

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет городского хозяйства
имени А.Н. Бекетова

Кафедра водоснабжения, водоотведения и очистки вод
Дисциплина – **«Специальные вопросы гидравлики,
водопроводных и водоотводящих сооружений»**

ЛЕКЦИЯ № 1

«Равномерное движение воды в открытых руслах»

Преподаватель: доц. Шевченко Тамара Александровна

Харьков - 2014

Безнапорным движением является движение жидкости со свободной поверхностью в открытых руслах, а также в трубопроводах с частичным заполнением сечения, происходящее под действием силы тяжести.

Классификация движений жидкости в открытых потоках



Типы открытых русел

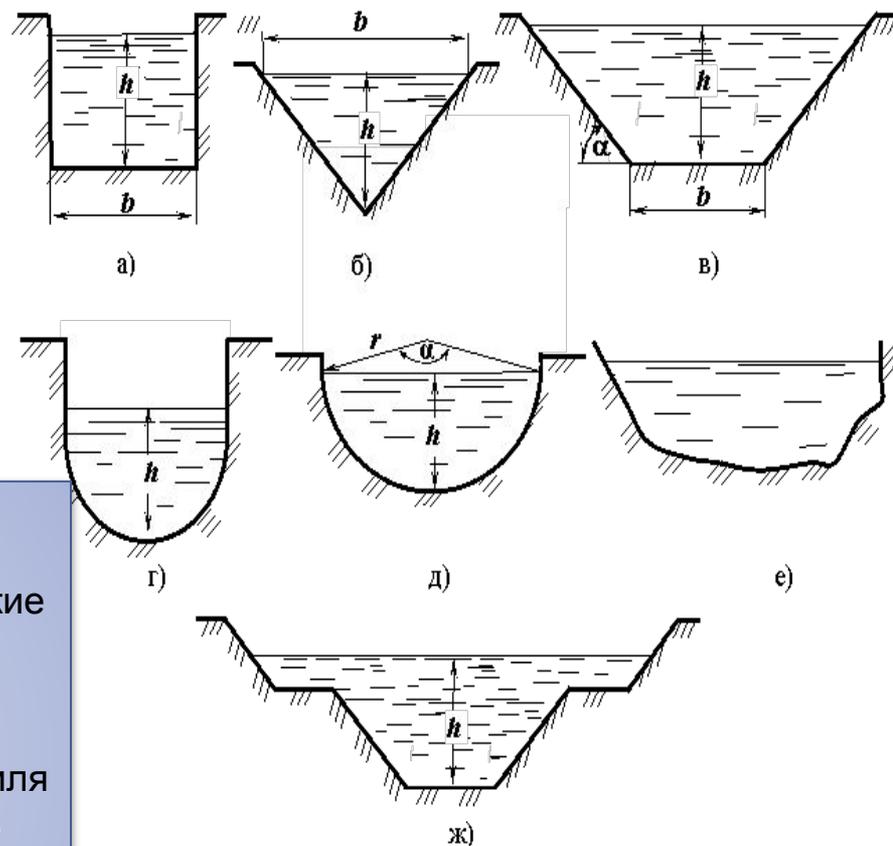
Все открытые русла подразделяются на естественные и искусственные водотоки. К **естественным** руслам относятся реки, ручьи, сбросы по тальвегам и балкам и др. **Искусственные** русла - это каналы, лотки, туннели, дренажные и другие трубы, т. е. большинство сооружений, применяемых в гидротехнической и гидромелиоративной практике.

Для открытых русел используют следующие классификации:

• Русла подразделяют по параметрам, определяющим изменение площади живого сечения по длине потока, на **непризматические** и **призматические** (и цилиндрические).

У **непризматических русел** форма и (или) геометрические размеры поперечного профиля меняются по длине русла. Поэтому площадь живого сечения потока является функцией длины русла и функцией глубины потока вдоль русла. В таком русле движение неравномерное.

В **призматических руслах** форма и размеры элементов поперечного профиля по длине сохраняются неизменными. Площадь живого сечения потока может изменяться только в связи с изменением глубины потока.



• По форме профиля поперечного сечения русла могут быть правильной и неправильной формы.

Призматические русла имеют **правильную** форму. Они могут быть прямоугольные, треугольные, трапецеидальные (рис. 1, а, б, в). Если поперечный профиль русла правильной формы очерчен кривой линией, окружностью (рис. 1, д) или параболой (рис. 1, г), определяемой по всей длине русла одним уравнением, то такое русло называется **цилиндрическим** (рис. 1, г, д). Правильную форму чаще всего имеют искусственные русла. К руслам неправильной формы относятся полигональные (составные) русла (рис. 1, ж) и русла естественных потоков (рис. 1, е).

Открытые русла в зависимости от продольного уклона дна делятся на:

- русла с **положительным (прямым)** геометрическим уклоном $i > 0$, когда дно русла понижается в направлении движения потока;

- **горизонтальные** русла при $i = 0$;

- русла с **отрицательным (обратным)** уклоном дна $i < 0$, когда дно русла повышается в направлении движения жидкости.

Условия равномерного движения в открытом русле:

$$I_p = I = I_c.$$

Равномерное движение жидкости характеризуется прямыми параллельными линиями токов (траекториями), а также постоянством местной осредненной во времени скорости вдоль каждой линии тока. Следовательно, для существования равномерного движения необходимо выполнение ряда условий.

На свободной поверхности безнапорных потоков устанавливается постоянное, как правило, атмосферное давление. Поэтому пьезометрический уклон I_p для таких потоков соответствует уклону свободной поверхности I_c , т. е. $I_p = I_c$.

Для этого необходимо, чтобы величина скоростного напора по длине потока также оставалась бы постоянной. Этим диктуется соблюдение следующих условий:

- русло- призматическое;

- расход воды постоянен ($Q = \text{const}$);

- глубина потока h постоянна по длине русла;

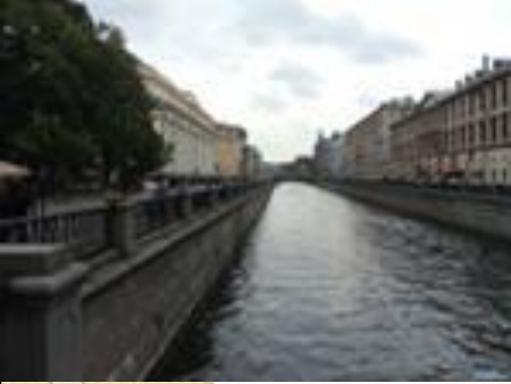
- линия дна не имеет перелома, т. е.
 $i = \sin \beta = \text{const}$, при этом $i > 0$;

- шероховатость дна и стенок русла постоянна по длине ($n = \text{const}$);

- местные сопротивления в русле отсутствуют.

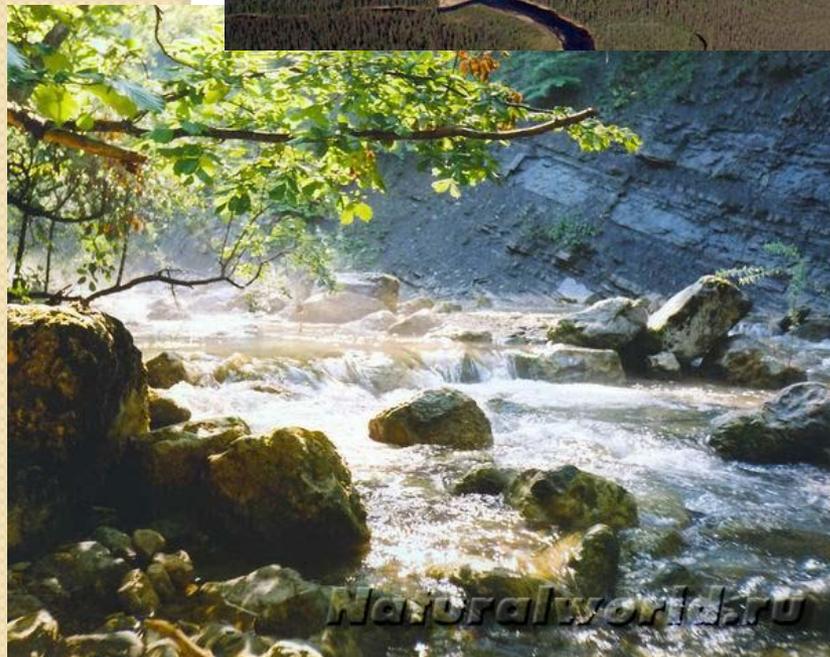
Полностью удовлетворить всем условиям возможно только в искусственных руслах.

Искусственные водотоки



- Искусственные водотоки* объединяют группы каналов следующего назначения:
- 1) водопроводящие* для транспортирования воды из источника водоснабжения к месту потребления рудниками, обогатительными фабриками, населенными пунктами и др.;
 - 2) водоотводящие* для переброски рек из одного бассейна в другой с целью предотвращения обводнения горных выработок в трещиноватых породах, карстах;
 - 3) нагорные или ограждающие*, служащие для отвода поверхностных вод с внешних водосборов от месторождений полезных ископаемых. Особенностью водопроводящих каналов первой группы, служащих для водоснабжения горных предприятий, является постоянство расчетных расходов воды в них ($Q = \text{const}$). В каналах второй и третьей групп расходы могут быть непостоянными в зависимости от режима рек внешнего водосбора.

Естественные водотоки



Естественные русла почти всегда непризматические, равномерное движение в них в чистом виде существовать не может, какие-либо отклонения всегда имеют место. Поэтому практически на отдельных участках при небольших изменениях формы и размеров поперечных сечений, уклона и шероховатости дна и откосов, в периоды, когда расход остается постоянным, рассматривают *<условное>* равномерное движение, заменяя истинные значения параметров некоторыми средними значениями на данном участке.

Расчетные скорости воды в канале

Расчетная скорость соответствует максимальному расходу воды в канале, по ней определяются размеры сечения. Расчетные скорости не должны быть больше допусковых. В качестве допусковых принимаются скорости, *неразмывающие* грунт или одежды (укрепления откосов и дна) каналов. Значения их зависят от глубины и материала, из которого сложены стенки каналов.

Допустимые неразмывающие средние в сечении скорости протекания воды $V_{\text{доп}}$ зависят от характера грунта или типа укрепления русла и глубины водотоку (Справочные данные).

Допустимые незаиливающие средние в сечении скорости протекания воды V_{min} зависят от количества взвешенных веществ, их размеров, расхода и глубины течения. Для определения этих скоростей существует ряд зависимостей и таблиц.

Если насыщенность течения наносами с диаметром частиц, большим чем 0,25 мм не превышают 0,01% по весу, то:

$$V_{\text{min}} = a\sqrt{R}$$

где R дан в метрах, а значение множителя a приведены в справочнике.

Допустимые незаиливающие скорости можно определять по зависимости А.С. Гиршкана:

$$V_{\min} = A Q^{0,2}$$

где: Q – расход, м³/с;

A – коэффициент, который зависит от гидравлической крупности наносов (справочник).

Гидравлическая крупность - это скорость равномерного падения частицы в неподвижной воде.

Для предотвращения зарастания канала достаточно поддержать в нем среднюю скорость течения воды не ниже 0,5 м/с.

В обычных водопроводящих каналах расчетные скорости находятся в пределах **0,5-3 м/с** в зависимости от типа грунтов или одежды канала.

В условиях зимнего режима большой опасностью на каналах может стать глубинный лед - шуга. **Основная причина появления в канале шуги** - переохлаждение воды.

После образования ледяного покрова дальнейшее понижение температуры воздуха вызывает лишь увеличение толщины льда, но не выделение шуги.

- Для быстрого образования поверхностного льда необходимо скорости течения воды в каналах на этот период уменьшить до 0,5 м/с.

- Во избежание размыва льда нормальные скорости под ним не должны превышать 1,2-1,5 м/с.

- При скоростях, больших 2,25 м/с, поверхностный лед в каналах не образуется.

Выбор допустимых скоростей имеет большое экономическое значение при проектировании и эксплуатации искусственных водотоков.

Для определения средней скорости безнапорного равномерного потока получена формула Шези, в которой в качестве расчетного берется геометрический уклон:

$$V = c \cdot \sqrt{Ri}$$

где: C – коэффициент Шези, рассчитываемый по формулам Маннинга, Н. Н. Павловского и многим другим (Гангилье-Куттера, И. И. Агроскина и пр.).

Формула Н.Н. Павловского:

$$c = \frac{1}{n} R^y$$

Формула Маннинга:

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

В этих формулах:

n – коэффициент шероховатости, определяемый по справочным данным

y – переменный показатель степени:

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

при $R < 1$ м $y = 1,5\sqrt{n}$

при $R > 1$ м $y = 1,3\sqrt{n}$

Расход в сечении русла определяется по формуле

$$Q = \omega c \sqrt{Ri} = K \sqrt{i}$$

где K – модуль расхода или расходная характеристика

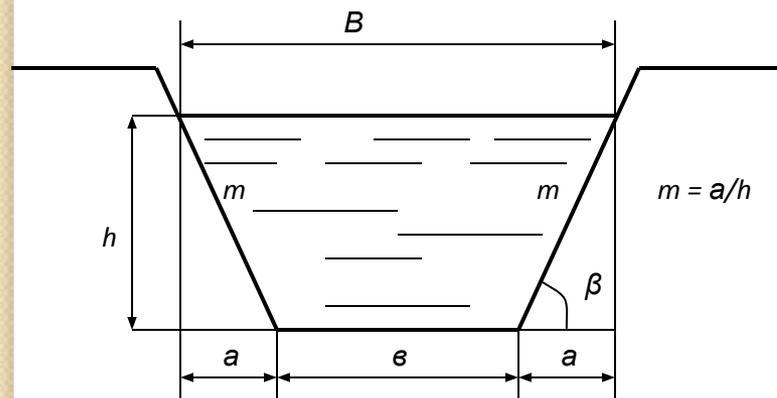
Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала

Гидравлически наивыгоднейшим сечением канала является сечение, способное при заданной площади обеспечить максимальную пропускную способность.

Как известно из геометрии, наименьшим периметром (из всех возможных) обладает круг, и гидравлически наивыгоднейшим сечением для открытых каналов было бы сечение, имеющее форму полукруга.

Далее при данной площади меньшими периметрами обладают правильные многоугольники, причем длина их периметра будет тем меньше, чем больше число сторон.

На практике наиболее употребительны каналы **трапецеидального сечения** со следующими элементами гидравлической характеристики:



- площадь смоченного сечения

$$\omega = (b + mh)h$$

- смоченный периметр

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

- гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{X}$$