




# Орошение - III

# Оросительные каналы






**Оросительные каналы** подают воду к орошаемым земельным массивам, обычно образуют систему магистральных, распределительных, собственно оросительных (оросителей) и водосбросных каналов.


Вода поступает в них самотёком или подаётся насосами.

Такие мелиоративные каналы, кроме водосбросных, трассируются, как правило, по наиболее высоким отметкам местности.



Каналы на оросительной системе выполняют три важные функции:

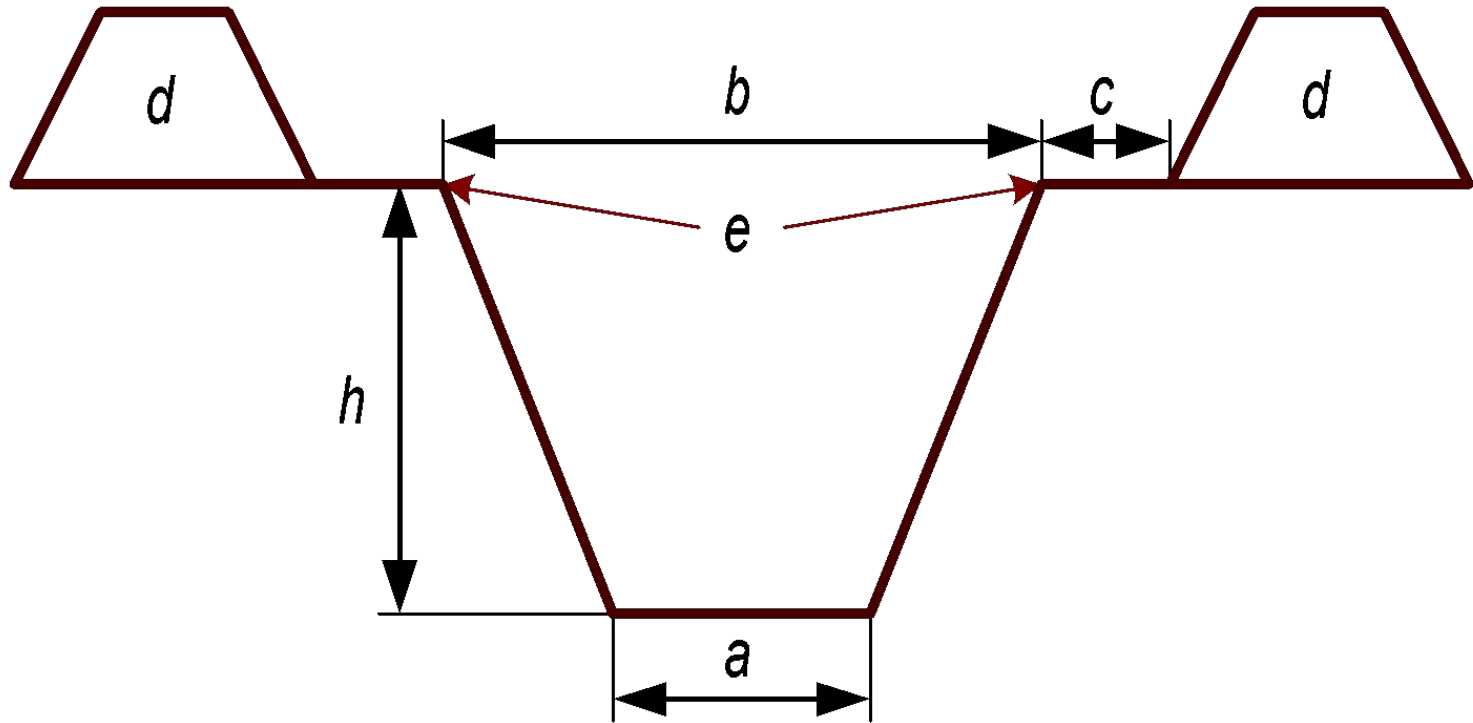
- транспортируют воду,
- способствуют перераспределению тока поливной воды в почвенную влагу,
- обеспечивают дренаж орошаемой территории и отвод избыточных вод.



Каналы оросительной системы транспортируют объем воды, соответствующий расчетному водопотреблению сельскохозяйственных культур в определенной системе севооборотов на год определенной обеспеченности.

В зависимости от почвенных и геологических условий, рельефа местности и других факторов применяют каналы различной конструкции.

# Элементы каналов мелиоративных систем



$a$  — ширина канала по дну;  $b$  — ширина канала по верху;  $c$  — берма;  $d$  — кавальер;  $e$  — бровка канала;  $h$  — глубина канала



Стенки каналов имеют откосы различной крутизны.

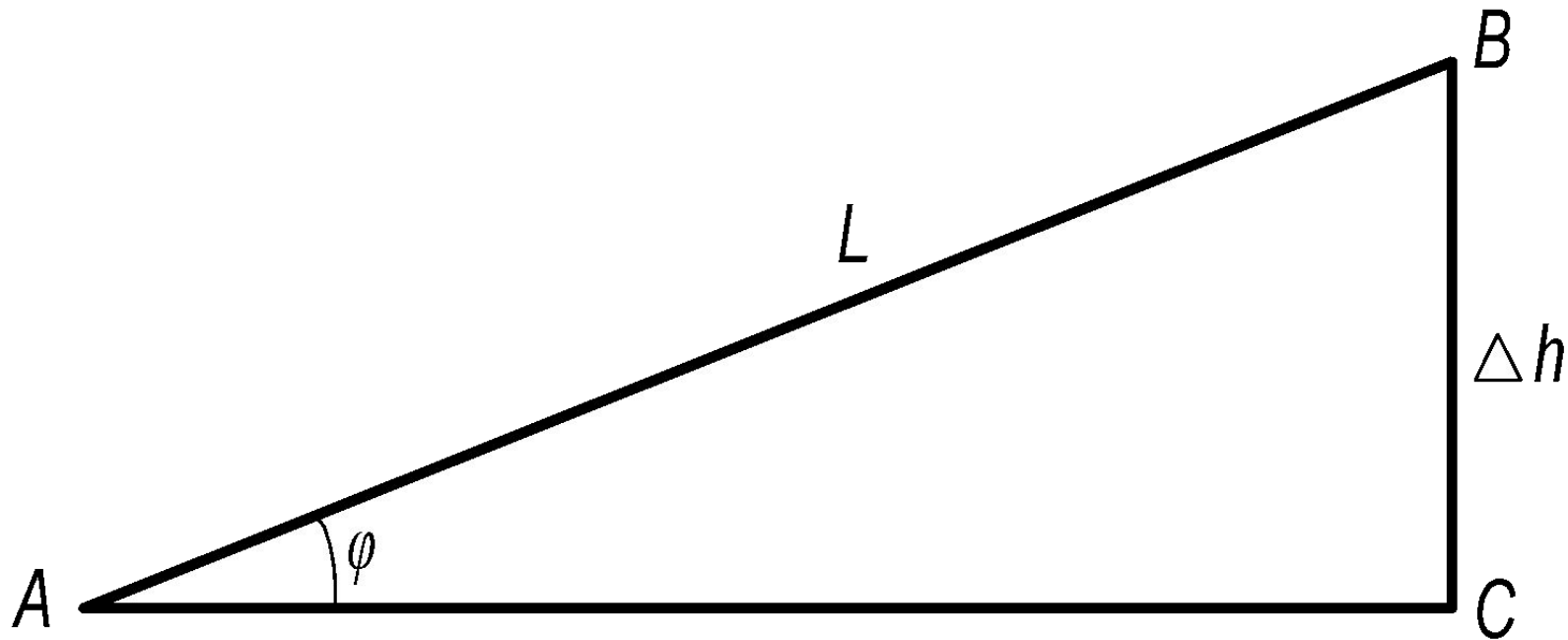
Крутизна откоса характеризуется **углом откоса**, **коэффициентом откоса** и его заложением.

Угол, образованный линией откоса с горизонтом, называется **углом откоса**.

Котангенс угла откоса — **коэффициент откоса**.

**Заложение откоса** — это его горизонтальная проекция.

## Характеристики откоса канала:




$\varphi$  — угол откоса;

$AC/BC = \text{ctg}\varphi$  — коэффициент откоса;

$AC = BC \cdot \text{ctg}\varphi$  — заложение откоса;

уклон  $i = BC/AB = \Delta h/L$ .






Для расчета параметров канала и выбора откоса необходимо учитывать **угол естественного откоса грунта.**

Угол естественного откоса — угол между поверхностью грунта после осыпания и сползания грунта и горизонтом.

Для большей устойчивости стенок канала целесообразно устраивать откосы более пологие, чем угол естественного откоса, или равные ему.



Для практических целей наибольший интерес представляют значения угла и коэффициента естественного откоса грунта под водой.

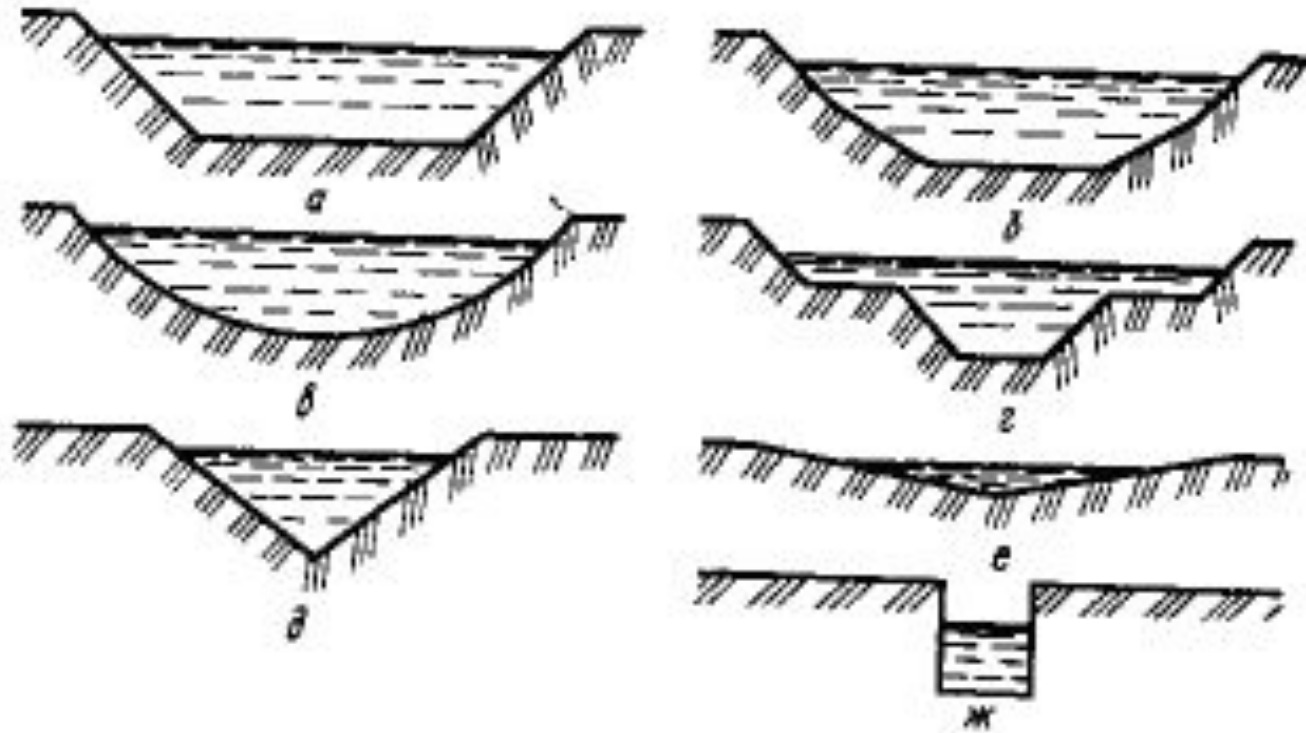
Коэффициенты откоса грунта определяют аналитически.

При проектировании оросительных каналов обычно используют следующие значения коэффициентов откоса для :


- глин и суглинков — 1,0–1,25,
- супесей — 1,5–1,75,
- песков — 1,75–2,25.

Минимальное значение относится к каналам с малой глубиной наполнения (менее 1 м), большее — к каналам с глубиной наполнения 2–3 м.

## Формы поперечного сечения каналов:



*a* — трапецеидальная; *б* — полигональная;  
*в* — параболическая; *г* — составная;  
*д* — треугольная; *е* — ложбинная;  
*ж* — прямоугольная



Форма поперечного сечения каналов определяется почвогрунтовыми условиями, характером облицовки и другими факторами. Прямоугольные каналы устраивают в скальных грунтах.

Каналы в рыхлых отложениях обычно имеют трапецеидальную форму.




Земляные каналы в процессе эксплуатации приобретают параболическую форму.

Треугольная форма свойственна каналам, нарезаемым каналокопателями плужного типа (небольшим распределителям, временным оросителям, выводным и распределительным бороздам).

Параболическое сечение обычно придается каналам из сборных железобетонных лотков.

## Открытые каналы могут быть

- земляными,
- земляными с бетонным или другим покрытием (полиэтиленовая пленка, глинистый экран и др.),
- железобетонными.



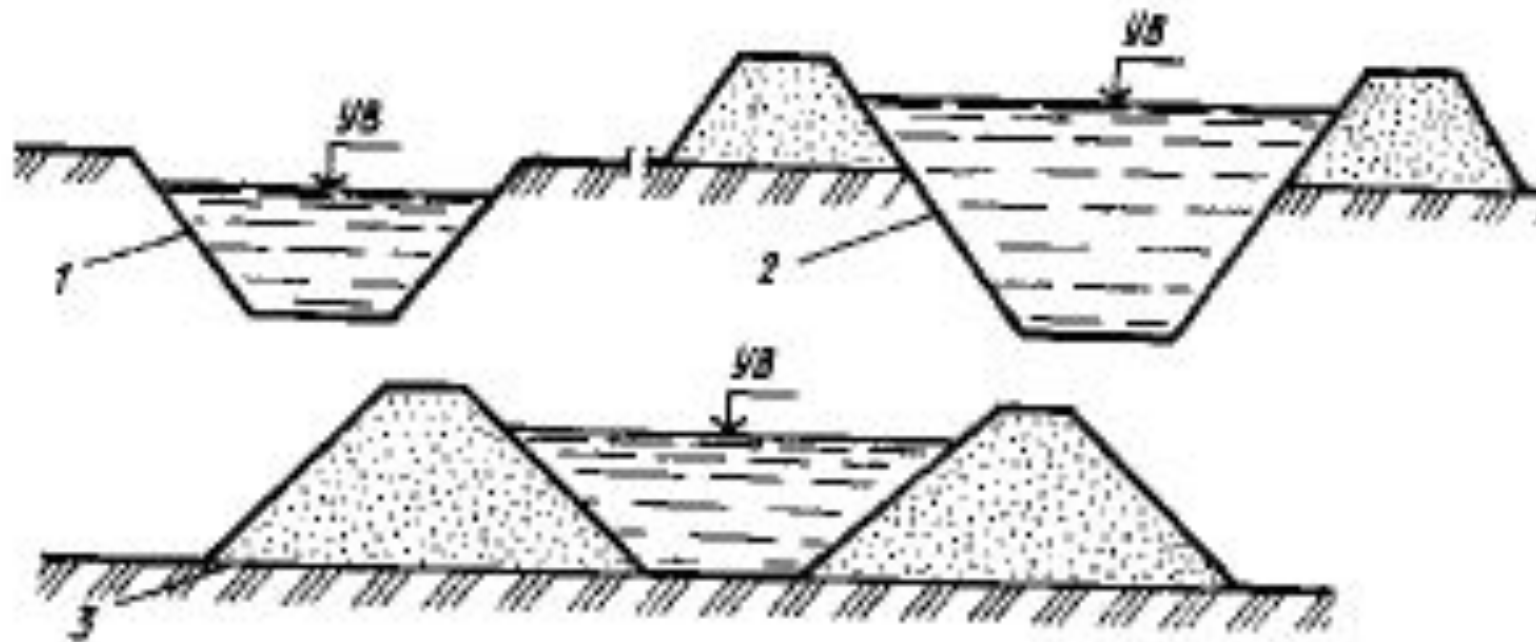
Оросительные каналы характеризуются **уровнем командования**, т. е., превышением уровня воды в канале над самой высокой отметкой поверхности орошаемого участка, на который должна подаваться вода.


Уровень командования при поливе по бороздам должен быть не менее 5–10 см, по полосам — 10–15, при затоплении по чекам — не менее 20–25 см.




Открытые земляные каналы мелиоративных систем устраивают в:

- выемке,
- полувыемке-полунасыпи,
- насыпи






**Каналы в выемке** наиболее часто строят для подводящей, водосбросной и дренажной сетей, т. е. в таких случаях, когда не возникает необходимости иметь командование или командование легко достигается подпором воды или ее подачей на необходимую отметку насосами.



**Канал в полувыемке-полунасыпи** отличается тем, что часть воды по такому каналу пропускается в дамбах (кавальерах). Этот вид каналов дает наименьшую площадь отчуждения и является типичным каналом регулирующей сети. Он легко обеспечивает необходимое командование и экономичное распределение объема извлекаемого грунта.



**Канал в насыпи** устраивают при выровненном безуклонном рельефе, с тем, чтобы создать необходимый уровень командования над орошаемым полем.

Канал в насыпи обычно обладает повышенной фильтрацией и, кроме того, отчуждает значительную площадь сельскохозяйственных земель для резервов грунта при его строительстве.

**Живое сечение канала (потока)  $F$**  — площадь поперечника канала, по которому протекает вода.

Определяют как площадь геометрической фигуры.

Живое сечение канала может быть рассчитано с использованием величины коэффициента откосов канала.

Площадь живого сечения каналов треугольной формы:

$$F = h^2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

а площадь живого сечения канала трапецеидальной формы:

$$F = (b + h \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot h,$$

где  $F$  — площадь живого сечения,  $h$  — глубина воды в канале,  $\operatorname{ctg} \varphi$  — коэффициент откоса,  $b$  — ширина канала по дну.

Для определения общей площади живого сечения канала определяют (с некоторым приближением) площадь элементарных трапеций и находят их сумму по формуле:

$$F = a(h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_{a-1} + h_a),$$

где  $a$  — равное расстояние между вертикалями  $h_1, h_2, h_3$  и т. д.

**Смоченный периметр канала  $P$  —** длина линии соприкосновения воды с дном и откосами канала.

Периметр смоченности канала определяет потери воды на фильтрацию из канала, сопротивление ложа движению воды и др.



Периметр смоченности в канале треугольного сечения:

$$P = 2h \cdot \sqrt{(\operatorname{ctg}\varphi)^2 + 1}$$

Периметр смоченности в канале трапецеидального сечения равен:

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{(\operatorname{ctg}\varphi)^2 + 1}$$


где  $P$  — периметр смоченности,

$h$  — высота воды в канале,  $b$  — ширина канала

по дну,  $\operatorname{ctg}\varphi$  — коэффициент откоса.

**Гидравлический радиус  $R$  — отношение площади живого сечения к периметру смоченности  $R = F/P$ .**

Значения гидравлического радиуса необходимы для расчета каналов и движения воды в каналах.



Для расчета **расхода воды** в канале необходимо установить **уклон потока** и его скорость, площадь живого сечения. В водотоке поверхность воды имеет определенный уклон.


Уклоном между двумя точками — разность высот между ними, отнесенная к расстоянию между этими точками.

Уклон  $i = \Delta h/L$ .

Поэтому  $i$  можно рассматривать как синус угла  $\varphi$ .


Уклон — безразмерная величина.

Выражается обычно десятичной дробью.




В канале (потоке) возможно ламинарное движение воды, при котором отдельные струйки движутся параллельно друг другу в направлении общего движения потока.

С увеличением скорости движение становится турбулентным: в потоке образуются завихрения, отдельные струйки потока могут двигаться в направлении, противоположном общему движению потока.



Скорость, при которой ламинарное движение воды в потоке переходит в турбулентное, называется **критической**.



Движение воды в канале должно осуществляться при некоторых **средних оптимальных значениях**, поскольку при **малых скоростях** из потока на дно оседает много взвешенных минеральных частиц и происходит быстрое заиление канала, а при **больших скоростях** возникает угроза его эрозии и размыва.

**Минимальные** скорости потока воды в канале должны исключать возможность осаждения на его смоченной поверхности частиц твердого стока определенного размера и вызывать опасность заиления проводящих элементов в ходе эксплуатации оросительной системы.

В любом случае скорость воды в канале не должна быть меньше 0,25–0,30 м/с.

**Максимальная** допустимая скорость воды в канале обусловлена грунтовыми условиями.



# Максимально допустимые скорости воды в каналах

Ложе канала	Максимально допустимые скорости воды в канале, м/с
Илистые отложения	< 0,20
Песок	0,25-0,50
Средний суглинок	0,45-0,65
Тяжелый суглинок	0,50-0,70
Глина	0,50-0,80
Бетон	2,00-8,00
Чернозём (гумусовый горизонт)	0,35-0,40

Скорость потока определяется расчетом или экспериментально.

Для расчета скорости равномерного движения воды в канале используют формулу Шези:

$$V = C\sqrt{R \cdot i}$$

где  $V$  — скорость потока (м/с, см/с и т. д.);

$C$  — скоростной коэффициент;

$R$  — гидравлический радиус;

$i$  — уклон потока.

Скоростной коэффициент учитывает шероховатость дна стенок канала и таким образом зависит от грунтовых условий. Наиболее распространенной формулой для расчета  $C$  является формула Павловского:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y,$$

где  $R$  — гидравлический радиус;

$n$  — коэффициент шероховатости;

$y$  — показатель, зависящий от  $R$  и  $n$ .

$$\text{При } R < 1, y = \frac{1,5}{\sqrt{n}}$$


$$\text{При } R > 1, y = 1,3\sqrt{n}$$

Расход потока  $Q$  — объем воды, протекающий через его поперечное сечение в единицу времени


$$Q = V \cdot F,$$

где  $Q$  — расход;  $V$  — скорость;  $F$  — живое сечение потока.

Расход воды в канале может быть определен с помощью водосливов различной конструкции или путем непосредственного изучения скорости потока и его живого сечения.




**Водослив** — водомерное устройство, состоящее из подпорной стенки, перегородивающей поток, через специальный вырез которой происходит свободный перелив воды.




Расход воды в канале экспериментально можно определить замерами скорости потока и живого сечения.

Скорость потока измеряют поплавком, батометром и гидрометрической вертушкой.

Определение скорости поплавком производят между двумя гидрометрическими постами.



Движение воды в каналах происходит в разных породах и материалах, которые обладают различной порозностью, трещиноватостью и водопроницаемостью. Поэтому коэффициент полезного действия и экономичность оросительных систем, состояние орошаемой территории, ее вторичное засоление и заболоченность в значительной мере определяются потерями воды на фильтрацию из оросительных каналов различного порядка.



Количественно оценить потери воды на фильтрацию из канала достаточно просто.

С этой целью с двух створов изучаемого отрезка канала определяют расходы воды и по разности расходов в верхнем и нижнем створах рассчитывают ее потери.

Если при этом известна площадь смоченной поверхности канала, то делением потерь расхода воды между двумя створами на смоченную площадь канала можно рассчитать фильтрацию на исследуемом участке.



$$K_{\phi} = \frac{Q_1 - Q_2}{S} = \frac{\Delta Q}{S},$$

где  $K_{\phi}$  — фильтрация из канала, м/с;

$Q_1, Q_2$  — расходы соответственно в верхнем и нижнем створах, м<sup>3</sup>/с, л/с,


$\Delta Q$  — потери воды на фильтрацию между двумя створами;

$S$  — площадь смоченной поверхности канала между двумя створами, м<sup>2</sup>.

А. Н. Костяковым была предложена эмпирическая формула для определения  $\Delta$  — процента потерь расхода на 1 км длины канала:

$$\Delta = \frac{A}{Q^m},$$

где  $Q$  — расчетный расход воды (нетто) в канале ( $\text{м}^2/\text{с}$ ); коэффициенты  $A$  и  $m$  приняты равными для малопроницаемых грунтов —  $A = 0,7$ ,  $m = 0,3$ ; для средних по водопроницаемости  $A = 1,9$ ,  $m = 0,4$ ; сильнопроницаемых —  $A = 3,4$  и  $m = 0,5$ . Расчет по формуле А. Н. Костякова возможен при отсутствии данных о параметрах канала.



Для расчета абсолютных значений потерь воды на фильтрацию при отсутствии подпора и глубоком залегании грунтовых вод с учетом известных данных о свойствах почвогрунтовой толщи расчет потерь на фильтрацию может быть выполнен по другой формуле А. Н. Костякова:

$$W = K_{\phi} \left[ b + 2vh \sqrt{(ctg\phi)^2 + 1} \right]$$

где  $W$  — потери воды на фильтрацию на 1 м канала, м<sup>3</sup>/с;

$K_{\phi}$  — коэффициент фильтрации, м/с;

$b$  — ширина канала по дну, м;

$v$  — поправка на капиллярность почвы (изменяется от 1,1 до 1,4);

$h$  — глубина воды в канале, м;

$ctg\phi$  — коэффициент откоса.

Расходы брутто и нетто можно определить прямыми экспериментальными замерами расходов потока в голове и на выходе из канала.

Эти данные позволяют произвести расчет коэффициента полезного действия оросительного канала:

$$\eta = \frac{Q_{нт}}{Q_{бр}}.$$

Коэффициент полезного действия оросительной системы в целом — отношение объема воды, поданной непосредственно на поля, к объему воды, поступившей в голову системы:

$$\eta_{сист} = \frac{\sum Q_{нт} \cdot t}{Q_{бр} \cdot T},$$

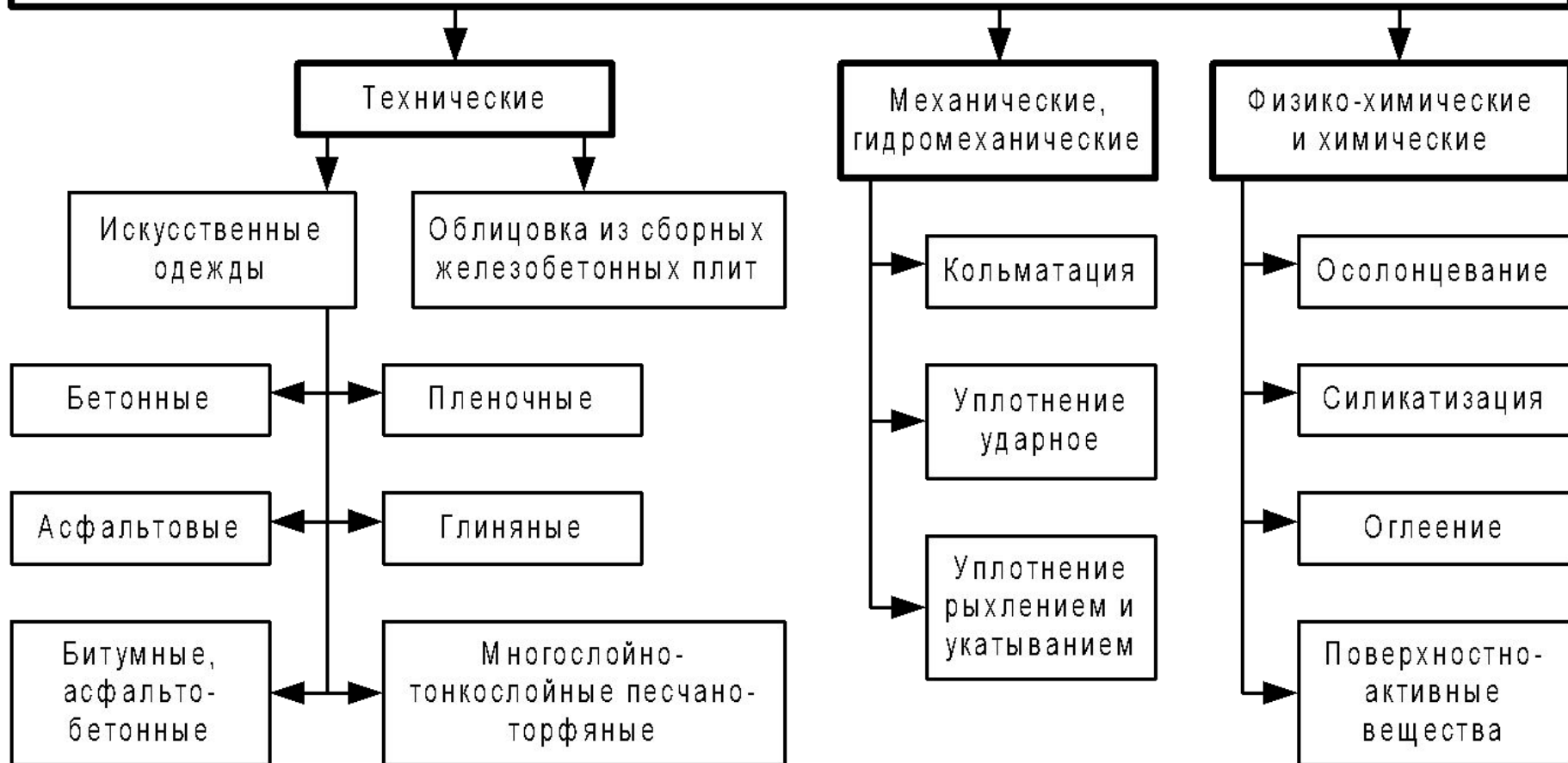
где  $\sum Q_{нт}$  — сумма расходов воды, подаваемой на поля;  $t$  — продолжительность подачи воды на поля в течение оросительного периода, с;  $T$  — продолжительность работы магистрального канала, с;  $Q_{бр}$  — расход воды в голове магистрального канала или системы, м<sup>3</sup>/с.

В соответствии с нормативами КПД каналов оросительной системы должен быть равным для каналов в земляном русле — 0,90; в бетонной, пленочной одежде или асфальтобитумной одежде, а также в железобетонных лотках — 0,96; для трубопроводов — 0,98.

В целом КПД оросительных систем с каналами в земляном русле должен быть не менее 0,75–0,80. При меньших значениях КПД систем на оросительных каналах применяют противофильтрационные мероприятия.

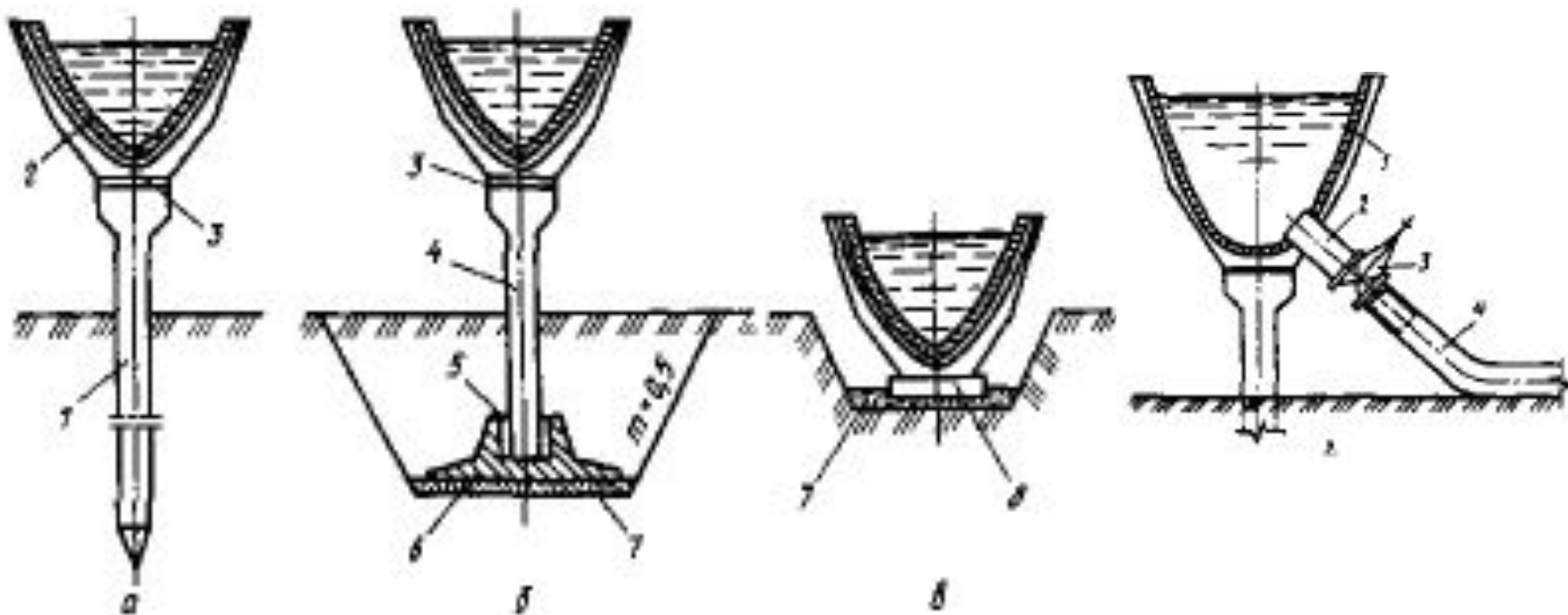
# Противофильтрационные мероприятия

## Мероприятия по борьбе с фильтрацией воды из оросительных каналов






# Лотковая оросительная сеть



Железобетонные лотки на свайных (а), стоечных (б) опорах и уложенные на грунт (в); водовыпуск из лотка в гибкий шланг.

# Лотковая оросительная сеть






Лотковая оросительная сеть позволяет резко снизить потери воды на фильтрацию КПД (до 90–95 %), повышает коэффициент земельного использования, исключает возможность зарастания, заиления и размыва.

Обеспечивает лучшие условия командования над орошаемой площадью.

При использовании лотковой сети возникают необходимые условия для индустриализации процесса строительства.



Появление новых материалов, внедрение современных способов орошения с применением широкозахватной дождевальнoй техники, необходимость резкого повышения КПД оросительных систем и снижения потерь воды на фильтрацию определили возможность создания и целесообразность широкого применения оросительной сети из закрытых трубопроводов.

Оросительная сеть из закрытых трубопроводов позволяет повысить КЗИ до 0,97 и увеличить КПД систем до 0,94-0,98, автоматизировать весь процесс полива. Использование оросительной сети из закрытых трубопроводов резко ослабляет или исключает пополнение грунтового потока ирригационными водами и, как следствие, заболачивание и засоление почв.

# Оросительная сеть из закрытых трубопроводов

Возможность создания и целесообразность широкого применения оросительной сети из закрытых трубопроводов обусловлена появлением новых материалов, внедрением современных способов орошения, необходимостью резкого повышения КПД оросительных систем и снижения потерь воды на фильтрацию.

# Оросительная сеть из закрытых трубопроводов

Оросительная сеть из закрытых трубопроводов позволяет повысить КЗИ до 0,97 и увеличить КПД систем до 0,94-0,98, автоматизировать весь процесс полива.

Использование оросительной сети из закрытых трубопроводов резко ослабляет или исключает пополнение грунтового потока ирригационными водами и, как следствие, заболачивание и засоление почв.

# Плотины на водохранилищах оросительных систем





# Плотины на водохранилищах оросительных систем

Бесперебойное обеспечение орошаемого массива обычно связано с наличием зарегулированных масс воды, объем которых определяется, во-первых, режимом орошения и, во-вторых, КПД системы.

С этой целью на оросительной системе сооружают водоёмы и водохранилища различных типов.

# **Плотины на водохранилищах оросительных систем**

Для создания водоёмов и водохранилищ, служащих источником водоснабжения, для сооружения водозабора и в других целях на оросительных системах предусматривается строительство плотин.



**По назначению и конструкции различают три вида плотин:**

- водозадерживающие,
- водосливные,
- водозаборные.

# Водозадерживающие плотины

сооружаются на водотоке, предназначены для аккумуляции в водоёме или водохранилище необходимого для орошения объема воды.

Водозадерживающая плотина на 1–3 м выше, чем уровень воды в водохранилище.

Водозадерживающие плотины устраивают из различных материалов — грунта, смеси грунта и камня, камня, железобетона.

# Водозадерживающие плотины

Оптимальным материалом являются суглинки с отношением глины к песку 1:1–1:2.

**Нельзя** использовать для формирования тела плотины глину, торф, пески, так как глина при высыхании образует глубокие и крупные трещины, а торф и песок обладают высокой водопроницаемостью.

# Водосливные плотины

предназначены для подпора воды на реке с целью организации самотечного водозабора или для подъёма воды на реке до отметок, благоприятных для строительства насосной станции и последующего механического водозабора.

# Водосливные плотины

Высота гребня водосливных плотин ниже уровня воды в реке.

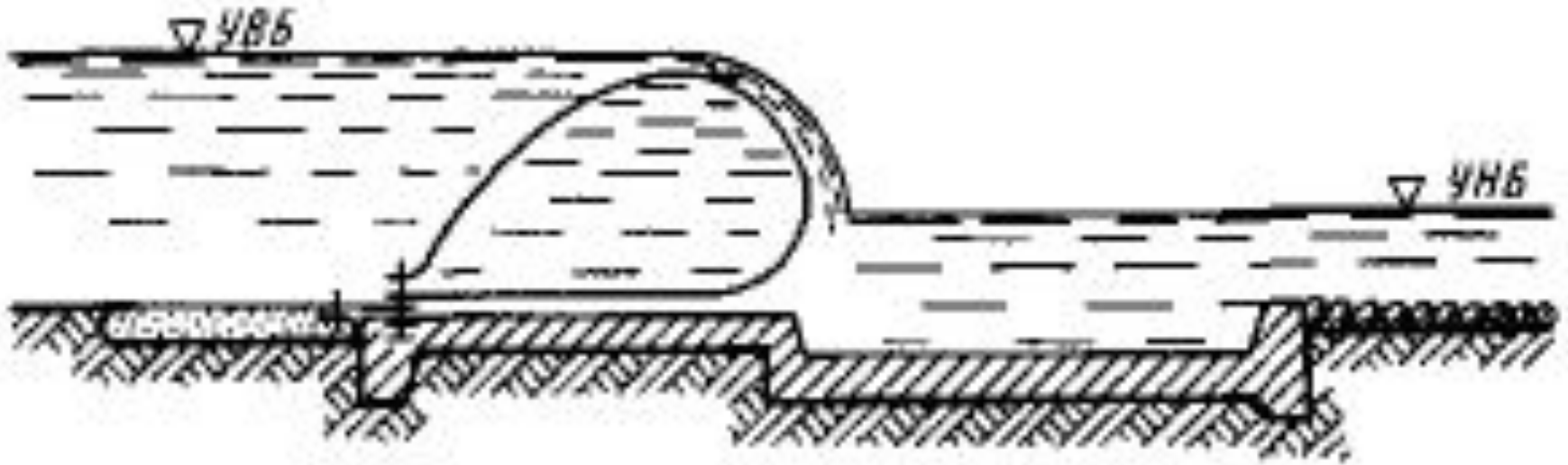
Такие плотины — барражи — сооружают также для затопления каменных порогов и подъема воды над отмелями.

Водосливные плотины удерживают относительно небольшие объемы воды.

Основная масса воды перекатывается через гребни. Их строят обычно из железобетона.

# Водосливные плотины

На малых реках и ручьях можно использовать мягкие резиновые конструкции водосливных плотин. Их высота не превышает 3 м.



УВБ — уровень верхнего бьефа;

УНБ — уровень нижнего бьефа.



# Водосливные плотины

Достоинством мягких тканевых водосливных плотин является простота монтажа и демонтажа, их невысокая стоимость.

Такое устройство позволяет устраивать запруды на временных водотоках, создавать искусственные водоемы глубиной до 3 м.

# Водозаборные плотины

используют для задержания местного стока.

Их строят главным образом из грунта.


# Водозаборные плотины

Различают два вида водозаборных плотин:

- однородные, или простые,
- сложные.

В первом случае плотину из малопроницаемого грунта возводят на слабоводопроницаемом основании.

Во втором — водозаборная плотина сооружается на проницаемом основании (песке, известняке, меле) с залеганием на глубине 2–3 м и более водоупорных пород. В этом случае плотина сооружается из проницаемого грунта.



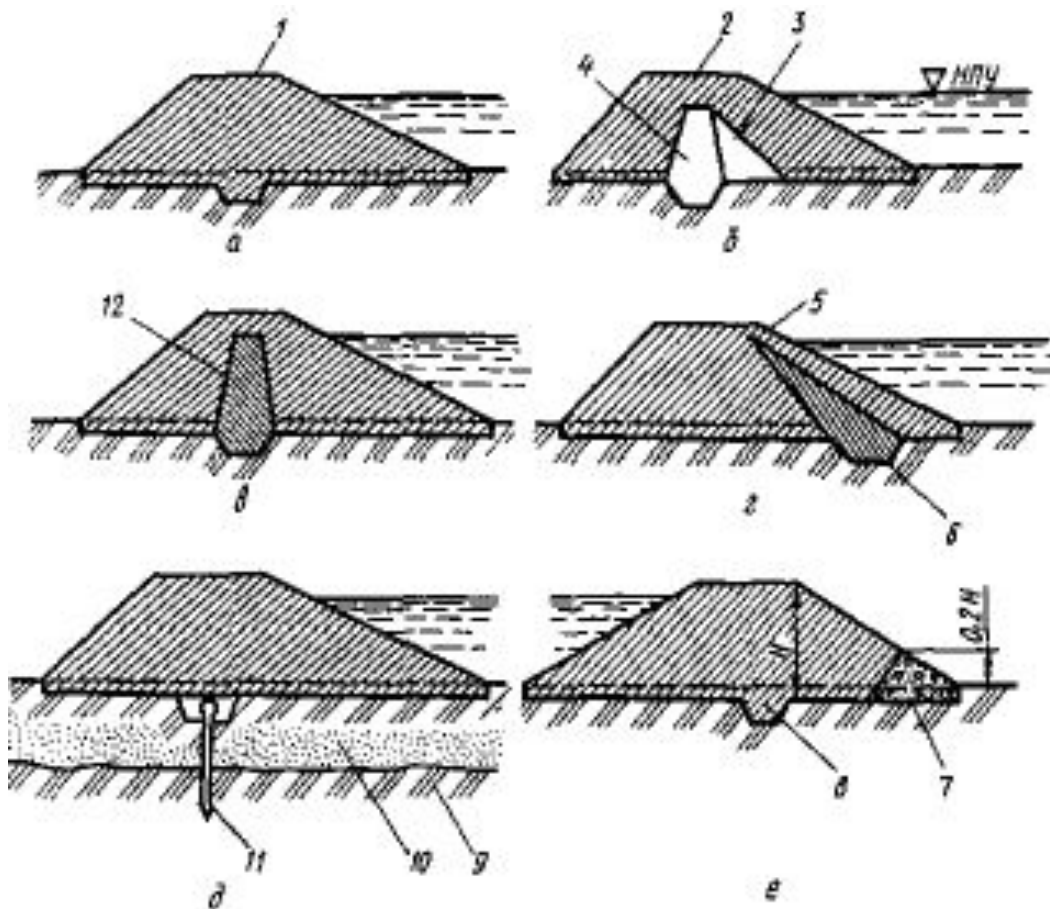
Независимо от назначения при строительстве плотин предусматривают комплекс специальных мероприятий по борьбе с фильтрацией под телом плотины и в обход плотины.

Наиболее простым антифильтрационным мероприятием является устройство замка.


Замки врезают в водоупорный слой на глубину 0,5–1,0 м.

Для устройства замка по всей длине трассы будущей плотины роют траншею, которую заполняют мятой глиной.


# Типы земляных плотин



а - из однородного грунта с замком; б, в, г - с глиняным ядром и замком; д - из однородного грунта со шпунтом, е - из однородного грунта с дренажной песчано-гравелистой отсыпкой; 1 - гребень плотны; 2 - супесь; 3 - суглинок; 4 - глина; 5 - песчаный грунт; 6 - глиняный зуб и экран; 7 - песчано-гравелистая отсыпка (дренаж); 8 - замок; 9 - водоупорный слой; 10 - песок; 11 - шпунтовый ряд; 12 - ядро.




Если плотина создается из проницаемых материалов, то в её теле предусматривают устройство непроницаемого глиняного ядра или ядра и экрана.



Если между основанием замка и водоупором залегает водоносный горизонт, то замки дополняют шпунтовой стенкой.

Шпунтовая стенка представляет собой плотно забитый в грунт сплошной ряд деревянных или бетонных свай.




Если же сваи полностью проходят водоносный горизонт и врезаны в водоупорный слой, возможно практически полное перекрытие фильтрационного потока под телом плотины.



В крупных земляных плотинах с целью отвода профильтровавшейся воды в основании сухого откоса устраивают дренаж. Для этого слоями по 15–20 см отсыпают вначале мелкий, затем крупный песок, щебень, средние и крупные камни. Ширина такой дренажной отсыпки поверху не менее метра, а ее высота должна составлять не менее  $1/5$ – $1/4$  высоты плотины. Плотина работает нормально и в ней не наблюдается явлений *суффозии*, если дренажные воды чистые и не содержат мути.

**Суффозия** (от лат. *suffosio* — подкапывание) — преимущественно физический процесс выноса мелких минеральных частиц породы фильтрующейся через неё водой, это и частицы породы не претерпевают дальнейшего разрушения.

Одним из необходимых условий суффозии является наличие в породе как крупных частиц, образующих неподвижный каркас, так и вымываемых мелких. Вынос начинается лишь с определенных значений напора воды, ниже которых происходит только фильтрация.



По гребню водозадерживающих и водозаборных плотин, т. е. на их самой высокой части, обычно прокладывают дорогу, укрепляют её щебнем, асфальтом или железобетонными плитами.

Откосы плотины зависят от механического состава используемого грунта и от смоченности их поверхности.


Для *мокрого откоса* (т. е. откоса, обращенного к акватории водохранилища) приняты следующие коэффициенты откосов бортов плотины для :

- суглинков — 2,5–3,0;
- супесей — 3,0–3,5;
- песков — 3,5–4,0.

Для *сухого откоса* —

- 1,5–2,0,
- 2,0–2,5,
- 2,5–3,0,

соответственно.



Мокрый откос плотины укрепляют каменной отмосткой, бетонными плитами, наброской камней в клетки из ивовых прутьев и кольев и посадкой ивы вдоль уреза воды.


## **Искусственные водоёмы (водохранилища)**

рассчитывают на аккумуляцию только части паводкового или ливневых расходов.

Их основная часть обычно пропускается через плотину.

Для пропуска этого объема воды при строительстве водозадерживающих и водозаборных плотин предусматривают водосбросные и водосливные сооружения.


Они представлены водосбросным земляным или бетонным каналом и водосливным сооружением в теле плотины.



Водосбросной канал, выполняемый часто в сочетании с перепадами и быстротоками, строят в обход плотины.

Дно водосбросного канала должно находиться на отметке нормального проектного уровня (НПУ).

Поэтому сброс воды по каналу осуществляется автоматически.




Водосливные сооружения в теле плотины  
выполняют из дерева или бетона.

Их оборудуют подъемными щитами (затворами)  
для регулирования сброса.


Кроме того, плотина оборудуется трубчатыми  
донными водовыпусками для полного спуска  
воды при ремонте плотины, очистке дна от  
аккумуляции твердого стока и для вылова рыбы.






Расчет объёма воды, аккумулируемой водоемом (водохранилищем), производят исходя из потребностей орошаемого земледелия, рыбного хозяйства и других хозяйственных и природоохранных задач.

Если объектом орошения являются незасоленные почвы, то мелиоративные мероприятия ограничиваются задачами регулирования водного (и пищевого) режима почв.



В засушливых районах распространенным объектом орошения оказываются засоленные и солонцеватые почвы, использование которых связано с необходимостью выполнения специального и сложного комплекса мелиоративных мероприятий по изменению и улучшению химических и физических свойств таких почв.



В случае предупреждения угрозы вторичного засоления и осолонцевания почв объём водохранилищ должен предусматривать аккумуляцию воды не только исходя из расходов, связанных с водопотреблением культур, потерь воды на фильтрацию, но и на опреснение почв (или почвообразующих пород и поверхностных горизонтов засоленных грунтовых вод).



**Благодарю  
за внимание!**