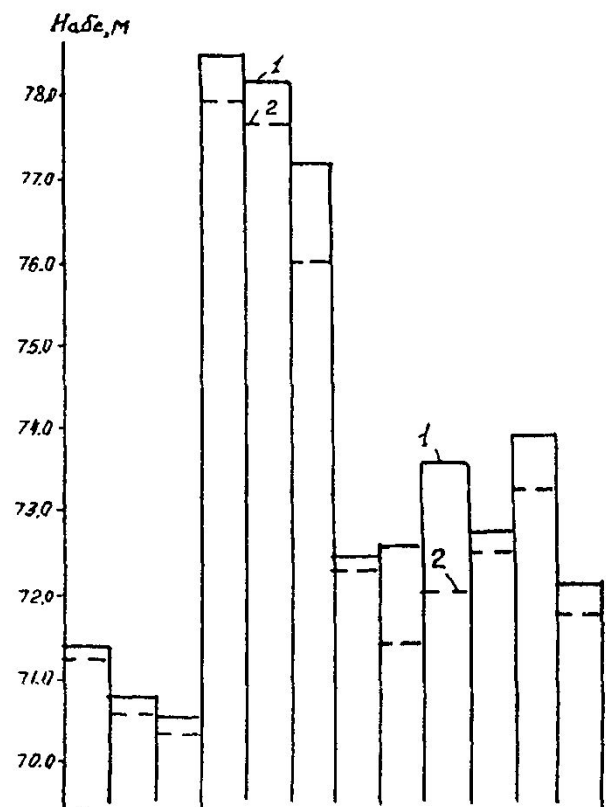


График продолжительности стояния уровня  $H_y=f(t)$



Отметка нуля графика - 68.74м

| Месяцы                     | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI    | XII   |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Наблюдаемые отметки УВВ, м | 71.20 | 70.74 | 70.48 | 78.28 | 77.95 | 77.02 | 72.36 | 72.53 | 73.46 | 72.66 | 73.97 | 72.08 |
| Отметки УВВ 10%, м         | 71.14 | 70.54 | 70.24 | 77.64 | 77.44 | 75.84 | 72.24 | 71.34 | 72.94 | 72.44 | 73.34 | 71.74 |

График для определения рабочего уровня:  
1 - УВВ1%; 2 - УВВ вероятностью превышения 10%

# Продолжительность стояния уровней. Расчет рабочего уровня

Если данные о наибольших уровнях воды по переходу отсутствуют, то их переносят по кривой связи или уклону с расположенных вблизи водомерных постов. Если таких постов нет, то за рабочий уровень воды принимают уровень высокой воды с заданной вероятностью превышения (10-50%), определенный обработкой ряда наибольших в году уровней.

Для предварительных расчетов график месячных рабочих уровней можно построить по расходу воды заданной вероятности превышения для каждого месяца, определяемому по формуле:

$$OM=Q_i k_{\Pi}$$

где  $Q_i$  - максимальный годовой расход воды заданной вероятности превышения (от 10% до 50%);  $k_{\Pi}$  - переходный коэффициент от годового максимума с  $i$  % к месячному расходу  $i$  % берут из табл. в зависимости от типа реки по внутригодовому стоку.

| Месяцы года | Переходный коэффициент $k_{\Pi}$ для рек с типами внутригодового распределения стока |      |      |     |      |
|-------------|--|------|------|-----|------|
|             | I  | II   | III  | IV  | V    |
| I           | 0,2  | 0,1  | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| II          | 1,0  | 0,15 | 0,15 | 0,2 | 0,5  |
| III         | 1,0  | 0,7  | 0,15 | 0,4 | 0,8  |
| IV          | 1,0  | 1,0  | 0,40 | 0,6 | 1,0  |
| V           | 1,0  | 0,5  | 1,0  | 0,8 | 1,0  |
| VI          | 0,4  | 0,4  | 1,0  | 1,0 | 1,0  |
| VII         | 0,3  | 0,15 | 1,0  | 1,0 | 0,8  |
| VIII        | 0,3  | 0,1  | 1,0  | 1,0 | 0,8  |
| IX          | 0,2  | 0,1  | 0,6  | 1,0 | 1,0  |
| X           | 0,2  | 0,1  | 0,4  | 0,3 | 1,0  |
| XI          | 0,2  | 0,1  | 0,2  | 0,3 | 1,0  |
| XII         | 0,2  | 0,1  | 0,1  | 0,2 | 1,0  |

# Расчеты ледового режима рек

Ледовый режим реки характеризуется интенсивностью нарастания толщины ледяного покрова, условиями вскрытия, образованием зажоров и заторов льда, а также определяет пропускную способность русла в зимний период.

При проектировании мостовых переходов учитывают воздействие ледяного покрова на сооружения в период от начала ледостава до ледохода.

Наибольшую за зиму толщину льда 1% вероятности превышения определяют по результатам наблюдений на ближайшем к переходу водпосту. Если ближайшие к мостовому переходу водомерные посты расположены выше и ниже по течению реки, то при примерно равном периоде наблюдений используют данные вышележащих постов. При отсутствии или недостаточности данных гидрологических наблюдений толщина льда 1 % вероятности превышения может быть определена по формуле:

$$h_{Л1\%} = \bar{h}_Л + \Phi_{1\%} \sigma_Л,$$

где  $\bar{h}_Л$  - средняя многолетняя максимальная толщина льда, определяемая по формуле (в см)  $\bar{h}_Л = \frac{a \sqrt{\sum |t|}}{(0,8h_C + 1)^{1/6}}$ ;

$\sum |t|$  - наибольшая за все годы наблюдений сумма отрицательных среднесуточных температур (в градусах Цельсия) за период от ледостава до начала снеготаяния по данным ближайшей метеостанции; а - коэффициент, принимаемый для рек в Европейской части СССР до широты 65° равным а = 1,7; для более суровых климатических условий а = 2,4;  $A_C$  - средняя за зимний период высота (в м) снежного покрова, определяемая по показаниям метеостанции;  $\Phi_{1\%}$  - отклонение ординаты кривой вероятностей превышения Пирсона III типа от середины при заданном коэффициенте асимметрии  $C_S$  принимаемое по таблице Фостера-Рыбкина;  $\sigma_Л$  - среднее квадратическое отклонение максимальной толщины льда, которое в первом приближении может быть принято равным 0,15.

При определении  $\Phi_{1\%}$  рекомендуется принимать коэффициент асимметрии  $C_S=0$  для районов южнее широты 65° в Европейской и 55° в Азиатской частях СССР и  $C_S=1$  - севернее указанных широт для  $C_S=0$ .

Для сильно заболоченных рек толщину льда  $h_{Л1\%}$  можно уменьшать на 10-15 см из-за воздействия на формирование ледяного покрова повышенного притока относительно теплых грунтовых вод за весь осенне-зимний период.

К началу вскрытия рек наблюдается уменьшение толщины и прочности льда, которое происходит главным образом в результате поверхностного и внутреннего таяния под влиянием тепла и солнечной радиации. Толщину льда в начале ледохода  $h_{ЛX}$  согласно нормам следует принимать равной  $0,8h_{Л1\%}$ . Для ориентировочной оценки можно пользоваться формулой В. В. Невского (в см)

$$h_{ЛX} = n_{ЛX} X,$$

где  $n_{ЛX}$  - средняя скорость течения в начале ледохода, определяемая по кривым  $Q=f(H)$  и  $n=f(H)$ , см/с.

В регионах, где преобладает сток весеннего половодья, в качестве уровня начала весеннего ледохода можно принимать уровень низкой межи (УНМ).

Плотность льда во время ледохода принимают равной 0,9 т/м<sup>3</sup>.



## Расчеты ледового режима рек

Данные о размерах льдин во время ледохода устанавливают опросом местных жителей или по результатам натурных наблюдений. Ориентировочно размер льдин можно принимать  $L=1/10 B$ , где  $B$  - ширина реки (длина и ширина льдин примерно одинаковы).

По условиям весеннего ледохода реки Советского Союза делят на три группы:

а) среднее и нижнее течение крупных рек Сибири и Европейского Севера. Толщина ледяного покрова при вскрытии обычно достигает 0,8-1,7 м, а иногда 1,8-2,8 м. Наивысшие уровни в году чаще всего совпадают с ледоходом;

б) верхнее течение средних и больших рек Сибири, некоторые реки Дальнего Востока, верхнее и среднее течение рек Европейской части СССР. Толщина льда при вскрытии обычно достигает 0,4-0,8 м, а иногда 1,0-1,5 м;

в) реки юга Европейской части СССР и Средней Азии характерны небольшой толщиной (до 0,4 м) и малой прочностью льда при вскрытии, небольшими подъемами уровней воды. К вскрытию лед теряет прочность и толщину на 30-50%.

# Расчеты ледового режима рек

Заторы льда (многослойное скопление льдин в русле) формируются в местах, где задерживается вскрытие из-за повышенной толщины и прочности ледяного покрова.

Заторы образуются на всех реках с ледоходом, но особо присущи рекам Севера, Сибири и Якутии, многим рекам на трассе БАМ. Заторы, как правило, образуются при невысоких уровнях на перекатах, крутых поворотах русел, в местах их многорукавности, в устьях притоков.

Особо надо выделить заторы антропогенного происхождения. Они образуются при малых скоростях ледохода (1,0 м/сек) перед мостами, пролеты в свету которых не обеспечивают свободного беззаторного пропуска льда. Перечисленные выше природные условия усугубляют опасность заторов перед мостами.

Невысокие бытовые уровни, при которых образуются заторы, предопределяют их частую повторяемость.

Заторы забивают живое сечение русел на 60-80%, вызывая резкое стеснение потока, увеличение бытовых скоростей и сосредоточенные размывы. Тело затора образует несплошную ледовую плотину с резким подъемом уровней и высокой концентрацией потенциальной энергии, которая приводит к разрушению затора с образованием больших скоростей прорывного потока.

Гидрометеослужба ведет замеры заторных уровней только на створах водпостов. Это затрудняет и осложняет прогнозирование и учет заторных явлений при проектировании железных и автомобильных дорог.

| № пп | Характеристика затора  | Учет при проектировании  |
|------|--|--|
| 1    | Уровень подпертой затором воды заданной вероятности превышения | Обоснование высотного положения мостов, регуляционных сооружений и бровок земляного полотна дорог.<br>Определение расчетных скоростей на пике затора и при его разрушении.<br>Определение места приложения нагрузки заторной массы к инженерным сооружениям. |
| 2    | Мощность (высота пакета заторного льда)                        | Определение величины давления на инженерные сооружения и места его приложения.<br>Определение стеснения потока телом затора  |
| 3    | Удельное давление заторной массы льда                          | Определение величины силового воздействия на инженерные сооружения (опоры мостов и др.)  |
| 4    | Ширина тела затора по фронту                                   | Стеснение потока, расчет русловых деформаций   |

# Расчеты ледового режима рек

При отсутствии гидрометрических наблюдений определение наивысших заторных уровней может быть произведено по формуле  $H_3 = (22i^{0,3} - 1)HL$ , где  $HL$ ,  $i$  - глубина и уклон (в долях единицы) потока в русле при ледоходе.

Глубину потока в русле при ледоходе определяют по морфометрической кривой  $Q=f(H)$  для расхода воды, соответствующего максимальному уровню ледохода.

Если давление заторных масс льда превышает таковое от обычной ледовой нагрузки, проверка опор мостов должна производиться по заторному воздействию согласно.

Ликвидация заторов в начале их образования средствами авиации требует создания постоянной службы слежения, высокой оперативности, имеет ограничения по условиям безопасности людей и объектов народного хозяйства. Предотвращение заторов эффективно на больших реках путем организации ледокольной службы.

Зажоры (скопление шуги в русле реки) образуются на шугоносных реках в период формирования ледяного покрова на участках с повышенными уклонами, а также в местах стеснения русла островами, отмелями, валунами. Под влиянием зажоров водопропускная способность русел уменьшается, и на участке ниже зажора происходит временный спад уровней воды.

Выше зажора наблюдается подъем уровней. Критическое значение уклона, характеризующего место образования зажора льда,  $i > 0,050/00$ .

Для неизученных рек при отсутствии данных многолетних наблюдений уровни первой подвижки льда и высокого ледохода можно определять по приближенным формулам:

$QR_{ПЛ} = k_1 Q_{1\%}$ ;  $QR_{ВЛ} = k_2 Q_{1\%}$ ; где  $QR_{ПЛ}$  - расход, соответствующий минимальному уровню первой подвижки льда;  $QR_{ВЛ}$  - расход, соответствующий максимальному уровню весеннего ледохода;  $Q_{1\%}$  - максимальный расход весеннего половодья 1% обеспеченности;  $k_1$  и  $k_2$  - коэффициенты, принимаемые по таблице

Уровни снимают с морфометрической кривой  $Q=f(H)$ .

| Ледовые явления      | Значения $k_1$ и $k_2$     |      |      |      |
|----------------------|----------------------------|------|------|------|
|                      | Вероятность превышения в % |      |      |      |
|                      | 0,33                       | 1    | 2    | 10   |
| Первая подвижка льда | 0,29                       | 0,24 | 0,22 | 0,16 |
| Высокий ледоход      | 0,70                       | 0,59 | 0,55 | 0,41 |

# Построение кривой свободной поверхности водотока в условиях подпора

Кривые свободной поверхности водотока в условиях подпора рассчитывают при:

- расположении перехода на притоке более крупной реки или в зоне водохранилища;
- значительной длине участка стеснения речной долины насыпью дороги;
- прогнозировании затопления ценных земель, промышленных объектов, населенных пунктов и т.п.;
- проектировании мостового перехода в зоне подпора существующего моста, расположенного ниже по течению.

В случаях прогнозирования затопления ценных земель, промышленных объектов, населенных пунктов и других случаях, где требуется повышенная точность выполнения расчетов, построение кривой свободной поверхности должно производиться с использованием уравнения неравномерного движения, в том числе в двумерной постановке.

В других случаях, а также для выполнения предварительных расчетов можно использовать приближенные методы, основанные на замене естественного русла призматическим (т.е. с постоянным поперечным профилем по длине).

При использовании приближенных способов принципиальным является вопрос о выборе типа схематизированного русла. Естественные русла с широкими поймами, когда глубина на пойме много меньше ширины разлива, а ширина коренного русла занимает малую часть ширины разлива, заменяют широким прямоугольным руслом. Русла с небольшими поймами при больших глубинах на них и широким глубоким коренным руслом заменяют широким параболическим руслом.

Подпор над бытовым уровнем УВВр% в створе А на расстоянии  $l_a$  от источника подпора или створа с известным подпором при использовании метода с заменой естественного русла широким прямоугольным определяют из уравнения

$$\frac{i \cdot l_a}{h_0} = f_1\left(\frac{z_1}{h_0}\right) - f_1\left(\frac{z_a}{h_0}\right),$$

где  $z_1$  - подпор над бытовым уровнем УВВр% в створе источника подпора или в створе с известным подпором;  $z_a$  - искомый подпор над УВВр%;  $l_a$  - расстояние между створами;  $i$  - средний уклон свободной поверхности при УВВр% на участке;  $h_0$  - нормальная (фиктивная) глубина приведенного русла, определяемая по формуле

$$h_0 = \sqrt[3]{\frac{Q_{p\%}^2}{B_0^2 C^2 i}},$$

$Q_{p\%}$  - расчетный расход водотока при УВВр%;  $B_0$  - средняя ширина разлива на участке;  $C$  - коэффициент Шези естественного русла на участке, м<sup>0,5</sup>/с, определяемый для средней глубины потока на ширине разлива

# Определение расчетных расходов на переходах, расположенных в зоне влияния плотин

Если мостовой переход располагают ниже существующей капитальной плотины, то при определении расчетных расходов для мостового перехода возможность прорыва плотины исключают и учитывают лишь данные о трансформации паводка (сбросовые расходы), получаемые в организации, проектирующей водохранилище. Для небольших водохранилищ колхозных ГЭС, прудов с водосливными плотинами, а также озер, через которые проходит главное русло реки, трансформацию паводка рассчитывают по приближенной формуле

$$Q_{СБ} = Q_P \left( 1 - \frac{W_{OP}}{W_P} \right) k_{Г},$$

где  $Q_{СБ}$  - максимальный расход сброса из водоема;  $Q_P$  - максимальный расход воды, поступающей в водоем;  $W_{OP}$  - регулирующий объем водоема, равный площади акватории, умноженной на среднюю глубину возможного наполнения от межени до бровок берегов;  $W_P$  - объем расчетного паводка;  $k_{Г}$  - коэффициент, учитывающий кривизну графиков притока, принимаемый равным 0,85.

Если мостовой переход располагается в нижнем бьефе капитальной плотины, осуществляемой многолетнее регулирование, то в соответствующей проектной организации следует получить сведения о возможной «срезке» расходов на пике паводков, являющихся расчетными для мостового перехода.

Когда трасса проектируемого перехода проходит вблизи существующей некапитальной низконапорной плотины, в верхнем и нижнем бьефе ее, то сооружения перехода должны быть рассчитаны на пропуск расхода при прорыве плотины. Этот расход определяют по приближенной методике, изложенной ниже.

Нахождение створа перехода в зоне влияния некапитальной плотины в ее верхнем бьефе устанавливают по отметке уровня воды при максимальном наполнении водохранилища с учетом кривой подпора, образующейся при прохождении паводка.

Для перехода в нижнем бьефе плотины зону влияния ее на бытовой гидрологический режим водотока определяют расчетом.

После установления возможности прорыва некапитальной плотины определяют расход при ее прорыве (в м<sup>3</sup>/с) по формуле

$$Q_{П} = B_{П} H_{П}^{2/3} k_{ПР}$$

где  $B_{П}$  - длина плотины по ее гребню, м;  $H_{П}$  - напор (разность отметок верхнего и нижнего бьефов) в момент прорыва, м;  $k_{ПР}$  - коэффициент, учитывающий отношение возможной ширины прорыва к длине плотины и условия истечения воды при прорыве.

Значения коэффициента  $k_{ПР}$  в зависимости от длины  $B_{П}$  для вероятностей превышения  $P=2\%, 0,5\%$  приведены в табл. .

| $B_{П}$ | $k_{ПР}$ | $B_{П}$ | $k_{ПР}$ | $B_{П}$ | $k_{ПР}$ |
|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 20      | 0,48     | 140     | 0,38     | 280     | 0,32     |
| 40      | 0,45     | 160     | 0,37     | 320     | 0,30     |
| 60      | 0,43     | 180     | 0,36     | 360     | 0,29     |
| 80      | 0,41     | 200     | 0,35     | 400     | 0,28     |
| 100     | 0,40     | 220     | 0,34     | 460     | 0,26     |
| 120     | 0,39     | 260     | 0,33     | >500    | 0,25     |

## Иные расчетные методы

Воздействия течений, волн и льда на сооружения мостовых переходов рассматриваются в курсе гидрологии озер и водохранилищ; вопросы прогноза русловых деформаций – в теме, посвященной изысканию трубопроводов.

# Литература

- Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Пособие к СНиП 2.05.03-84 \Мосты и трубы\ по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки»4
- СВОД ПРАВИЛ. СП 35.13330.2011. МОСТЫ И ТРУБЫ. Актуализированная редакция. СНиП 2.05.03-84. Издание официальное. Москва 2011