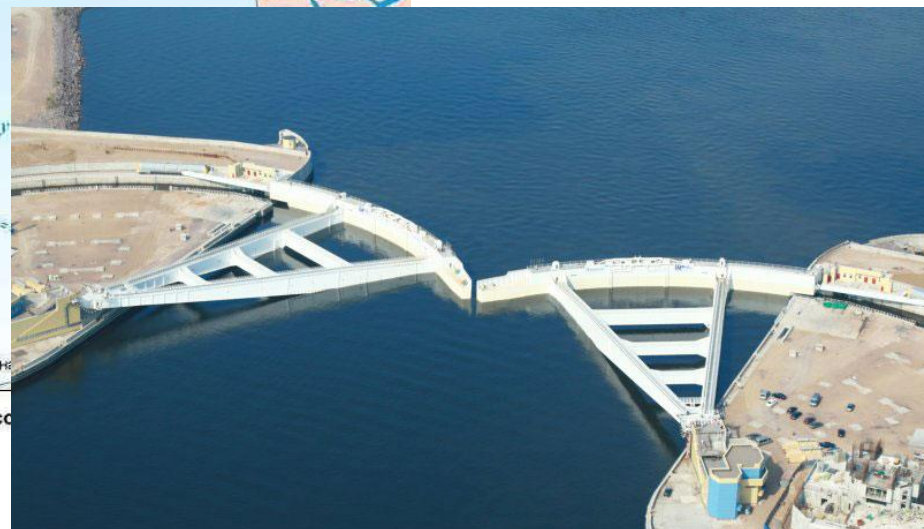
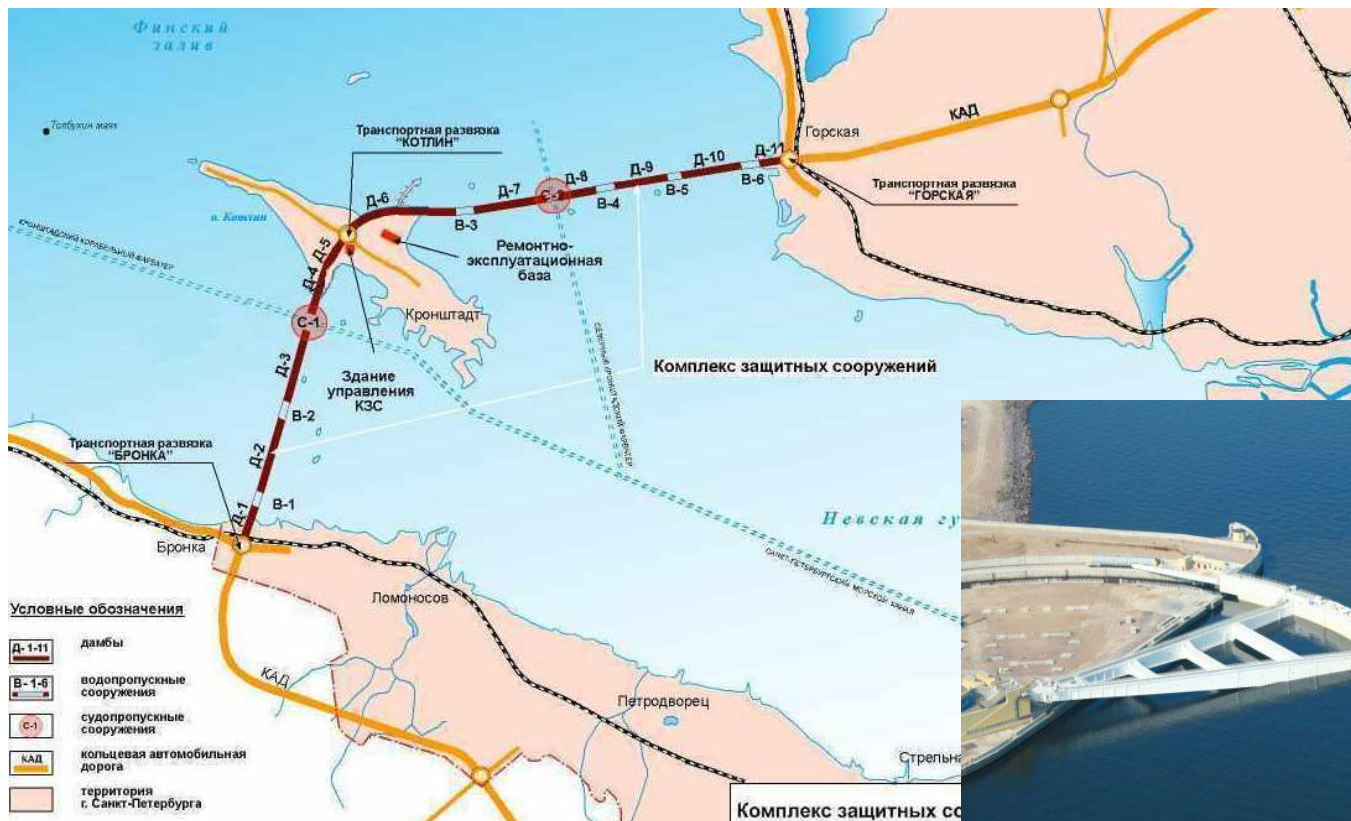


1. Определение общего размыва под мостом и местного размыва у опор.
2. Определение расчетного судоходного уровня воды.
3. Регуляционные сооружения мостового перехода.



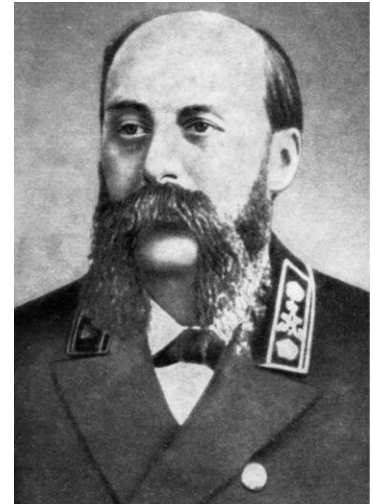
«КЗС» защитные сооружения г. Санкт-Петербурга от наводнений – это комплекс дамб и смежных гидротехнических сооружений в акватории Финского залива, общей протяженностью 25,4 км.

## 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:

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

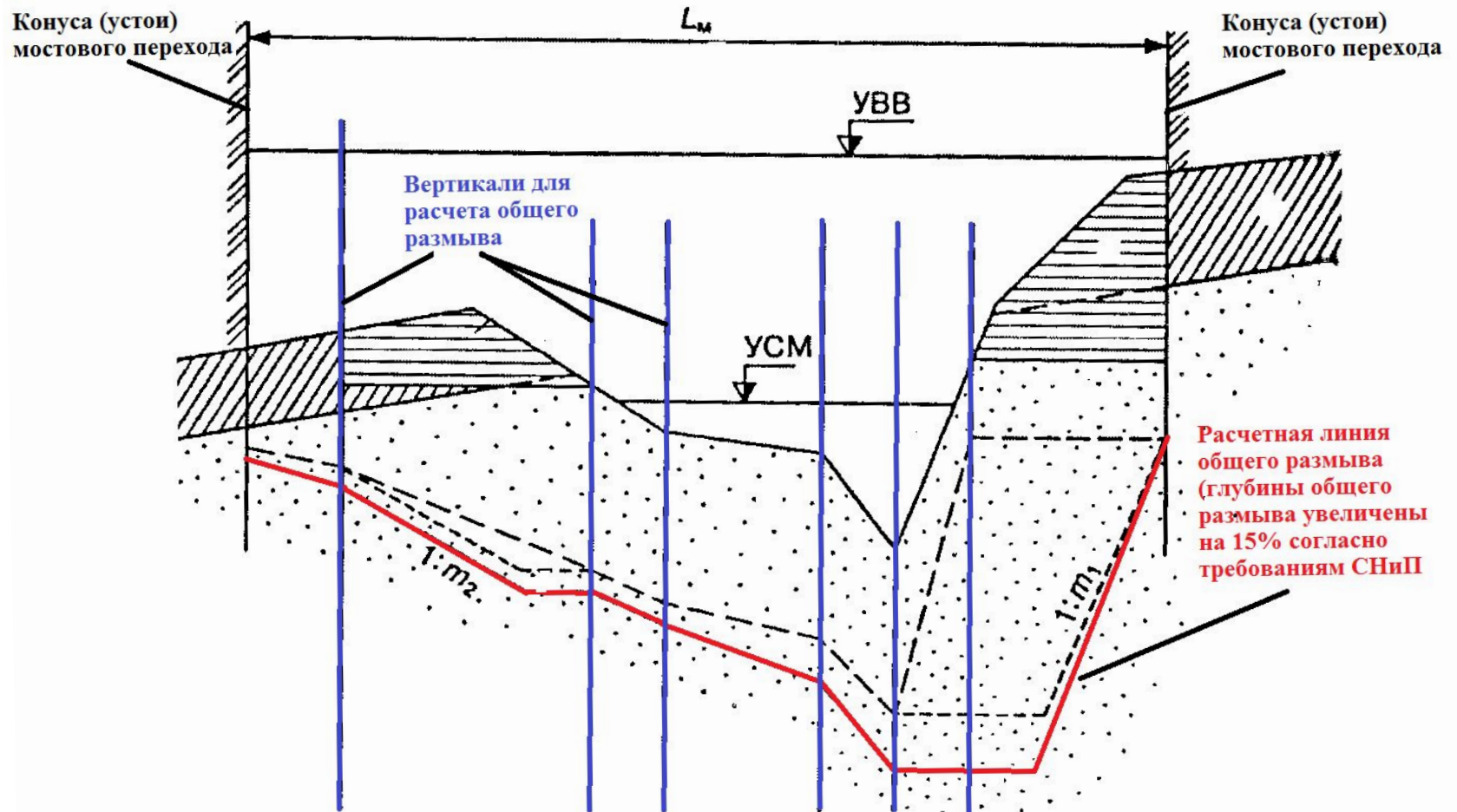
Расчет величины общего размыва подмостового русла может производиться двумя способами:

- 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.

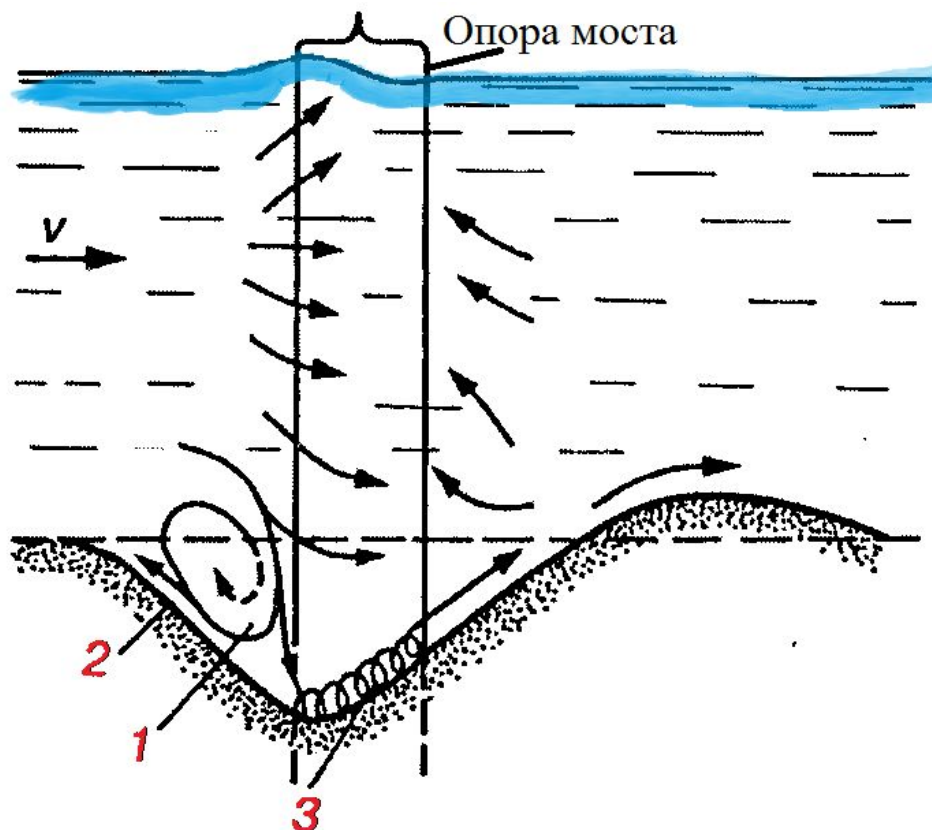
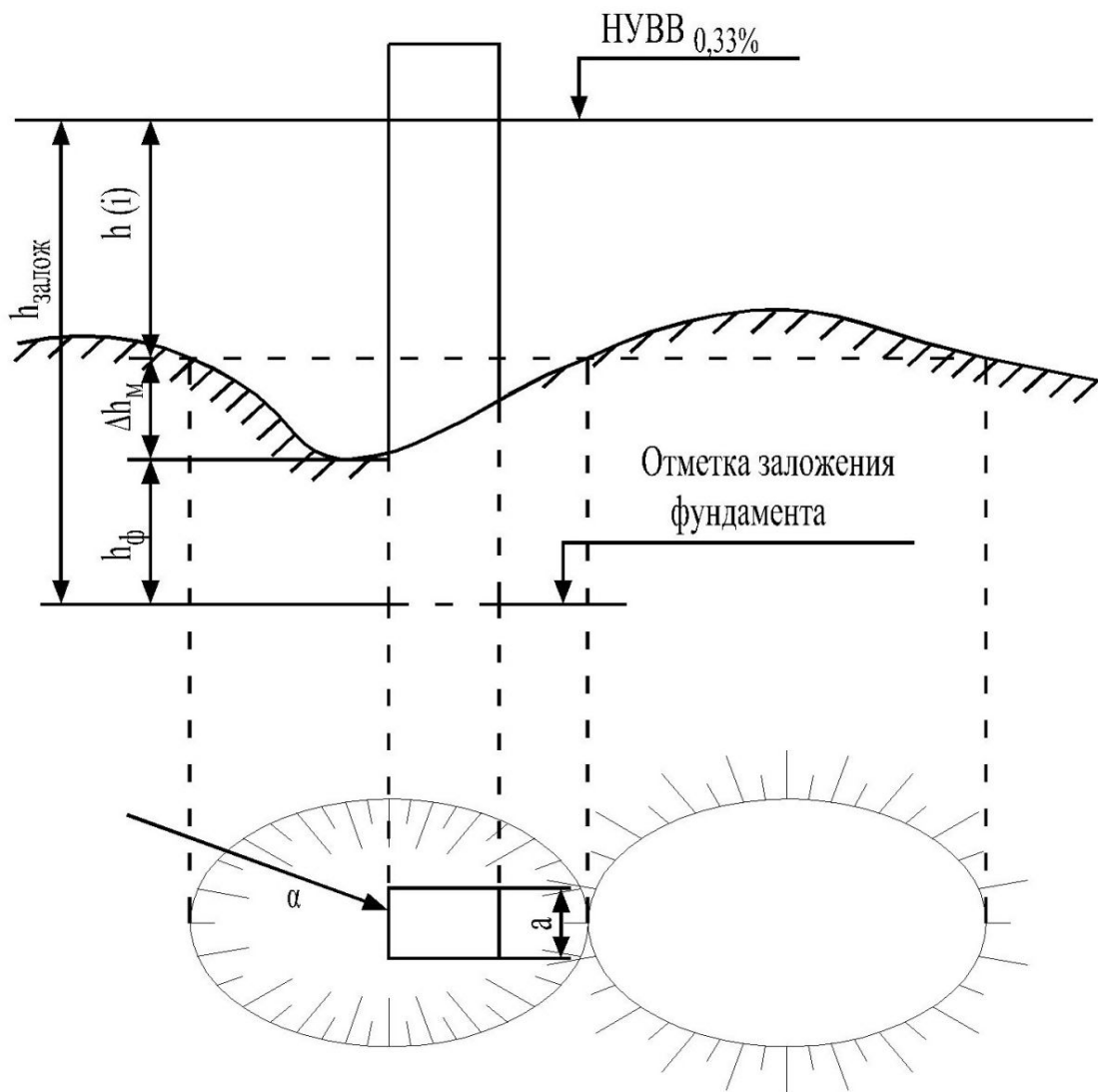


Схема обтекания опоры: **1** — валец перед опорой; **2** — составляющая скорости вальца  $U_B$ , касательная к поверхности воронки; **3** — вихревой шнур

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;

$\Delta h_{\text{м}}$  – наибольшая глубина местного размыва у опоры, м;

$h_{\text{ф}}$  – 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;

$\alpha$  – 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:

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

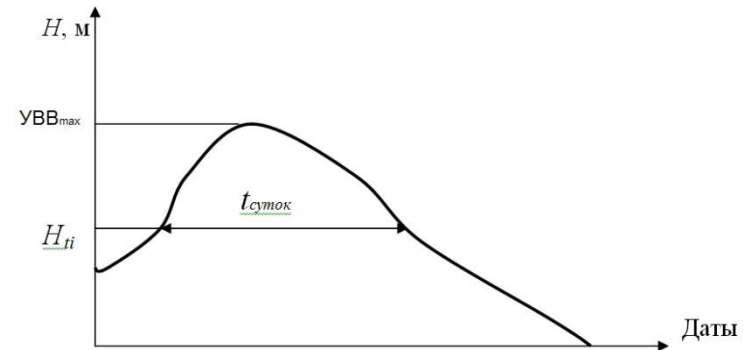
где  $k$  - коэффициент допускаемого снижения продолжительности навигации, принимаемый в зависимости от класса водного пути (см. таблицу учебного пособия)

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  $\Delta h_{set}$**  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  
 $\alpha_w$  – 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).

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

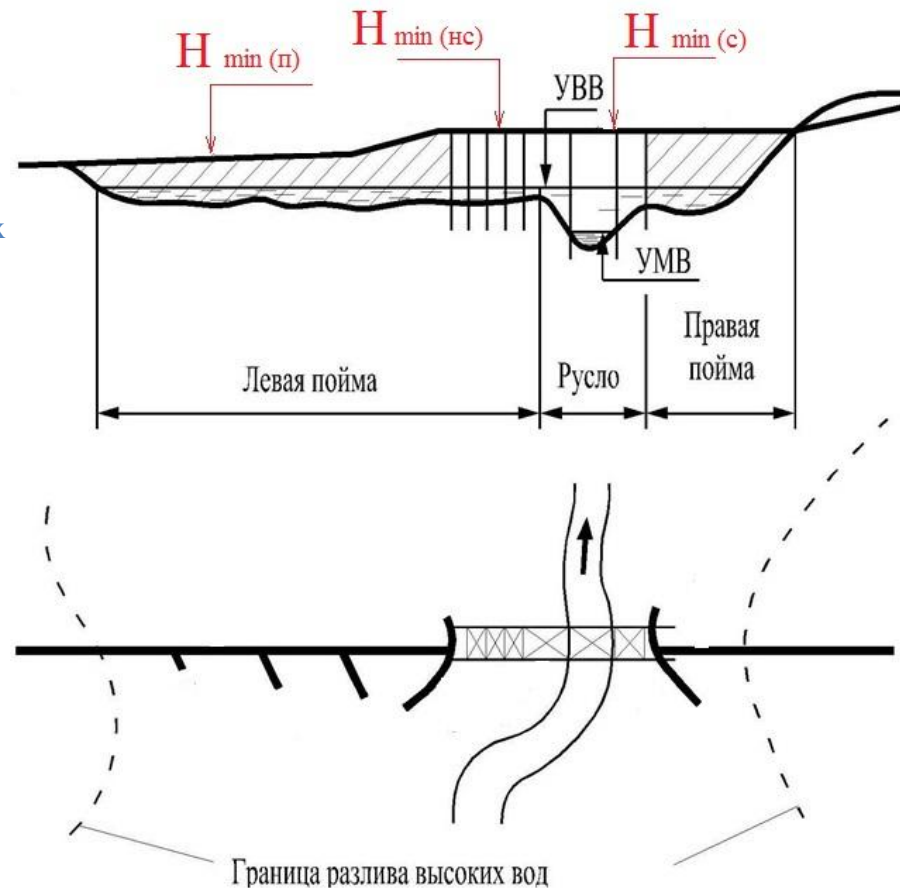
$$H_{\min(\text{nc})}^2 = \text{НУВВ}_{p\%} + M' + c - d$$

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

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

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

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



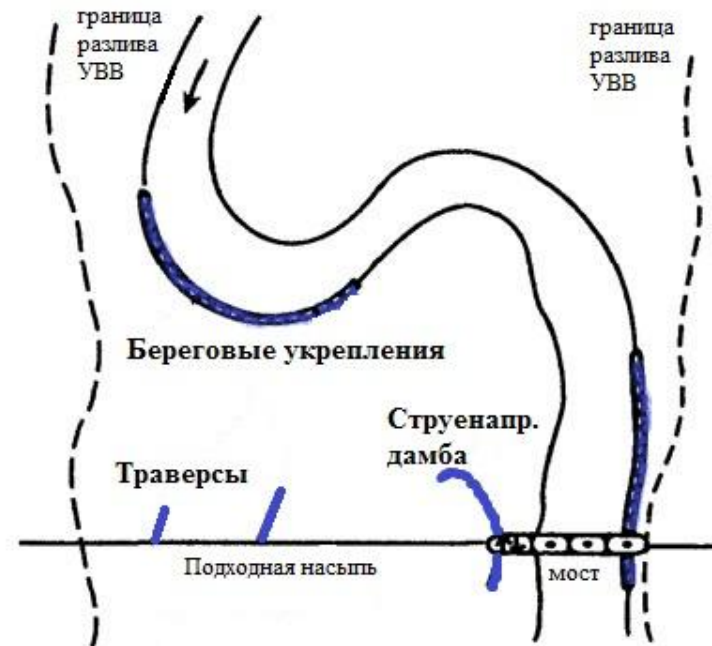
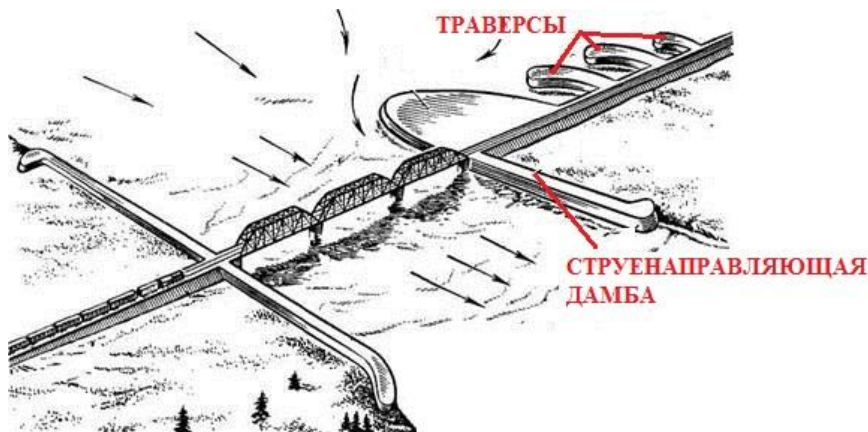
# Назначение и проектирование регулиционных сооружений мостового перехода



«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.

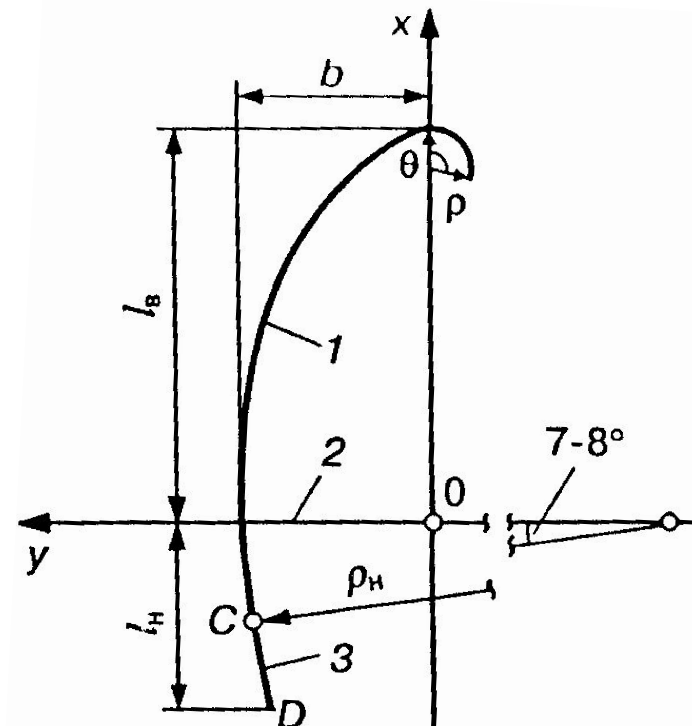
В зависимости от местных условий некоторые из перечисленных сооружений могут отсутствовать.

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



Струенаправляющие дамбы состоят из верховой и низовой 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.