

# Мостовые переходы через постоянные водотоки



Мост через р. Каму у села Сорочьи Горы. Общая длина 13967м, 2002 г.

«Президентский мост» через реку Волгу (Куйбышевское водохранилище), Ульяновск. Общая длина мостового перехода — 12 970 метров, 2008 г.



Железные и автомобильные дороги пересекают многочисленные периодические и постоянные водотоки.

“Периодические” водотоки возникают после выпадения осадков и (или) в результате снеготаяния.

К “постоянным” водотокам относят:

- реки;
- каналы;
- водохранилища;
- проливы;
- и др. крупные водные препятствия.

Для пересечения больших постоянных водотоков могут быть предусмотрены мостовые переходы, тоннельные пересечения, дамбы и др.

Наиболее распространенными являются **мостовые переходы**.

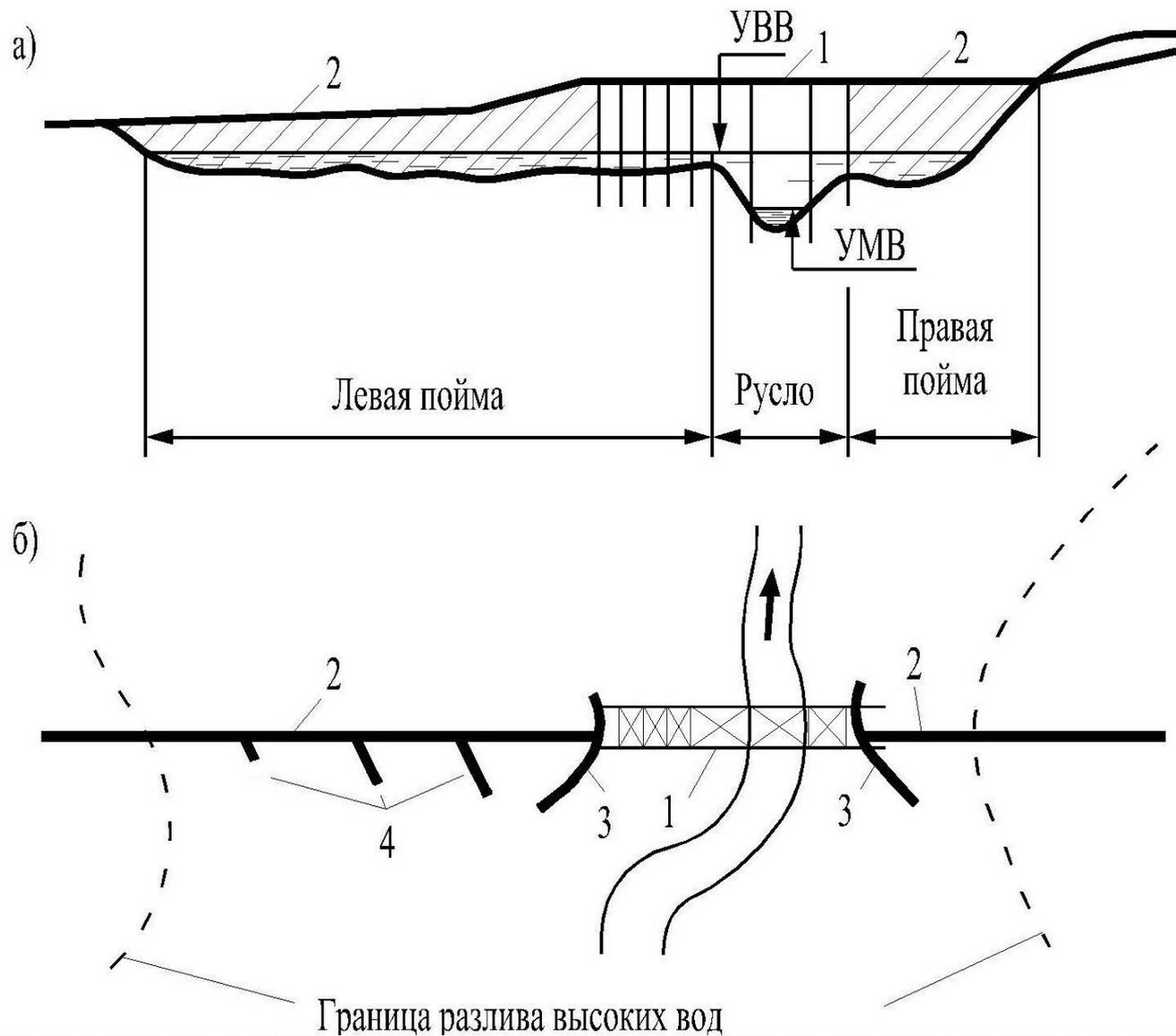


# Понятие о мостовом переходе

*Мостовой переход* – это комплекс инженерных сооружений, включающий в себя:

- подходы к мосту (*дальние* подходы от общих точек сравниваемых вариантов пересечения водотока и *ближние* подходы, т.е. пойменные насыпи или эстакады);
- мост (береговые устои, промежуточные опоры и пролетные строения), обеспечивающий пересечение русловой части водотока;
- регулиционные сооружения (струенаправляющие дамбы и траверсы);
- укрепительные (или защитные) сооружения берегов русла, откосов насыпей, дамб и траверс.

# Примерный общий вид мостового перехода



## Мостовой переход через реку:

- а** – продольный профиль;
- б** – план;
- УВВ** – уровень высоких вод;
- УМВ** – уровень меженных вод;
- 1** – мост;
- 2** – подходы (пойменные насыпи);
- 3** – струенаправляющие дамбы;
- 4** – траверсы

# Основные требования к мостовым переходам

Мостовой переход является одновременно транспортным и гидротехническим сооружением.

В связи с этим, он должен обеспечивать:

- безопасный и бесперебойный пропуск по мосту поездов и (или) автомобилей в пределах расчетной пропускной способности дороги;
- безопасный для сооружений перехода и для участников движения пропуск под мостом:
  - расходов воды заданной вероятности превышения,
  - судов (на судоходных реках),
  - ледохода и карчехода;
- экологически благоприятные условия строительства и эксплуатации пересечения.



Зажор льда

## **Основные задачи, решаемые при проектировании мостового перехода**

- 1. Выбор места пересечения водотока в увязке с основным направлением дороги.**
- 2. Трассирование подходов (проектирование плана и продольного профиля трассы).**
- 3. Выполнение инженерно-геодезических, инженерно-геологических и инженерно-гидрологических работ.**
- 4. Определение расходов и уровней воды заданной вероятности превышения.**
- 5. Расчет отверстия (длины моста) и назначение схемы моста, т.е. количества пролетов и их длины.**
- 6. Проектирование устоев, опор и пролетных строений.**
- 7. Проектирование пойменных насыпей.**
- 8. Проектирование регулиционных и укрепительных сооружений.**
- 9. Технико-экономическое обоснование проектных решений.**

## При выборе места пересечения водотока следует:

- учитывать общее направление проектируемой линии,
- стремиться к перпендикулярному пересечению водотока (иначе увеличивается длина моста и пойменных насыпей),
- избегать устройства кривых в пределах разлива реки ( иначе также увеличивается длина и стоимость пойменной насыпи, образуется или зона размыва её откоса или зона экологического загрязнения),
- располагать мост в местах узких пойм при наличии удобных к нему подходов,
- учитывать возможность спрямления русла (с целью сокращения длины линии),
- учитывать конкретные топографические, геологические, гидрологические и иные условия проектирования.

# Типы и режимы рек

Важной геометрической характеристикой реки является *площадь водосборного бассейна*. В зависимости от этой площади реки подразделяются на большие, средние и малые.

К большим относят реки с  $F > 50$  тыс. км<sup>2</sup>. Такие реки обычно протекают в пределах нескольких географических зон. Если они текут с юга на север, или наоборот, то на них в разное время по длине происходят: вскрытие ото льда, подъём воды в реке и т.п. Эти факторы оказывают свое особое влияние на проектирование сооружений мостового перехода.

Средние реки обычно протекают в пределах одной географической зоны и имеют площадь водосбора от 2 до 50 тыс. кв. км.

Малые реки имеют площадь водосбора до 2 тыс. кв. км.

**Большое влияние на режим и особенности протекания воды в реке оказывает рельеф бассейна, характеризующийся продольным уклоном речной долины и уклонами склонов бассейна.**

В связи с этим, различают три типа рек: равнинные, предгорные и горные.

Равнинные реки протекают в неглубоких, хорошо разработанных широких долинах, сложенных легкоразмываемыми (обычно песчаными) грунтами.

В поперечном сечении четко выделяются хорошо разработанные глубокие русла и мелкие поймы.

Уклоны равнинных рек не превышают  $0,0005$ . Во время подъёма воды скорость течения в русловой части может достигать  $1,5-2,0$  м/с, на поймах –  $0,3-0,5$  м/с.

Предгорные реки имеют более узкие долины и более мелкие русла. Поймы могут отсутствовать.

Перемещаемые потоком наносы представляют собой гравий, гальку, мелкий булыжник.

Рельеф бассейна – холмистый.

Продольные уклоны предгорных рек: от  $0,0005$  до  $0,005$ . Скорости в русле при подъёме воды – до  $3$  м/с.

Горные реки протекают в узких долинах каньонного типа.

Глубины потоков – небольшие. Скорости в русле при подъёме воды порядка 3-5 м/с.

Поток перемещает по дну гальку, булыжник, валуны.

Рельеф бассейна – горный.

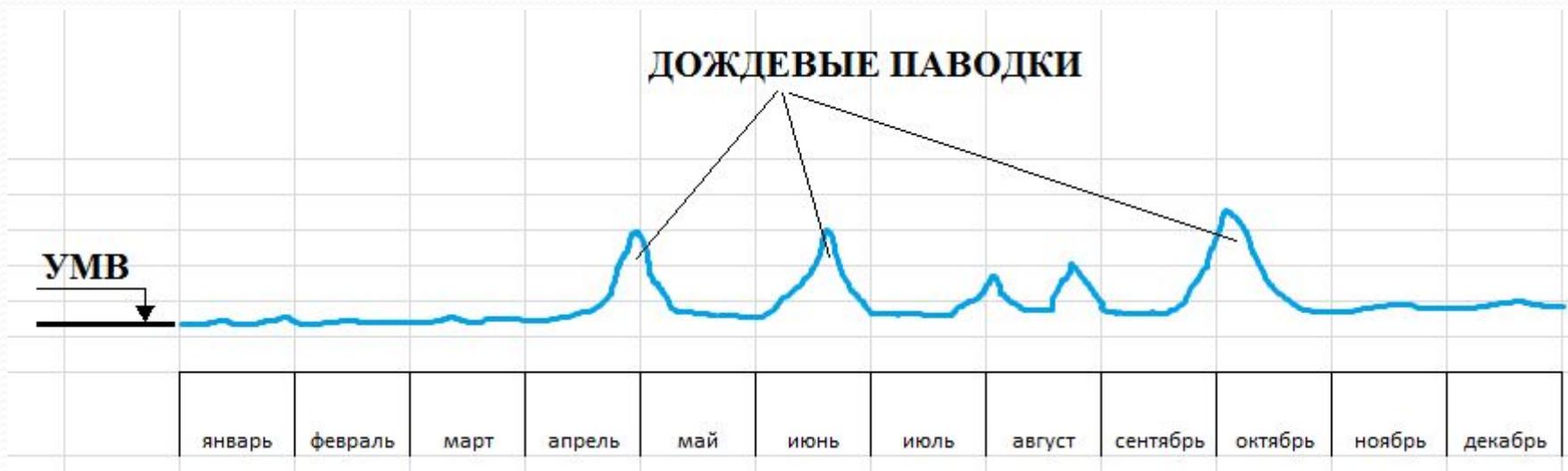
Продольные уклоны горных рек: *от 0,005 до 0,05.*



Увеличение поверхностного стока воды от дождей и ливней называется “паводком”.

Паводки не имеют достаточно определенных сроков появления.

Размеры питания рек только грунтовыми водами соответствуют уровню “межени”.



# Определение расходов воды и соответствующих им уровней заданной вероятности превышения (ВП)

## Общие положения и история вопроса

Расчет всех сооружений мостового перехода (МП) должен обеспечивать надёжность их эксплуатации в течение длительного период времени.

Надёжность водопропускных сооружений с точки зрения гидравлики характеризуется их способностью противостоять половодьям и паводкам.

Бóльшая надёжность обеспечивается бóльшей стоимостью сооружения (учет более высоких уровней ведет к необходимости проектирования более высоких мостов, более высоких насыпей, труб бóльшей протяженности, более дорогостоящих защитных сооружений и укреплений и т.д.)

Важнейшими гидрологическими характеристиками водотоков являются максимальные уровни воды и соответствующие им расходы воды.

$$Q = \sum \omega \cdot v$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения участка створа перехода (русла, левой и правой поймы), м<sup>2</sup>;

$v$  – средняя скорость течения воды в пределах участка створа перехода, м/с.

Изначально при проектировании МП за расчетный максимальный уровень водотока принимали самый высокий из наблюдаемых за какой-то небольшой промежуток времени. Вероятность его превышения была очень высокой, что приводило к большому количеству аварий и повреждений МП во время половодий и паводков.

Возникла мысль найти закономерность в колебаниях паводков, установить целесообразную вероятность таких расхода и уровня, при которых еще обеспечивается безаварийная работа МП, а также найти способы достаточно точного определения расхода и уровня установленной (нормативной или заданной) ВП.



Мост метро в Москве



Мост через реку Березайку (Новгородская обл.)  
во время половодья

Сначала от средних расходов к расходам заданной редкой повторяемости пытались переходить с помощью эмпирических формул, т.е. формул, основанных не на закономерностях количественных процессов, а на отдельных фактах и явлениях. Однако точность инженерных расчетов по таким формулам оказалась неудовлетворительной.

С течением времени происходило накопление результатов систематических наблюдений за горизонтами и расходами воды на реках.

Применение методов математической статистики позволило выявлять закономерности в колебаниях паводков на конкретных реках, т.е. с учетом характерных особенностей водотока и района проектирования.

Наличие закономерностей в свою очередь, позволило с большей эффективностью использовать теорию вероятности.

Таким образом, появилось и в настоящее время используется понятие *«вероятность превышения»* определенного уровня или расхода воды более высоким уровнем и соответствующим ему бóльшим расходом.

Ориентировочно ВП какого-либо уровня (или  $Q$ ) – это отношение 1 к количеству лет, в течение которых этот уровень (или  $Q$ ) может быть превышен еще более высоким уровнем (или бóльшим расходом). ВП может исчисляться в процентах.

При проектировании сооружений мостового перехода на железных дорогах нормируются два значения ВП: расчетное и наибольшее.

Категория железной дороги	ВП расходов и соответствующих им уровней воды	
	расчетного	наибольшего
III и выше	1:100 (1%)	1:300 (0,33%)
IV	1:50 (2%)	1:100 (1%)
Внутристанционные соединительные и подъездные пути	1:100 (1%)	1:100 (1%)

*Отверстие моста рассчитывается на пропуск расчетного расхода, а по наибольшим уровням и расходам определяет высоты и конструкцию пойменных насыпей, глубину заложения фундаментов, характеристики регуляционных и защитных сооружений.*

На величину максимальных расходов и уровней оказывает влияние большое количество разнообразных факторов, т.е. они являются величинами случайными.

Одна из основных задач проектировщиков – как можно точнее установить закон распределения этих случайных величин на основании имеющихся статистических данных. Исходных наблюдений может быть достаточно много, мало или они вообще могут отсутствовать.

Одной из наиболее адекватных теоретических кривых распределения вероятностей максимальных  $Q$  и  $H$  была признана кривая английского математика Пирсона. Позднее отечественными учеными **С.Н. Критским** и **М.Ф. Менкелем** было предложено целое семейство теоретических кривых распределения, в число которых вошла и кривая Пирсона (*см. практические занятия*).

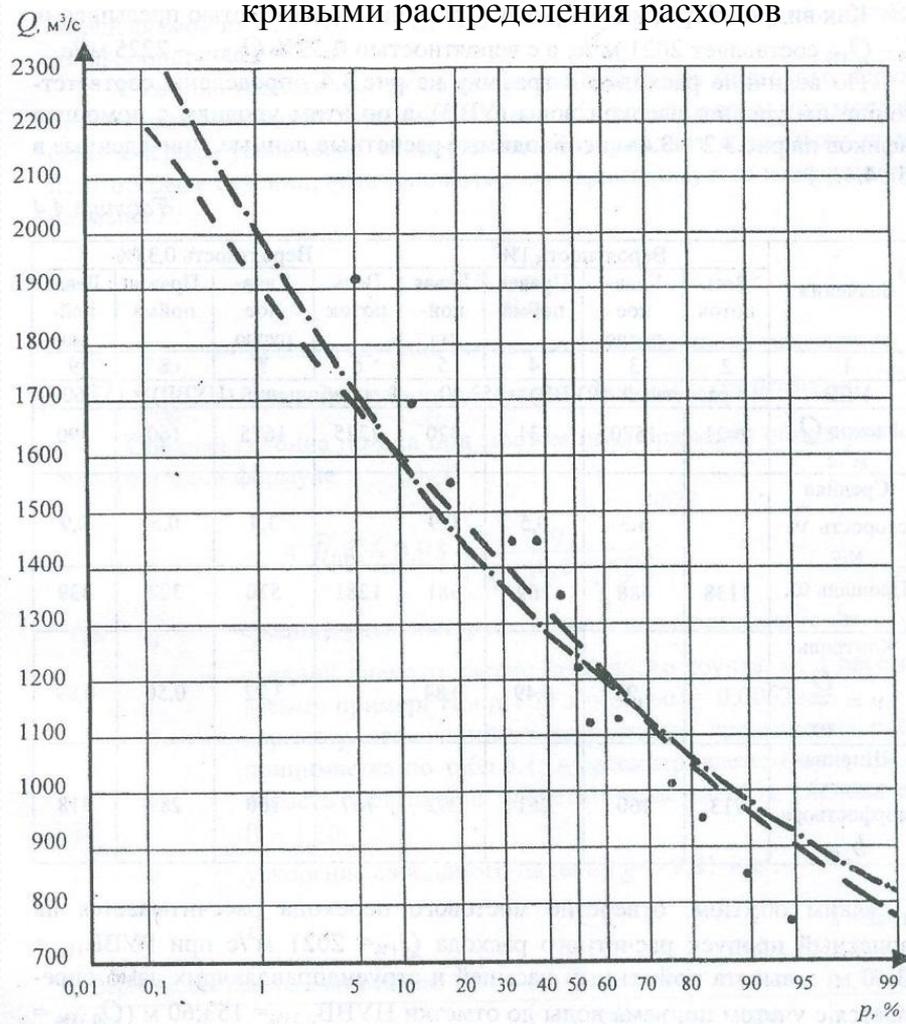


Карл Пирсон, 1857-1936 гг.

В дальнейших расчетах принимается та теоретическая кривая распределения вероятностей, которая имеет наименьшее отклонение от эмпирических точек.

Пользуясь данной теоретической кривой распределения вероятностей, можно определить максимальные годовые расходы на водотоке  $Q$  любой вероятности превышения. И, далее, определить соответствующие данному расходу уровень УВВ.

Сопоставление эмпирических данных с теоретическими кривыми распределения расходов



- . — теоретические кривые
- - - распределения вероятностей;
- эмпирические точки