

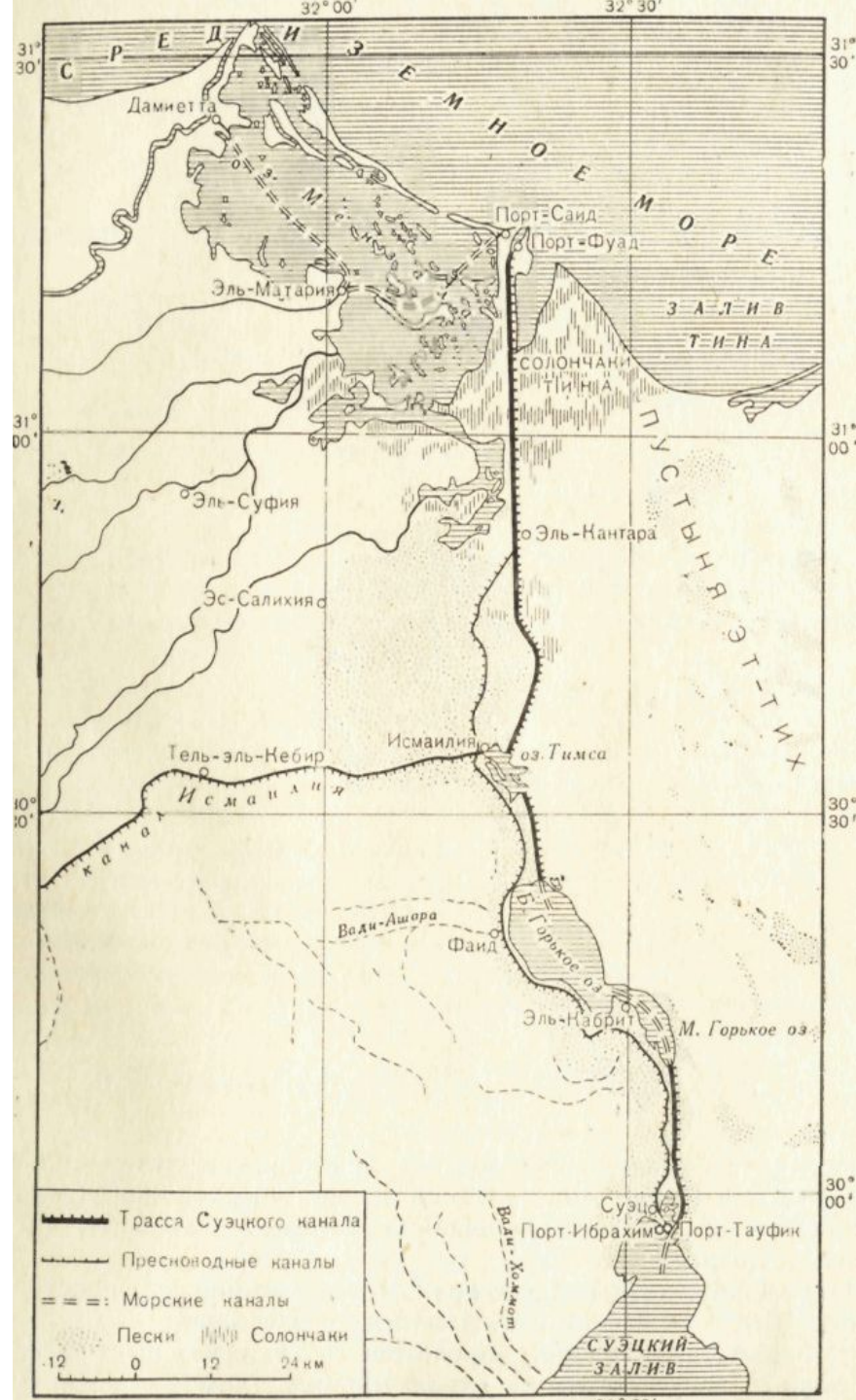
# Расчет каналов

## Гидравлика

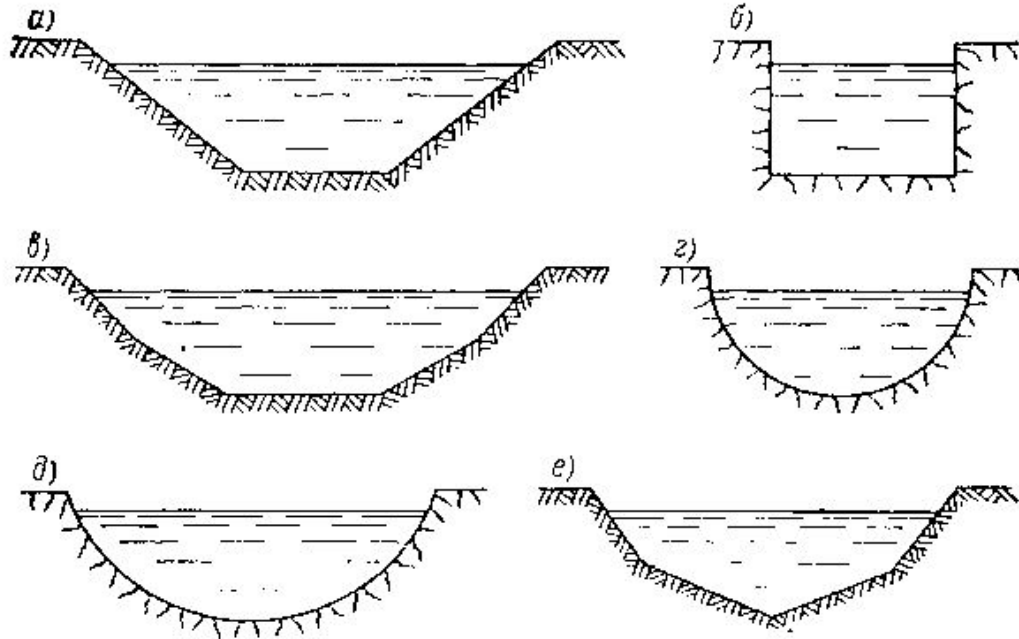
*составитель доцент кафедры ГИГЭ ИГНД ТПУ  
Крамаренко В.В.*

- **Канал** (от лат. *canalis* – труба, жёлоб) в гидротехнике, искусственное русло (водовод) правильной формы с безнапорным движением воды, устроенное в грунте.

- По назначению различают каналы
  - судоходные (искусственные водные пути),
  - энергетические (деривационные),
  - оросительные (ирригационные),
  - обводнительные,
  - осушительные,
  - водопроводные,
  - лесосплавные,
  - рыбоводные,
  - комплексного назначения.



# Форма поперечного сечения канала, уклоны и облицовка



Формы живых сечений каналов.

а - трапецидальная;

б - прямоугольная;

в - полигональная;

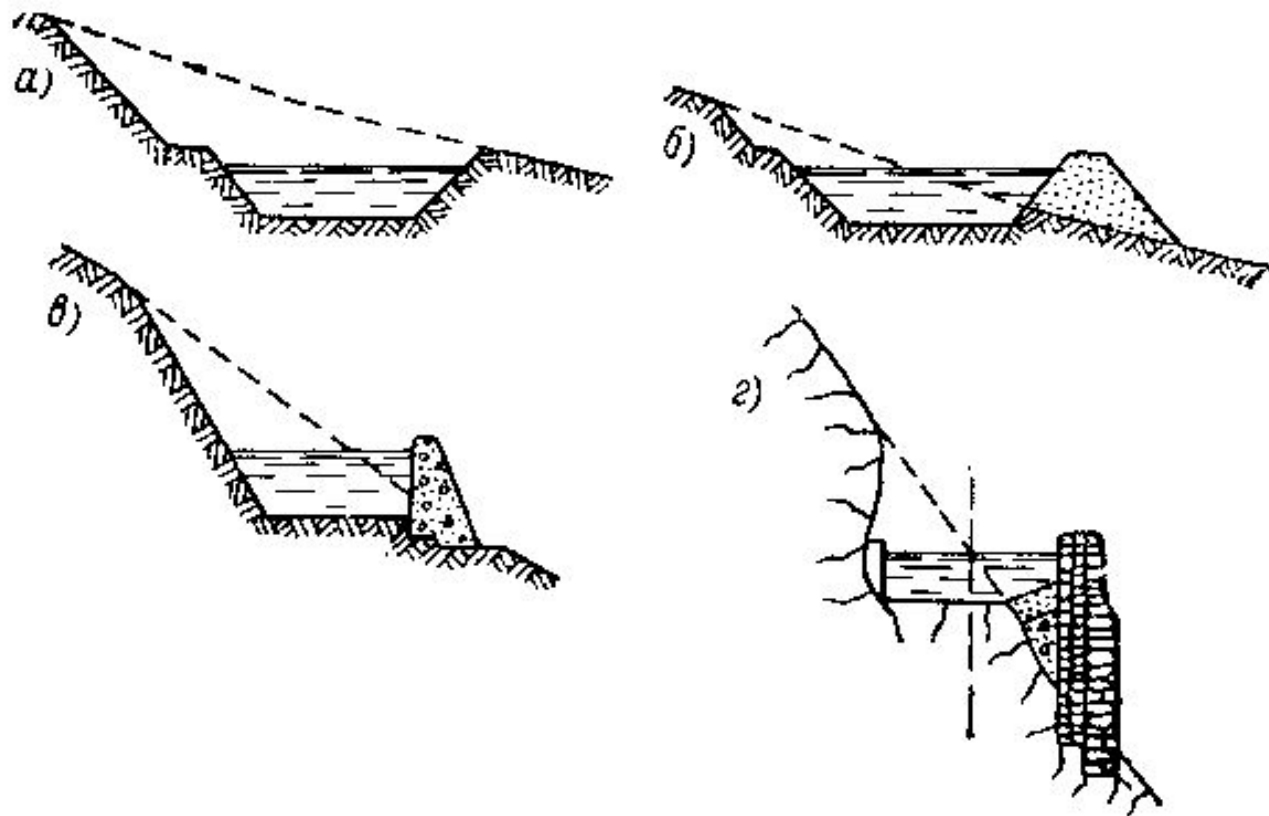
г - полукруглая;

д - параболическая;

е - ложбинообразная.

# Поперечные профили каналов на косогорах.

При необходимости прокладки трассы канала на косогорах в каждом конкретном случае принимают соответствующие конструктивные решения, экономичные и обеспечивающие нормальную работу сооружения



- а - на пологом склоне в минимальной выемке;
- б - в полувыемке-полунасыпке;
- в - на крутом склоне с подпорной лицевой стенкой;
- г - на скальном основании с подпорной стенкой.

# Расчет канала

- Площадь живого сечения канала и его форму выбирают на основе гидравлического расчета и с учетом конструктивных условий и назначения канала. Например, судоходные и лесосплавные каналы должны иметь размеры, соответствующие габаритам расчетных судов и плотов.

Гидравлический расчет обычно исходит из формул равномерного движения воды

$$w = Q/v,$$

$$v = C\sqrt{R/i}$$

- где  $w$  — площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;
- $v$  — скорость течения воды, м/с;
- $C$  — коэффициент Шези, м<sup>0,5</sup>/с;
- $R$  — гидравлический радиус, м;
- $i$  — гидравлический уклон.
- однако энергетические каналы необходимо еще рассчитывать на неустановившийся режим.
- Размеры поперечного сечения канала  $B, b, d$ , а иногда и его форму выбирают на основе гидравлических расчетов с учетом производственных условий и допустимых скоростей течения. При этом используют обычно формулы для равномерного движения воды.
- После определения площади поперечного сечения канала производят его проверку **на допустимые скорости течения**.

- При равномерном движении воды в каналах расход  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, следует определять по формуле

$$Q = wC\sqrt{Ri}$$

- Для каналов с гидравлическим радиусом  $R \leq 5$  м коэффициент Шези следует определять, как правило, по формуле

- $$C = \frac{1}{n} R_y$$

- $$C = \frac{1}{n} + (27,5 - 300n) \lg R_y$$

- где  $n$  — коэффициент шероховатости, определяемый по таблицам приведенным ниже.

- Допускается определять коэффициент Шези по формуле

- $$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1)$$

- Для практических расчетов значение коэффициента Шези в формуле (2) допускается принимать по гидравлическим справочникам.

- Для приближенных расчетов допускается использование формулы

- $$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

- Для определения коэффициента Шези при расчете ирригационных каналов широко используется формула Агроскина И.И.
- $C = 17,72 \left( \frac{0,056}{n} + \lg R \right)$
- где  $n$  – коэффициент шероховатости русла;  $R$  – гидравлический радиус. Основанная на большом опытном материале формула И. И. Агроскина дает удовлетворительные результаты при  $n = 0,009 \div 0,040$  и  $R = 0,1 \div 3,0$  м.
- *В области гидравлически гладких русел*
- $C = 18,75 Re^{0.125}$  .
- *В области ламинарного режима движения:*
- $C = 1,81 \sqrt{Re}$  .
- *Для рек формирующих русла в песчано-гравийных породах и для каналов, проходящих в естественных грунтах и несущих наносы действительна формула Альштуля:*
- .

$$C = \frac{14,8}{i^{1/6}} - 26$$



## КОЭФФИЦИЕНТЫ ШЕРОХОВАТОСТИ $n$ КАНАЛОВ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

Расход воды в канале м <sup>3</sup> /с,	Коэффициенты шероховатости $n$ оросительных каналов в земляном русле	
	в связных и песчаных грунтах	в гравелисто-галечниковых грунтах
каналы		
Более 25	0,0200	0,0225
1 —25	0,0225	0,0250
Менее 1	0,0250	—
Каналы постоянной сети периодического действия	0,0275	—
Оросители	0,030	—

Примечания: 1. Для каналов водосборно-сбросной сети значение коэффициента шероховатости повышается на 10% по сравнению со значением того же коэффициента для оросительных каналов и округляется до ближайшего принятого в таблице значения.

2. Для каналов, выполняемых взрывным способом, значение коэффициента шероховатости повышается на 10 —20 % в зависимости от размеров принимаемой доработки сечений канала.

## КОЭФФИЦИЕНТЫ ШЕРОХОВАТОСТИ КАНАЛОВ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

Облицовка	Коэффициенты шероховатости $n$ каналов с облицовкой
Бетонная хорошо отделанная	0,012 — 0,014
Бетонная грубая	0,015 — 0,017
Сборные железобетонные лотки	0,012 — 0,015
Покрытия из асфальтобитумных материалов	0,013 — 0,016
Одернованное русло	0,03 — 0,035

Характеристика поверхности ложа канала	Коэффициенты шероховатости $n$ каналов в скале
Хорошо обработанная поверхность	0,02 — 0,025
Посредственно обработанная поверхность без выступов	0,03 — 0,035
То же, с выступами	0,04 — 0,045

# КОЭФФИЦИЕНТЫ ШЕРОХОВАТОСТИ КАНАЛОВ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

Характеристика русла	Коэффициенты шероховатости $n$ естественных водотоков
Естественное русло в благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением)	0,025 — 0,033
То же, с камнями	0,03 — 0,04
Периодические потоки (большие и малые) при хорошем состоянии поверхности и формы ложа	0,033
Земляные русла сухих логов в относительно благоприятных условиях	0,04
Русло периодических водотоков, несущих во время паводка заметное количество наносов с крупногалечниковым или покрытым растительностью ложем, периодические водотоки, сильно засоренные и извилистые	0,05
Чистое извилистое ложе с небольшим числом промоин и отмелей	0,033 — 0,045
То же, но слегка заросшее и с камнями	0,035 — 0,05
Заросшие участки рек с очень медленным течением и глубокими промоинами	0,05 — 0,08
Заросшие участки рек болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и пр.)	0,075 — 0,15
Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (трава, кустарники)	0,05
Значительно заросшие поймы со слабым течением и большими глубокими промоинами	0,08
То же, с неправильным косоструйным течением и большими заводами и др.	0,1
Поймы лесистые со значительными мертвыми пространствами, местными углублениями, озерами и др.	0,133
Глухие поймы, сплошные заросли (лесные, таежного типа)	0,2

- Для симметричного трапецеидального сечения площадь живого сечения определяется по формуле:

- $w = (b + mh)h$ ,

- смоченный периметр:

$$\chi = b + 2h \sqrt{1 + m^2},$$

- 

- гидравлический радиус

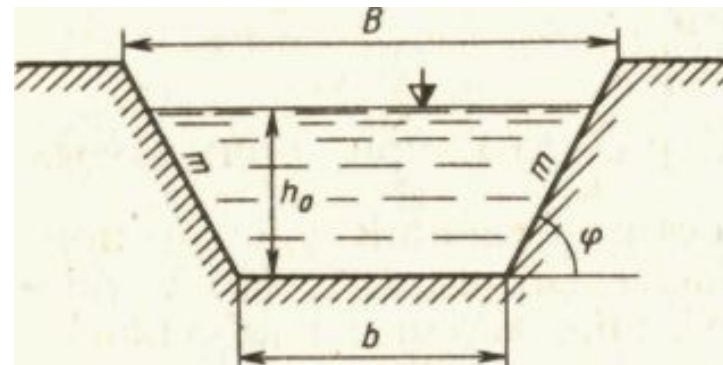
$$R = \frac{w}{\chi} = \frac{(b + mh)h}{b + 2h \sqrt{1 + m^2}}$$

- Для прямоугольного русла:

- $w = bh$ ,  $c = b + 2h$ ,

- 

$$R = \frac{bh}{(b + 2h)}$$



# ***Основные типы задач при расчете каналов***

- При проектировании трапециевидальных каналов рассматривают три основных типа задач.
- Коэффициент откоса  $m$  обычно выбирается из условия устойчивости откосов или их облицовки; коэффициент шероховатости  $n$  выбирается в зависимости от характеристики поверхности русла.
- **Задача 1 типа.** Определение расходов  $Q$  (скорости) при заданном уклоне  $i$  и принятом поперечном сечении  $\omega$  канала. Задача решается непосредственным вычислением расхода по формуле:

- $Q = \omega C \sqrt{Ri}$

- Предварительно вычисляются величины

- $w = (b + mh)h,$

$$\chi = b + 2h \sqrt{(1 + m^2)}$$

- $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{(b + mh)h}{(b + 2h\sqrt{(1 + m^2)})}$

- $C = Ry$  или  $C = R^{1/6}$

- **Задача 2.** Определение уклона дна  $i$  при заданном расходе  $q$  и принятом поперечном сечении  $\omega$  канала. Необходимый уклон находим непосредственно из формулы расхода

- $Q = \omega C \sqrt{Ri}$ ,

- для чего находим  $C, R$

- **Задача 3.** Определение элементов живого сечения  $b$  и  $h$  при заданном расходе  $Q$  и уклоне  $i$  канала. Так как расчетное уравнение расхода одно, а требуется определить два неизвестных, то задача неопределенная. Чтобы ее решить, необходимо задаться  $b$  или  $\beta = b/h$
- Возможны три варианта решения.
- Задаемся значением  $b$  и определяем соответствующую ему и условиям задачи  $h$ . Задачу решаем подбором: назначаем последовательно ряд глубин и вычисляем расходы до тех пор, пока не получим требуемого расхода; соответствующая этому расходу глубина и будет искомой.
- Задачу можно решить графоаналитическим способом. Задаваясь, как и выше, рядом глубин, получаем соответствующие им расходы, затем строим кривую зависимости  $Q = f(h)$ . Откладываем по оси абсцисс требуемый расход  $Q$ , восстановив перпендикуляр до пересечения с кривой, находим точку А. Этой точке на оси ординат соответствует искомая глубина.
- Можно задаться глубиной  $h$  и находить ширину канала по дну  $b$ . Задача решается так же, как и предыдущая: или подбором, или графоаналитическим методом. Назначаем ряд значений  $b$  и повторяем расчет канала до тех пор, пока расход не станет равен требуемому. Ширина  $b$ , при которой расход равен требуемому, и есть искомая. Если задачу решаем графоаналитическим методом, то по данным расчета строим кривую  $Q = f(b)$ , т.е., задаемся рядом значений  $b$ , находим соответствующие им расходы и затем строим график, откладывая по оси требуемый расход, по оси ординат определяем  $h$ .
- Если даны  $\beta = b/h$ ,  $Q$ ,  $m$ ,  $n$  и требуется найти  $b$  и  $h$ , то задача решается так же, как и предыдущая. Задаемся рядом глубин  $h$  и находим соответствующие  $b$ ,  $w$ ,  $C$ ,  $Q$ .



# Допустимые скорости в каналах

- Одной из задач гидравлического расчета каналов является определение *максимальной допустимой скорости течения, называемой неразмывающей и минимальной допустимой скорости (незаиляющей)*.
- **Неразмывающая скорость** – наибольшая скорость потока, при превышении которой русло начинает размываться.
- **Незаиляющая скорость**. Это – скорость, при которой из потока еще не выпадают транспортируемые им взвешенные частицы. Частицы начинают выпадать из потока (заиливать русло) при скорости потока  $v$ . Значение незаиляющей скорости не зависит от материала ложа канала, а определяется характеристиками потока и взвешенных в потоке наносов.

$$V_{min} < v < V_{max}$$

## *Потери воды из каналов и меры борьбы с ними*

•

Различают три вида потерь воды из каналов:

- 1) на испарение в атмосферу,
- 2) на фильтрацию в грунт,
- 3) на фильтрацию через гидротехнические сооружения на каналах.

- Наибольшими являются потери воды на фильтрацию в грунт ложа канала. В оросительных каналах эти потери могут достигать 50-60 % полезного расхода воды. Такие значительные потери рождают удорожают строительство каналов из-за необходимости делать их большего сечения (с целью доставки потребителю требуемого количества воды) и значительно увеличивают эксплуатационные расходы по каналам, питающимся при помощи насосных станций.

Существуют также эмпирические формулы, например, формулы А. Н. Костякова для оросительных каналов. В них потери воды на 1 км длины канала  $\sigma$  даются в процентах от расхода  $Q$  протекающей в нем воды (м<sup>3</sup>/с):

в среднепроницаемых грунтах

$$\sigma = 19 / Q^{0,4}$$

- в тяжелых малопроницаемых грунтах

•

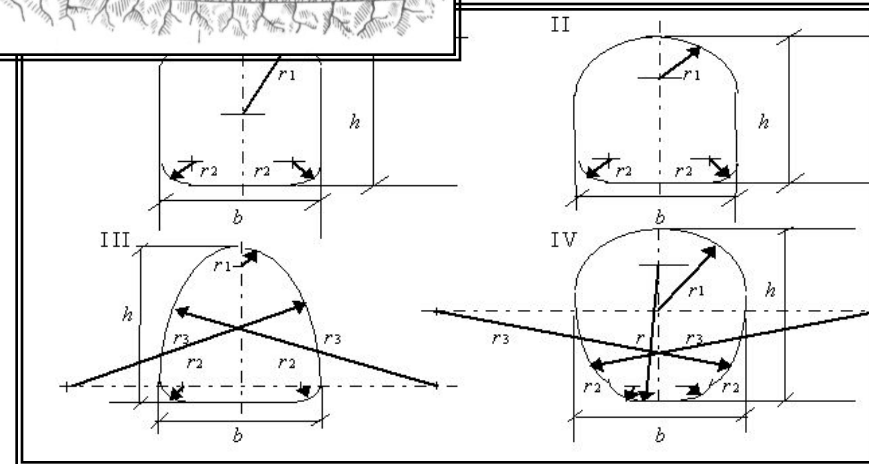
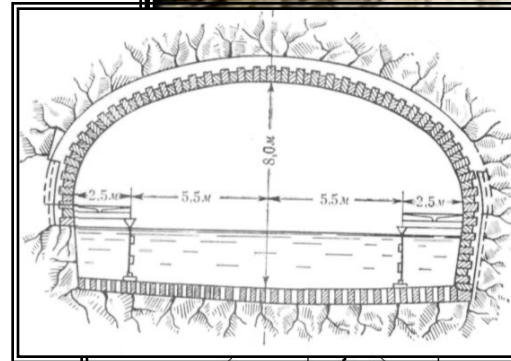
$$\sigma = 0,7 / Q^{0,3}$$

## Особенности расчета русел рек

- В инженерной практике для упрощения расчетов естественное поперечное сечение заменяют поперечным сечением правильной формы, по площади равным естественному.
- Если естественное русло характеризуется относительно большой шириной  $B \gg A$ , то его сечение заменяют **прямоугольным**. Смоченный периметр принимают равным ширине русла реки поверху  $\chi = B$ , поперечное  $\omega = bh$ , а гидравлический радиус  $R = h$ . Тогда формулы и расходной характеристики имеют вид
- $Q = BCh^{1,5}$  ,  $K = BCh^{1,5}$
- *Если естественное русло приводят к **параболическому очертанию**,*
- $w = 2/3Bh$ ,  $c = B$ ,  $R = 2/3h$
- *то*  $Q = 0,545 BCh^{1,5} \sqrt{i}$  ,
- $K = 0,545 BCh^{1,5}$ .
-

# Расчет каналов замкнутого сечения

- К каналам замкнутого сечения относятся различные трубопроводы и тоннели, в которых поток воды не заполняет всего сечения. Применяются стандартные профили круглого, шатрового, овоидального и лоткового сечения. Все трубопроводы одной формы геометрически подобны между собой и отличаются друг от друга только по размеру. При расчете любого профиля решаются те же три основные задачи, что и для обычного открытого канала: определение расхода, уклона и размеров сечения. Гидравлические расчеты тоннелей, безнапорных водоводов и канализационных труб производятся по тем же формулам, что и расчет каналов. Основной расчетной формулой является уравнение Шези.
- Безнапорное движение в круглых и овоидальных трубах имеет некоторые особенности: наибольший расход и наибольшая скорость наблюдаются при частичном наполнении труб, а не при полном.



- Гидравлический расчет каналов замкнутого поперечного сечения (круглой или иной формы) непосредственно по основным формулам Шези является весьма трудоемким, поэтому на практике пользуются вспомогательными графиками или таблицами, составленными для отношений

- $A = K_n/K;$

- $B = W_n/W,$

- $w_n/w;$

- $R_n/R,$

- при различной степени наполнения канала  $A = h_n/H$ , т.е. в форме соответствующих функций от  $h_n/H$ .

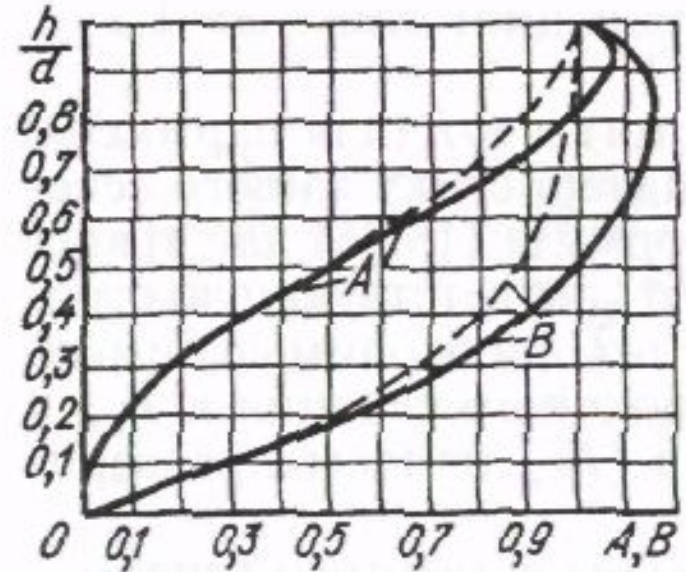
- Здесь  $K_n$  – расходная характеристика при некоторой глубине  $h_n$ , т.е. при частичном наполнении, а  $K$  – расходная характеристика при глубине  $H$ , т.е. при максимальном наполнении, когда канал работает полным сечением. Аналогично обозначают скоростную характеристику –  $W_n$ , площадь живого сечения –  $w_n$  и гидравлический радиус –  $R_n$  при глубине  $h_n$ , а  $W$ ,  $w$  и  $R$  (без индекса) обозначают те же величины при глубине  $H$ :

- $W = C\sqrt{R} = V/\sqrt{i}.$

- Для каналов с геометрически подобными сечениями указанные зависимости  $K_n/K$  и  $W_n/W$  остаются практически одинаковыми (не связаны с величиной каналов). На рис приведены кривые  $A=K_n/K$  и  $B=W_n/W$  для труб круглого сечения.

- Пользуясь этими кривыми, можно определить расходную характеристику  $K_n$  или скоростную характеристику  $W_n$  при любой заданной глубине канала  $h_n$ , если известна расходная характеристика  $K$  или скоростная характеристика  $W$  при максимальном заполнении данного сечения. С учетом приведенных зависимостей расход и скорость при частичном наполнении равны:

- $Q = AK; V = BW.$



# ИСТОЧНИКИ:

Исаев А.П., Сергеев Б.И. Дидур В.А. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов. М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.

**Пашков Н.Н., Долгачев Ф.М. Гидравлика. Основы Гидрологии.- М.: Энергоатомиздат, 1993. –448с.: ил.**

Калицун В.Н. Гидравлика, водоснабжение, канализация. – М.: Стройиздат, 2000. – 397 с.

**Штеренлихт. Гидравлика: Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 2004. –640с.**

**Константинов Н.М. и др. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: Учеб. Для вузов в 2-х частях. Общие законы. М.: Высш. Шк., 1987.**

Слободкин А.Я. М., Изд-во Лесная промышленность, 1968. – 256с.

Примеры расчетов по гидравлике. Учеб. пособие для вузов. Под. Ред. А.Д. Альштуля. М., Стройиздат, 1976.- 255с.