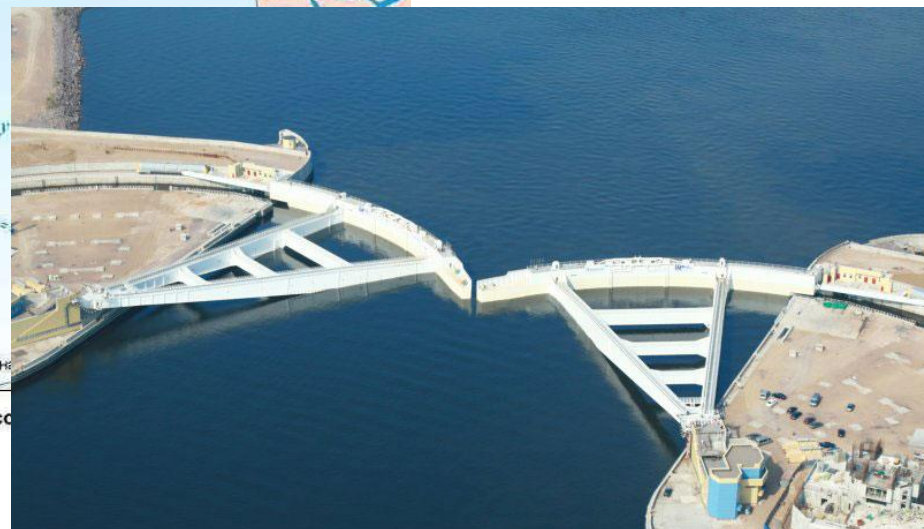
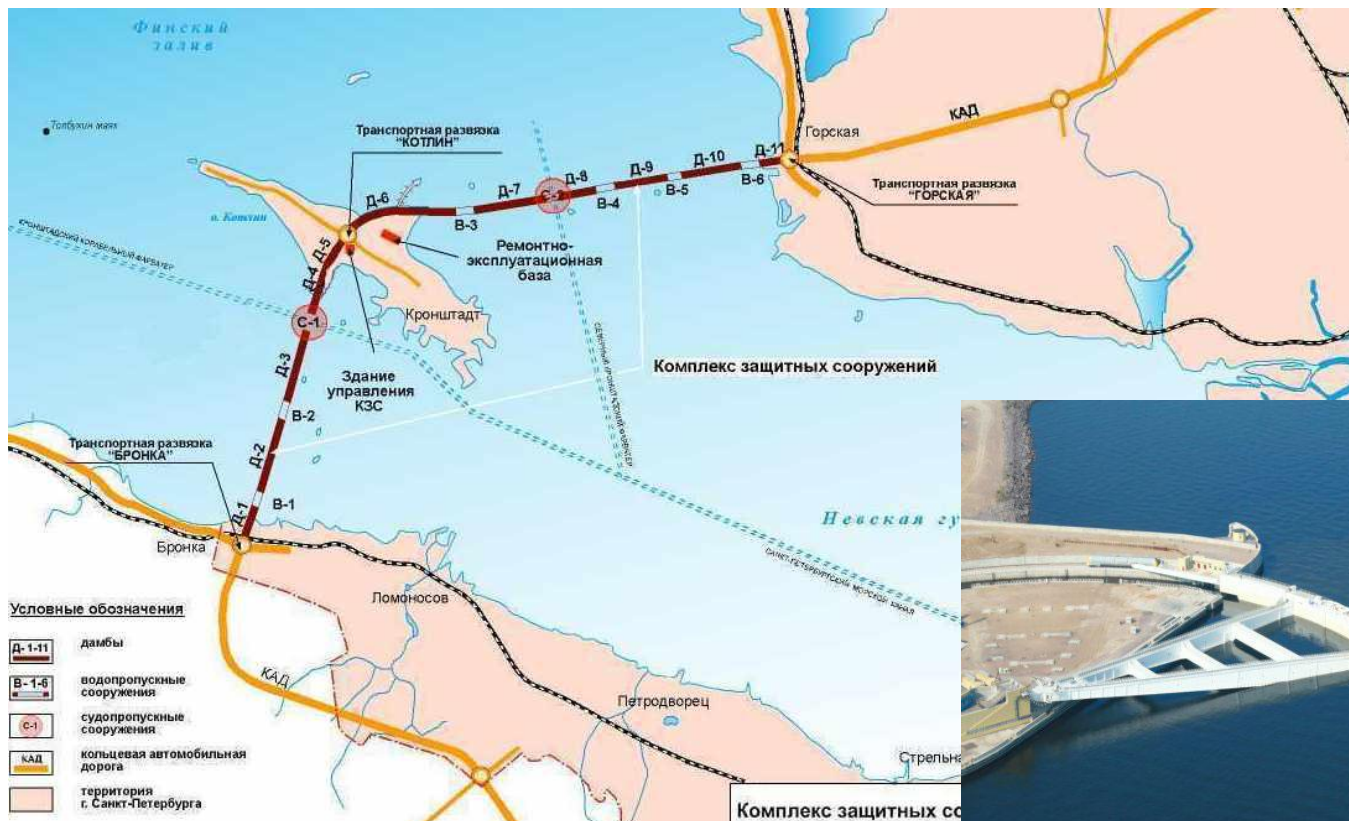


1. Определение общего размыва под мостом и местного размыва у опор.
2. Определение расчетного судоходного уровня воды.
3. Регуляционные сооружения мостового перехода.



«КЗС» защитные сооружения г. Санкт-Петербурга от наводнений – это комплекс дамб и смежных гидротехнических сооружений в акватории Финского залива, общей протяженностью 25,4 км.

Определение общего размыва под мостом и местного размыва у опор

Площадь живого сечения в отверстии моста существенно меньше площади поперечного сечения потока, проходящего в паводок по речной долине.

Поэтому средняя скорость течения под мостом в период паводка значительно возрастает и происходит общий размыв русла реки.

По предположению **Н.А. Белелюбского**, высказанному в 1875 г., при проектировании моста через р. Волга у г. Сызрань, размыв под мостом прекратится, когда скорость потока воды в размыве снизится до русловой скорости в естественных (обычных или бытовых) условиях, т.е. наступит равенство $V_{пр} = V_{рб}$.



Однако в дальнейшем наблюдении было установлено, что размыв в русле нередко прекращается при средней скорости, больше, чем бытовая.

Позже, в 1950-х годах проектировщик и ученый **Л.Л. Лиштван** высказал идею, что существует *скорость динамического равновесия, превышающая бытовую скорость*, до уровня которой размыв не происходит из-за соответствующего баланса поступающих и выносимых наносов, т.е. критерием стабилизации размыва является $V_{пр} = V_{дин}$.

Исходя из этого принципа в интерпретации ведущего научного специалиста НИИ Транспортного строительства (ЦНИИС) **В.Ш. Цыпина** была предложена формула для определения глубины потока после размыва в русловой части отверстия при динамическом равновесии несвязных грунтов со средней крупностью частиц d (см. учебное пособие):

$$h_{п.р} = 0,93 \left(\frac{q}{\beta d^{0,2} \sqrt{g}} \right)^{0,77}$$

Если в процессе размыва вскрываются грунты с более крупными частицами, чем наносы и связный материал, то размыв также прекращается, т.е. условием стабилизации размыва в этом случае является равенство $V_{np} = V_o$, где V_o – неразмывающая скорость для определенного вскрытого грунта в подмостовом русле.

Величину общего размыва принято характеризовать коэффициентом размыва P , который определяется по формулам:

$$P = \frac{\omega_{n.p.}}{\omega_{д.р.}} \quad P = \frac{\bar{h}_{n.p.}}{\bar{h}_{д.р.}}$$

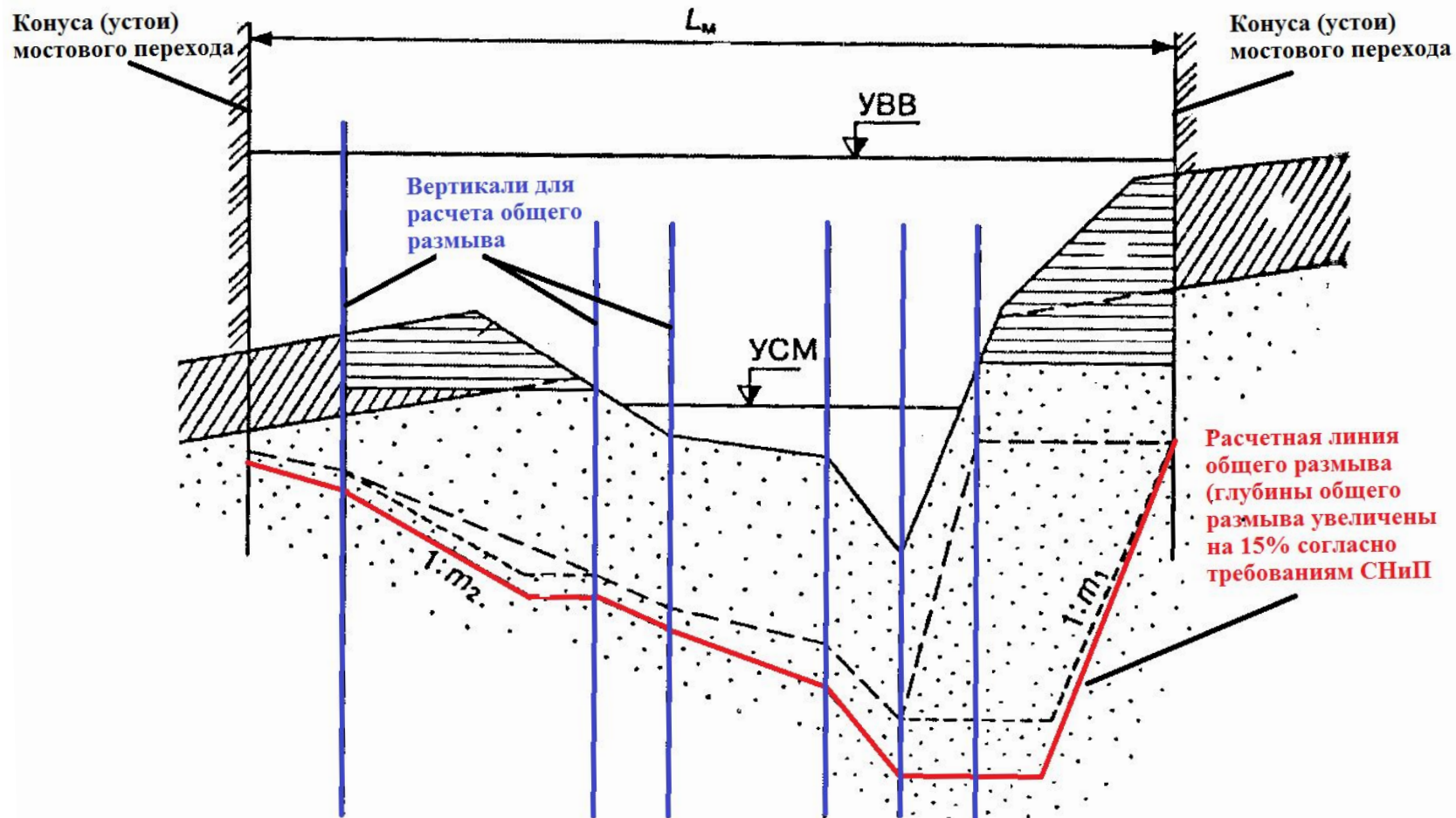
Расчет величины общего размыва подмостового русла может производиться двумя способами:

- 1) по допускаемым скоростям течения;
- 2) по балансу наносов.

Для построения линии дна под мостом после размыва, необходимо:

- 1) Назначить характерные вертикали – границы морфологически однородных участков и переломы живого (поперечного) сечения участков (при необходимости намечают дополнительные вертикали);
- 2) На данных вертикалях устанавливают значение глубины после размыва $h_{n.p.}$ (для этого необходимо рассчитать величину удельного расхода q_i на каждой i -ой вертикали подмостового сечения);
- 3) По этим данным строят расчетную линию общего размыва под мостом (согласно требованиям СНиП в глубину общего размыва вводится поправка в размере 15%).

Расчетная линия общего размыва в подмостовом сечении



Величина общего размыва пропорциональна скорости и глубине водного потока.

Увеличение скорости течения воды у опор и изменение направления потока приводят к дополнительному местному размыву дна.

При *динамическом равновесии* объемов наносов, поступающих в «воронку» местного размыва и выносимых из нее, местный размыв у опоры прекращается.

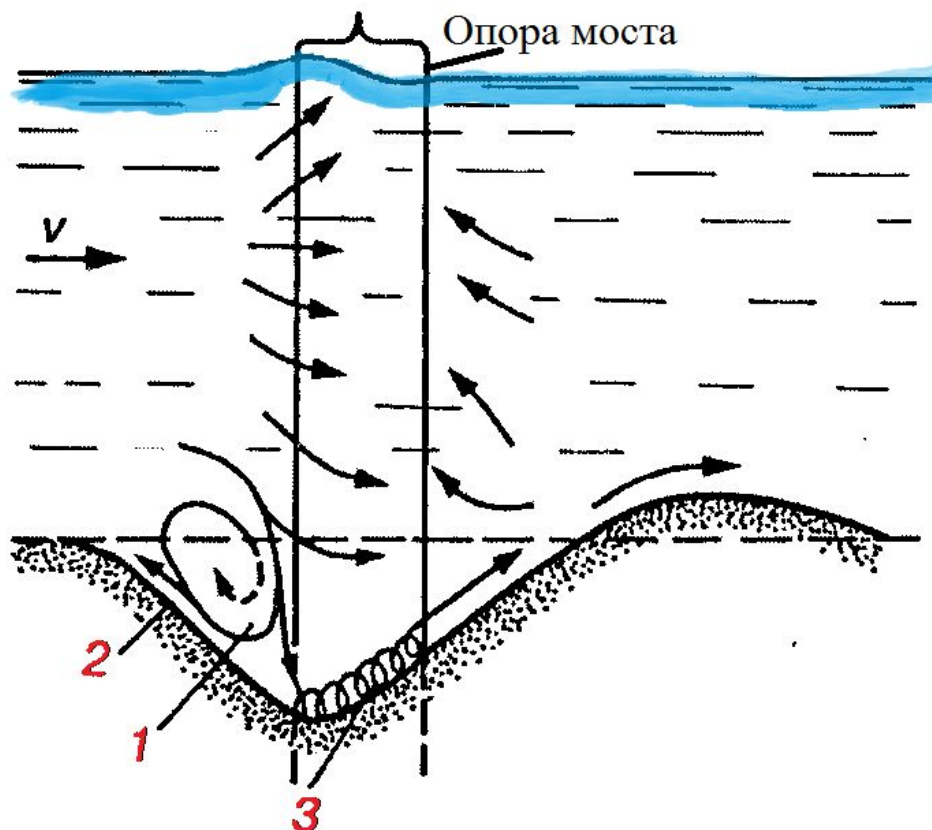
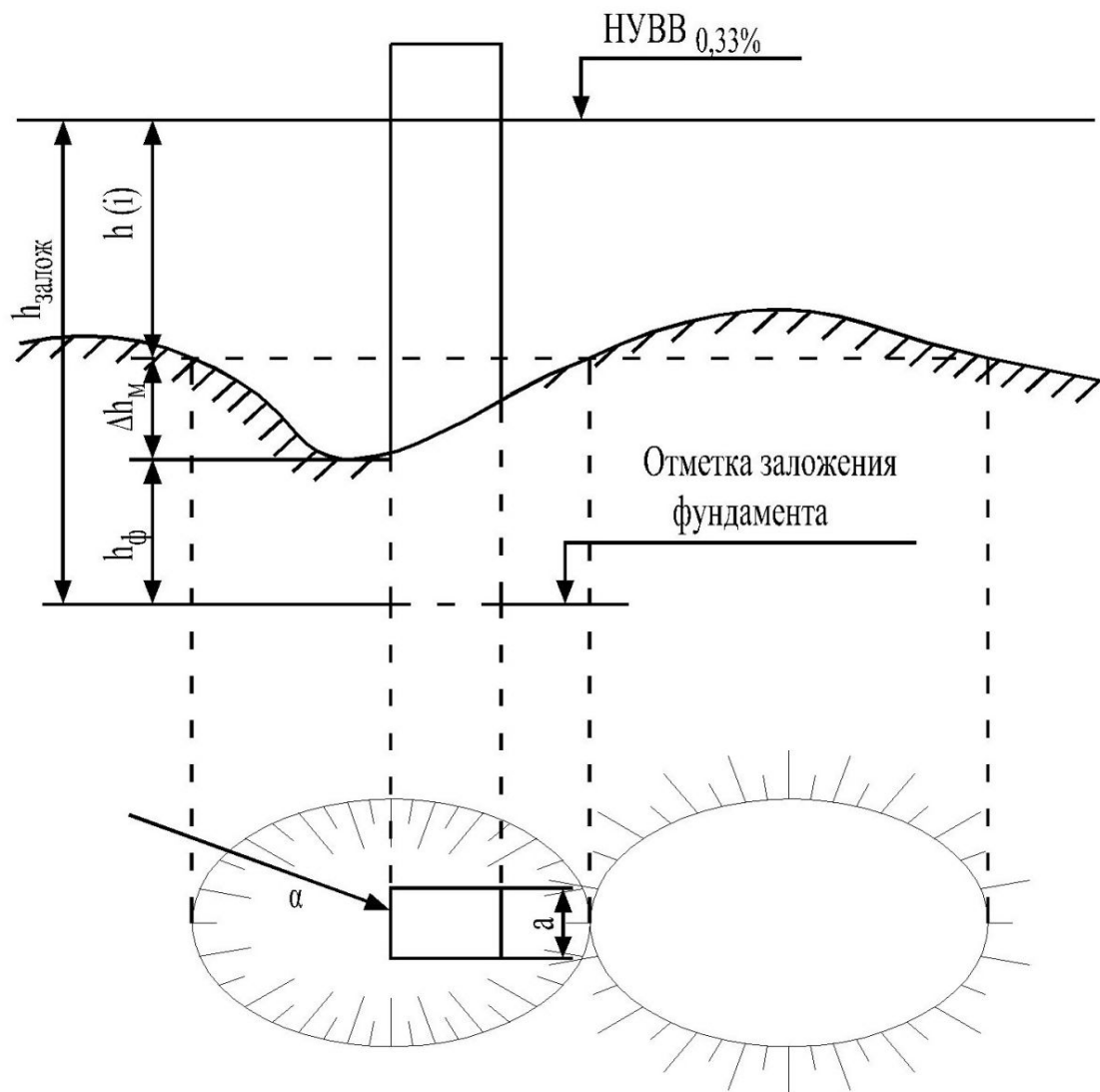


Схема обтекания опоры: **1** — валец перед опорой; **2** — составляющая скорости вальца U_B , касательная к поверхности воронки; **3** — вихревой шнур

Величина общего и местного размыва влияет на глубину заложения фундамента опор и их стоимость.

СХЕМА МЕСТНОГО РАЗМЫВА ОПОРЫ МОСТА



Условные обозначения на схеме:

$h_{(i)}$ – глубина на вертикали после общего размыва с учетом поправки, м;

Δh_M – наибольшая глубина местного размыва у опоры, м;

h_{ϕ} – необходимое заглубление фундамента в грунт, зависящее от типа грунтов основания и конструкции фундамента, м;

$h_{\text{залож}}$ – глубина заложения фундамента, м;

a – расчетная ширина опоры моста, м;

α – угол между продольной осью опоры и течением воды перед опорой.

Определение расчетного судоходного уровня воды (PCY) и допустимых отметок бровки земляного полотна

Одной из важных задач проектирования мостовых переходов через судоходные реки является определение расчетного судоходного уровня воды (PCY). Отметка PCY влияет на высоту моста, а также на высоту и протяженность пойменных насыпей.

Чем выше отметка PCY, тем больше стоимость мостового перехода. Но с другой стороны от принятой отметки PCY зависит режим навигации в реке (продолжительность), т.е. чем эта отметка выше, тем более благоприятными являются условия для судоходства.

Обычно отметка PCY ниже расчетного и наибольшего уровней, т.е. вероятность превышения PCY выше, чем вероятность превышения РУВВ и НУВВ. Если фактический уровень воды превышает PCY, движение судов прекращается. Таким образом, при выборе PCY необходимо учитывать как возможные потери, связанные с простоем судов, так и затраты на сооружение мостового перехода. **Отметка PCY зависит от класса реки.**



Последовательность определения РСУ следующая:

1. По данным гидрометрических наблюдений продолжительностью не менее 10 лет строят водомерные графики паводков или половодий.

2. Определяют расчетную продолжительность навигации T , сут. Как среднеарифметическое значение этих периодов за все годы наблюдений.

3. Устанавливают допускаемую для данного класса водного пути продолжительность стояния уровней воды выше РСУ $t_{сут}$ по формуле:

$$t = \frac{kT}{100}$$

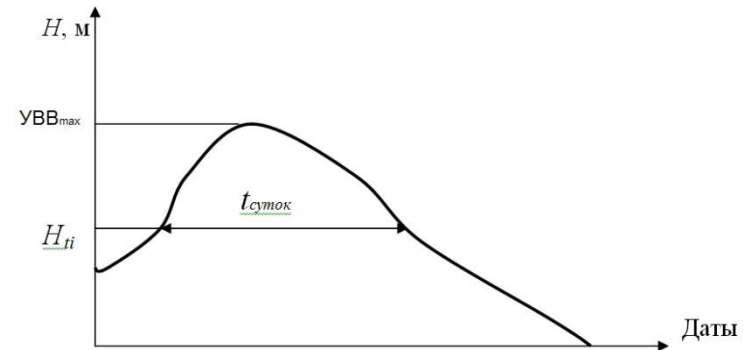
где k - коэффициент допускаемого снижения продолжительности навигации, принимаемый в зависимости от класса водного пути (см. таблицу учебного пособия)

4. По водомерным графикам определяют уровни воды, сохраняющиеся в определенном году в течение t суток - H_{ti} .

5. Полученные значения уровней ранжируют в порядке убывания и для каждого члена ряда определяют эмпирическую вероятность его превышения $p_{э}$.

6. На клетчатке вероятности строят график H_{ti} ($p_{э}$).

7. По графику H_{ti} ($p_{э}$) определяют РСУ, соответствующий **расчетной вероятности его превышения P_d** , которая принимается по нормам в зависимости от класса водного пути (см. таблицу учебного пособия).



Виды силовых воздействий на сооружение мостового перехода

Сооружения мостовых переходов

проектируются с учетом воздействия на них:

- 1) **атмосферных осадков** (могут вызвать образование оврагов на откосах насыпи;
- 2) **водного потока** (проявляются в виде размыва дна реки, подмыва дна у опор и устоев моста, у подходных насыпей, регуляционных и защитных сооружений);
- 3) **льда:**
 - динамические нагрузки (удар отдельно плывущих льдин, трение льдин о поверхность сооружения);
 - статические нагрузки (от навала ледяного поля на сооружение под влиянием ветра или течения, передающиеся примерзшим к сооружению ледяным покровом при термическом расширении или колебаниях уровня воды);
- 4) **волн** (вызывают нагон воды ветром, накат волны и т.д.)



Волновые воздействия. Нагон воды ветром. Накат волны. Подпор у мостового перехода.

При ветре, дующем в одном направлении длительное время (не менее 6 часов) на водной поверхности акватории образуются **ветровые волны**.

Высоту нагона воды ветром Δh_{set} принимают по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии по приближенной формуле

$$\Delta h_{set} = \sqrt{0,25h_a^2 + k_w \frac{v_w^2}{g} L_{pw} \cos \alpha_w} - 0,5h_a$$

- где h_a – глубина воды в акватории, м,
 k_w – коэффициент, принимаемый в зависимости от расчетной скорости ветра V_w
 v_w – расчетная скорость ветра, м/с;
 L_{pw} – длина разгона волны
 α_w – угол между продольной осью водоема и направлением ветра, град;

При стеснении паводочного потока мостовым переходом условия течения в районе перехода существенно меняются по сравнению с бытовым, поскольку пойменные насыпи отклоняют пойменные потоки от направления их движения в бытовых условиях.

Это сопровождается искривлением струй, изменением глубин и скорости потока. В результате чего уровни воды повышаются по сравнению с отметками его в естественных условиях – **возникает подпор**.

Выше по течению от створа перехода на некотором расстоянии от него струи поворачивают к отверстию моста, вытекая из-под моста поток постепенно расширяется.

Параметры волн и **высоту наката волн** h_{run} на откос сооружения определяют с учетом подпора и нагона воды при УВВ:

- *наибольшем* – при назначении отметок бровки сооружения или незатопляемой бермы и верха укрепления откосов;
- *расчетном* – при определении мощности укреплений.

$$h_{run} = k_r k_p k_{sp} k_{run} h_B,$$

или приближенную формулу

$$h_{run} = \sqrt{1,5} h_B \left(\frac{\bar{\lambda}}{h_B} \right)^{0,6} \frac{k_r k_p}{m},$$

где k_r и k_p – коэффициенты, характеризующие шероховатость укрепления откоса

k_{sp} – коэффициент, учитывающий расчетную скорость ветра v_w и коэффициент заложения откоса m

k_{run} – коэффициент, определяемый по табл. в зависимости от коэффициента заложения откоса m и пологости волны $\frac{\bar{\lambda}}{h_B}$;

h_B – высота волны, м,

Минимальная отметка проектной линии **на мосту** учитывает:

- отметку РСУ;
- высоту подмостового габарита над РСУ;
- строительную высоту судоходного пролетного строения c ;
- расстояние от подошвы рельса до бровки земляного полотна d .

$$H_{\min(c)} = \text{PCY} + H + c - d$$

На несудоходных и несплавных реках, а также на судоходных реках **в пределах несудоходных пролетов** минимальная отметка бровки зависит от:

- расчетного (РУВВ) и наибольшего (НУВВ) уровней воды заданной вероятности превышения (ВП);
- уровня высокого ледохода;
- соответствующих нормативных возвышений низа пролетных строений над этими уровнями;
- c и d (см. выше).

$$H_{\min(\text{nc})}^1 = \text{РУВВ}_{p\%} + M + c - d$$

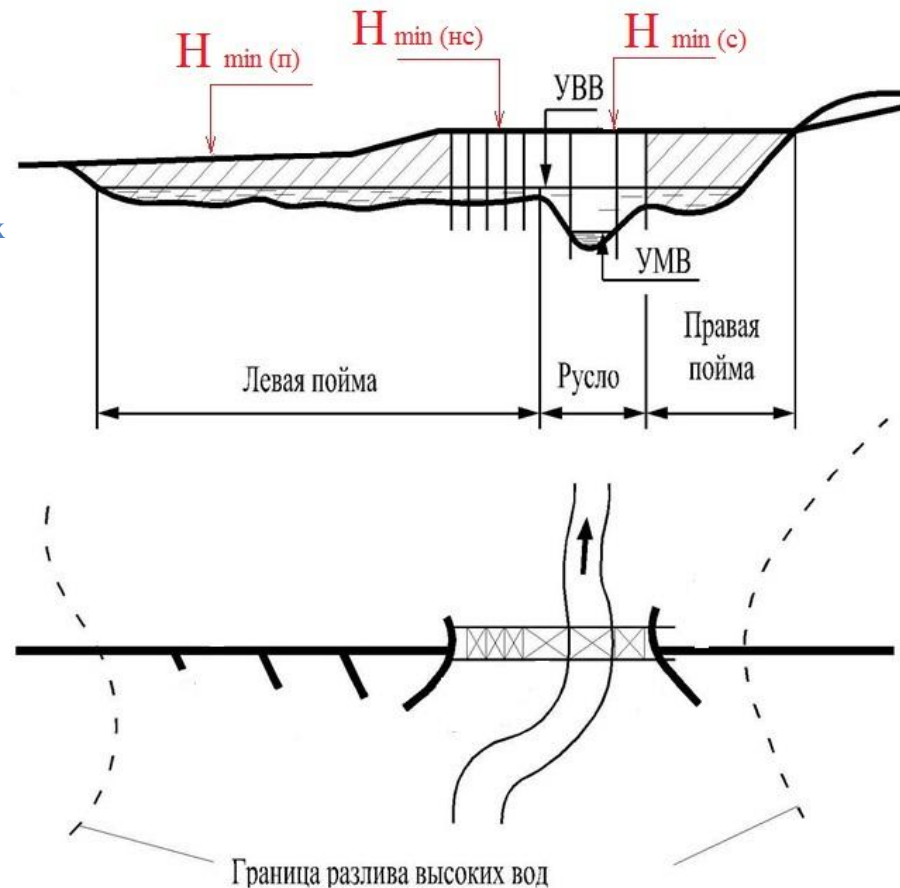
$$H_{\min(\text{nc})}^2 = \text{НУВВ}_{p\%} + M' + c - d$$

$$H_{\min(\text{nc})}^3 = \text{УВЛ} + M'' + c - d$$

Минимальная отметка проектной линии **на пойме** учитывает:

- отметку НУВВ;
- максимальный подпор воды перед насыпью;
- высоту нагона и наката волны;
- технический запас Δ , равный 0,5 м.

$$H_{\min(\text{п})} = \text{НУВВ}_{p\%} + \Delta h_{\text{н}} + \Delta h_{\text{set}} + h_{\text{run}} + \Delta$$



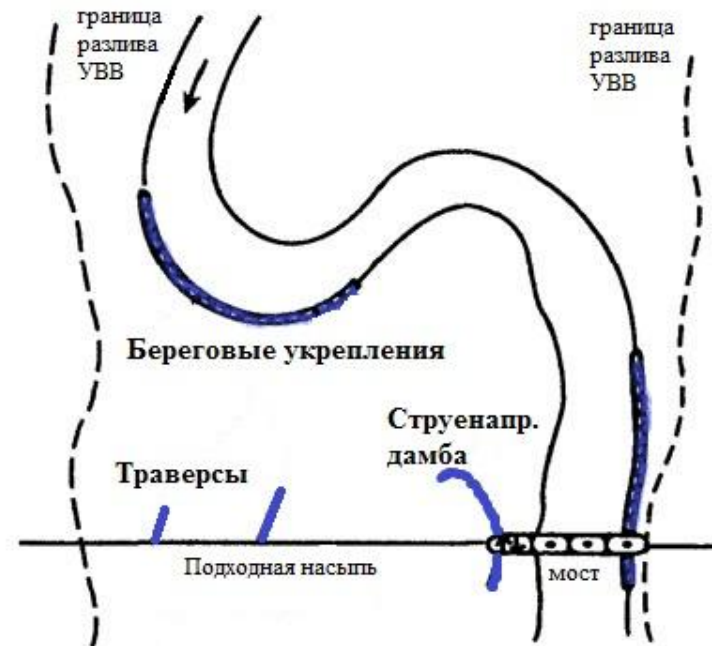
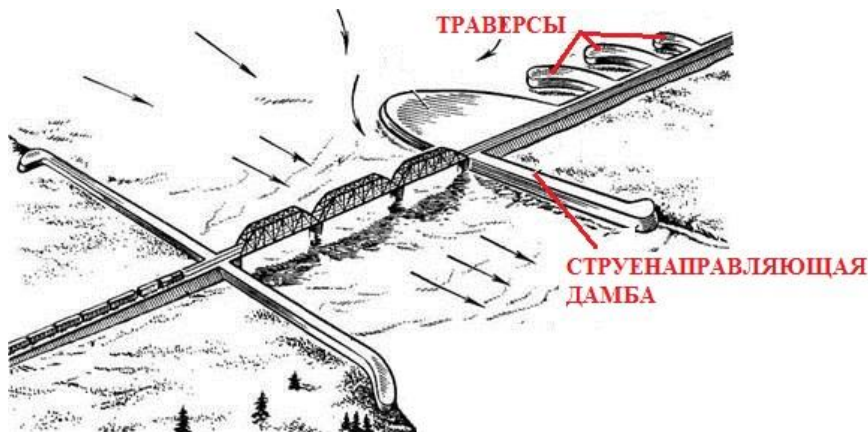
Назначение и проектирование регулиционных сооружений мостового перехода



«КЗС» защитные сооружения г. Санкт-Петербурга
от наводнений - вид с птичьего полета

К регуляционным сооружениям относятся:

- струенаправляющие дамбы;
- траверсы;
- запруды;
- укрепительные и защитные сооружения;
- возможное уширение и спрямление русла.



Комплекс регуляционных сооружений должен обеспечивать:

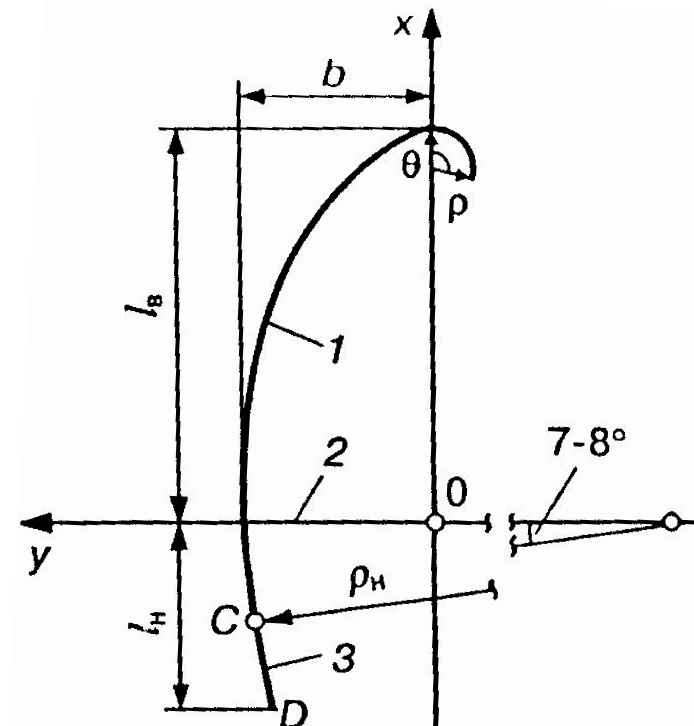
- плавный ввод водного потока в отверстие моста,
- равномерное распределение расхода в пределах отверстия моста,
- плавный вывод потока из-под моста,
- предупреждение подмыва и размыва пойменных насыпей, берегов и траверсов и т. п.

В зависимости от местных условий некоторые из перечисленных сооружений могут отсутствовать.

Регуляционные сооружения в ряде случаев имеют большую стоимость, поэтому иногда выгоднее увеличить отверстие моста.

Струенаправляющие дамбы состоят из верхней и нижней частей. Верховые дамбы (l_B) обеспечивают постепенное сужение потока перед мостом до размера его отверстия, а низовые (l_H) - расширение потока за мостом (см. рисунок). Где b – ширина разворота дамбы (или малая полуось).

Струенаправляющая дамба устраивается, если пойма пропускает не менее 15% расчетного расхода воды или при средней скорости потока под мостом более 1 м/с.



Характерное очертание и размеры струенаправляющих дамб: 1 — верховая дамба; 2 — насыпь подхода к мосту; 3 — низовая дамба

Верховые дамбы имеют эллиптическое (шпоровидное) очертание (А. М. Латышенков).

Размеры дамб зависят от:

- 1) ширины разлива реки;
- 2) коэффициента стеснения водного потока подходными насыпями.

Система поперечных сооружений при правильном их размещении обеспечивает отжим течения при насыпи или берега, направляя поток вдоль головных частей траверсов или шпор.

Траверсы служат для защиты пойменных насыпей от размыва. Длина и расположение траверсов зависят от вылета верховой части дамбы и ширины разлива реки при НУВВ.

Верхний уровень дамб и траверсов проектируется по аналогии с бровкой земляного полотна на поймах реки с учетом технического запаса не менее 0,25 м.

Откосы земляного полотна на поймах, откосы регулиционных сооружений и берега являются наиболее уязвимыми для воздействия воды и льда. Главное назначение укреплений - защита сооружений из грунта от деформаций, подмыва, размыва и разрушения.



«Иван'ковская плотина» в верховьях реки Волги, построенная в марте 1937 года, образовала крупное водохранилище, именуемое *Московским морем*. Водой была затоплена территория, которую занимали *106 населённых пунктов* (общая площадь *32 000 га*). В отдельные годы падение уровня воды достигает **7 метров**, а площадь водоёма тогда сокращается почти в 4 раза.