

Лекция 10. Гидрологический и гидравлический расчеты проводящей сети

1. Основные понятия гидрологии.
2. Определение модуля дренажного стока.
3. Гидравлический расчет водотоков.
4. Крепление откосов и дна каналов.

1. Основные понятия гидрологии

Ответственным этапом в проектировании осушительных систем являются гидрологические расчеты. Этими расчетами устанавливают количественные значения следующих показателей:

норму годового стока,
внутригодовое его распределение,
расходы и объемы воды, которые необходимо пропустить через водопроводящую сеть в характерные периоды года.

Гидрологические характеристики обосновываются технико-экономическими расчетами, позволяющими установить оптимальные условия работы и параметры проводящей сети с целью минимизации затрат на ее строительство.

Открытая проводящая и ограждающая сеть принимает поверхностную и грунтовую воду с осушаемой территории, а также со смежных участков водосбора. Объемы отводимой воды зависят от времени года, величины водосборной площади, типа водного питания, способа осушения.

Оценку объема влаги, стекающей по поверхности почвы или по порам грунта, проводят по модулям стока.

Под *модулем стока* понимают объем воды, стекающей в единицу времени с единицы площади. В зависимости от условий поступления воды в осушительную сеть различают *модуль поверхностного стока*, *модуль дренажного стока* и *модуль внутреннего стока*.

Модуль поверхностного стока характеризует стекание воды по поверхности земли к открытой осушительной сети. Модуль дренажного стока – это количество грунтовой воды, поступающей в закрытую или открытую дренажную сеть. При внутреннем стоке вода с поверхности почвы через траншейные засыпки или другие устройства поступает в закрытую собирательную сеть. При таком поступлении поверхностная вода попадает в закрытую сеть не вся. Часть ее уходит на поверхностный сток, испарение, фильтрацию.

В зависимости от интенсивности и объема поступающей воды к мелиоративным системам выделяют следующие периоды:

1. *Весенний период*, когда к мелиоративным системам поступает максимальное количество воды с осушаемой площади и с прилегающих территорий. Проводящая сеть должна обеспечить в это время такой режим, при котором исключается затопление или подтопление мелиорируемых земель после истечения установленного промежутка времени. При наличии в севообороте озимых культур выход воды на поля в год расчетной повторяемости вообще недопустим. Если в севообороте озимые отсутствуют, затопление

допустимо, однако на определенный срок. Следует помнить, что в весенний период, кроме того, возникает опасность размыва каналов.

2. *Предпосевно-посевной период*. В этот период режим уровней в проводящей сети должен быть таким, чтобы к его завершению обеспечивалась расчетная предпосевная норма осушения.

3. *Летне-осенний период*, в течение которого необходимо предотвратить сверхнормативный подъем грунтовых вод за счет поддержания соответствующих уровней воды в каналах.

4. *Бытовой (меженный)*. Здесь наблюдается минимальный сток воды, при котором возможно заиливание каналов. Положение уровня бытовых вод в каналах не должно создавать подпора впадающей в них сети.

Общие требования по расчетным периодам, условиям пропуска расхода воды в руслах каналов, а также нормативная обеспеченность расчетных расходов в зависимости от сельскохозяйственного использования осушаемых земель приведены в табл. 2.10.

Таблица 10.1. Общая характеристика расчетных периодов
(при площади водосбора менее 20 км²)

Сельскохозяйственное использование мелиорируемых земель	Расчетные периоды (расходы)	Условия пропуска расчетных расходов в русле каналов	Обеспеченность расчетных расходов, %
Полевые севообороты, пастбища	Весеннее половодье	В бровках	10
	Предпосевной	На 0,5–0,7 м ниже бровок	10
	Летне-осенний паводок	На 0,2–0,3 м ниже бровок	10
Сенокосы	Предпосевной	На 0,4–0,5 м ниже бровок	10
	Летне-осенний паводок	В бровках	10
Для всех видов использования земель	Среднемеженный	Без подпора впадающей сети	50

2. Определение модуля дренажного стока

Особую важность для расчета мелиоративной системы представляет режим формирования дренажного стока, который характеризуется модулем стока. От величины модуля дренажного стока зависят размеры дрен, режим осушения территории и, естественно, стоимость осушительной системы.

Имеются различные методы определения модулей дренажного стока. Одним из них является теоретический, когда $q_{др}$ находится по специальным формулам.

Для определения модуля дренажного стока можно также воспользоваться его зависимостью от интенсивности удаления избытка воды дренами

$$q_{др} = 116q, \quad (10.1)$$

где $q_{др}$ – модуль дренажного стока, л/с с 1 га;

q – требуемая интенсивность удаления избытка воды, м/сут;

116 – переводной коэффициент.

Для условий Беларуси определены нормативные модули дренажного стока, полученные по многолетним опытным данным (табл. 10.2).

Расчетным для определения модуля дренажного стока является весенний период 10%-й вероятности превышения (обеспеченности). В годовом разрезе обеспеченность этого стока равна 2–3 %. Это означает, что закрытый дренаж может работать с перегрузкой в течение 7–10 сут. без ущерба для сельскохозяйственных культур. Дренажная сеть должна удалить избыточную воду и обеспечить норму осушения к началу сева.

Таблица 10.2. Нормативные модули дренажного стока

Характеристика почвенного покрова и рельефа	Расчетный модуль дренажного стока (л/с с 1 га) при средних годовых осадках, мм		
	До 600	600–700	Свыше 700
1. Минеральные грунты			
Слабоводопроницаемые почвы – глины и тяжелые суглинки (частиц диаметром менее 0,01 мм свыше 50 %):			
– при уклоне поверхности более 0,01	0,4	0,5	0,6
– то же менее 0,01	0,5	0,6	0,7
– в замкнутых котловинах	0,6	0,7	0,8
Средневодопроницаемые почвы – средние и легкие суглинки (частиц диаметром менее 0,01 мм от 30 до 50 %):			
– при уклоне поверхности более 0,01	0,5	0,6	0,7
– то же менее 0,01	0,6	0,7	0,8
– в замкнутых котловинах	0,7	0,8	0,9
Хорошо водопроницаемые почвы – супеси и пески (частиц диаметром менее 0,01 мм – до 30 %):			
– при уклоне поверхности более 0,01	0,6	0,7	0,8
– то же менее 0,01	0,7	0,8	0,9
– в замкнутых котловинах	0,8	0,9	1,0
2. Торфяные почвы			
При атмосферном и безнапорном грунтовым водном питании	0,5	0,6	0,7
При грундово-напорном водном питании	0,8	0,9	1,0
Для ловчих дрен	0,8	0,9	1,0

При осушении садов модуль стока рекомендуется принимать на 0,2 л/с с 1 га больше принятого значения по таблице. Если предусматриваются (кроме закрытой сети) агромелиоративные мероприятия (кротование и др.), то табличное значение модуля дренажного стока необходимо увеличить на 10–25%.

Общий расчетный расход от поверхностного ($Q_{п}$) и дренажного ($Q_{др}$) стока равен их сумме:

$$Q = Q_{п} + Q_{др}. \quad (10.2)$$

При дренировании небольших участков, но со значительными водосборными площадями, вода с которых поступает в проводящую сеть осушительной системы,

расходом дренажных вод пренебрегают. В таких условиях дренажный сток составляет всего лишь несколько процентов от общего расхода.

3. Гидравлический расчет водотоков

Гидравлический расчет водотоков осушительной системы решает несколько задач. Во-первых, с помощью гидравлического расчета проводится проверка предварительно принятых параметров канала или их уточнение (определение) по условиям пропуска заданных расходов воды в расчетные периоды. Во-вторых, он позволяет определить максимальную и минимальную скорости движения воды и сопоставить их с допустимыми на размыв и заиление.

Формулы для расчета каналов известны из курса гидравлики. Ниже излагаются основные положения методики расчета.

Гидравлический расчет проводящих каналов необходимо выполнять при площади водосбора 5 км^2 и более и расчетном расходе воды более $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$. При меньшей площади водосбора размеры поперечных сечений каналов принимаются конструктивно. Гидравлический расчет проводящих каналов на неразмывающие скорости необходимо выполнять при любой площади водосбора. Он рекомендуется в том случае, когда уклон канала превышает $0,0005$ для песчаных, $0,003$ для суглинистых и $0,005$ для глинистых грунтов.

Гидравлический расчет каналов выполняется по формулам равномерного движения воды для следующих створов:

- устьевая часть канала;
- в сечениях выше и ниже мест впадения каждого гидравлически рассчитываемого канала;
- в местах изменения уклона дна (для обоих уклонов);
- на участках с постоянными уклонами при изменении площади водосбора более чем на 20% .

В случае притока воды в проводящие каналы или поступления ее из каналов высшего порядка, что создает подпоры с изменением циркуляции потока или другие явления, влияющие на глубину и расход воды, гидравлический расчет необходимо производить по формулам неравномерного движения воды.

Параметры поперечных сечений каналов проводящей сети с расходом до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ следует принимать с учетом рекомендаций приведенных в нормативных документах, например в ТКП.

Гидравлический расчет закрытой проводящей сети (коллекторов) имеет некоторые особенности. На рис. 10.1 показано формирование расходов по длине закрытого коллектора. Расчет можно проводить в любом направлении от истока к устью или наоборот от устья к истоку водотока. Если расчет ведут от истока к устью, начальный диаметр d_1 должен быть известен.

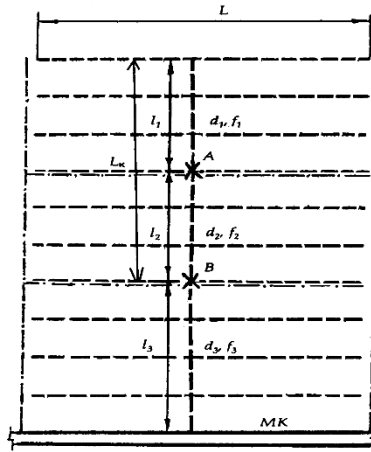


Рис. 10.1. Схема к расчету закрытого коллектора

Им задаются из условий проектирования проводящей сети в вертикальной плоскости. По мере возрастания расхода по длине в точке *A* необходимо перейти на следующий диаметр d_2 .

Расход воды, который пропускает заданный диаметр d_1 , определяется по формуле Шези :

$$Q_1 = \omega c \sqrt{Ri}. \quad (10.3)$$

С другой стороны, этот же расход можно выразить через модуль дренажного стока q и водосборную площадь f_1 , обслуживаемую диаметром d_1 , т. е.

$$Q_1 = qf_1. \quad (10.4)$$

Из формулы (10.5) следует, что водосборная площадь

$$f_1 = Q_1 / q. \quad (10.5)$$

Используя это соотношение, можно легко определить длину отрезка коллектора (собираателя) с заданным диаметром d_1 , т. е.

$$l_1 = f_1 / L, \quad (10.6)$$

где L – длина регулирующей дрены (ширина участка с закрытой системой).

Далее от точки *A* задают следующий по ГОСТу диаметр d_2 . Проводя аналогичные операции, по формуле (10.4) определяют расход Q_2 , пропускаемый диаметром d_2 . Очевидно, что общая водосборная площадь относительно диаметра d_2 определяется по формуле, аналогичной (10.5), т. е.

$$f_2 = Q_2 / q \quad (10.7)$$

Длина коллектора L_k , включая отрезок l_1 , будет равна

$$L_k = f_2 / L \quad (10.8)$$

А отрезок водоотвода l_2 диаметром d_2 определится как

$$l_2 = L_k - l_1. \quad (10.9)$$

Подобные расчеты выполняют до устья коллектора. Максимальная скорость движения воды в керамических трубах не должна превышать 1,4 м/с. Ее превышение приводит к турбулентному режиму в трубах и вымыву частиц из стыковых зазоров. Это

приводит к образованию промоин, угрожающих целостности закрытой линии. Минимальная скорость движения воды составляет 0,2–0,3 м/с. При такой скорости еще отсутствует выпадение в осадок частиц грунта в трубе и обеспечивается их вынос из полости дрены водным потоком.

Скорость течения воды в коллекторе при пропуске расчетных расходов необходимо принимать в следующих пределах:

- наименьшая (незаиляющая) – 0,3 м/с;
- наибольшая (не допускающая размыв) – 1,5 м/с в керамических трубах, 3,0 м/с в пластмассовых.

При скорости течения в закрытом коллекторе, превышающей 1,5–3,0 м/с, необходимо предусматривать одно из нижеперечисленных технических решений:

- круговую обертку дренажных труб рубероидом или полиэтиленовой пленкой;
- применение пластмассовых труб без перфорации;
- использование асбестоцементных труб, соединяемых на муфтах;
- бетонирование стыков керамических труб.

Гидравлический расчет закрытых коллекторов следует выполнять для мест:

- изменения уклона;
- соединения коллекторов различных порядков;
- поступления поверхностных вод из фильтров-поглотителей.

Нагорные каналы для перехвата поверхностных вод необходимо рассчитывать на пропуск расходов воды расчетной обеспеченности в бровках.

Ловчие каналы и дрены для перехвата поверхностных и подземных вод должны рассчитываться на пропуск расходов, определяемых на основании фильтрационных расчетов с учетом гидрогеологических условий осушаемой территории.

Гидравлический расчет ловчих дрен следует выполнять на пропуск суммарного расхода грунтовых и поверхностных вод, поступающих в дренаж с прилегающего водосбора.

При расчетном диаметре ловчей дрены, превышающем 200 мм, необходимо предусматривать несколько параллельных дренажных линий меньшего диаметра, рассчитанных на пропуск суммарного расхода.

4. Крепление откосов и дна каналов

Если расчетная скорость движения воды в канале превышает размывающую (табл. 10.3), то прибегают к его креплению.

В первую очередь для этой цели используют местные строительные материалы – камень, хворост, жерди и только в особых случаях целесообразно устраивать крепления из железобетонных плит. К таким случаям относят участки на открытых каналах у гидротехнических сооружений (труб-переездов, шлюзов-регуляторов и др.). При выборе креплений необходимо проводить их сравнение и подбирать надежный и эффективный материал (табл. 10.4).

Таблица 10.3. Допустимые неразмывающие средние скорости движения воды в канале, м/с

Показатель	Глубина потока, м		
	0,5	1,0	3,0
Песчаные грунты			
Средний диаметр частиц грунта, d_{cp} , мм:			
0,05	0,32	0,35	0,39
0,25	0,37	0,39	0,41
0,50	0,41	0,44	0,50
1,00	0,51	0,55	0,62
2,00	0,64	0,70	0,79
3,00	0,73	0,80	0,91
Глинистые грунты			
Расчетное удельное сцепление грунта, C_0 , кг/см ² :			
0,005	0,33	0,43	0,49
0,010	0,44	0,48	0,55
0,030	0,59	0,64	0,74
0,050	0,71	0,77	0,89
0,100	0,96	1,04	1,20
0,150	1,13	1,23	1,41

Таблица 10.4. Допустимые неразмывающие средние скорости для закрепленных русел каналов, м/с

Вид крепления	Глубина потока, м		
	0,5	1,0	3,0
Бетонная облицовка	12,5–19,2	13,8–21,2	16,0–24,6
Облицовка из каменной кладки	4,3–7,4	5,0–8,7	6,2–10,7
Каменная наброска в плетневой клетке	3,0	3,5	4,0
Мощение одиночное на слое щебня или глины (10–15 см)	2,4–3,0	2,8–3,6	3,5–4,5
Одерновка плашмя	1,0	1,25	1,5
Одерновка в стенку		1,8	2,2
Хворостяная выстилка и хворостяные покрывала на плотном основании (толщина до 50 см)		2,0–3,0	–
Деревянные лотки		10,0	14,0

На рис. 10.5, *a* изображено крепление откосов канала хворостяным канатом, а на рис. 2.20, *б* – крепление плетневой стенкой. Длина кольев для минеральных грунтов должна быть не менее 0,6–0,8 м. При креплении каналов в торфах целесообразно, чтобы кольца проходили всю торфяную залежь и заглублялись в подстилающий минеральный грунт. Диаметр кольев должен составлять 5–7 см. Расстояние между ними в ряду должно быть 0,5 м. Крепление следует заглублять под дно канала не менее чем на 5 см, так как после придания каналу проектных размеров возможен вымыв разжиженного грунта. За креплением укладывают дернину травой к хворосту. Она необходима для предотвращения вымыва частиц грунта сквозь хворост и заилиения канала.

С целью повышения производительности труда и снижения стоимости крепления откосов каналов принимают посев трав. Для этого на откосы наносят растительный грунт слоем до 5 см и вносят минеральные удобрения. Для нижней части откосов каналов на почвах среднего гранулометрического состава применяют следующие травы: канаречник

(10 кг/га), костер безостый (15 кг/га), лисохвост луговой (10 кг/га), мятлик болотный (5 кг/га) и их травосмеси. Травосмесь для верхней части откоса должна состоять из клевера белого (5 кг/га), костра безостого и лисохвоста лугового (по 10 кг/га), полевицы белой, овсяницы красной и тимофеевки (по 5 кг/га).

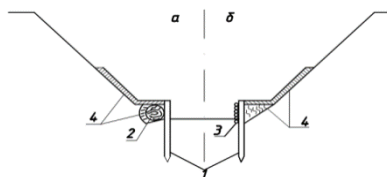


Рис. 10.5. Крепление каналов: *a* – хвостяным канатом (2); *б* – плетневой стенкой (3); 1 – кольца; 4 – дерн

Посев трав проводят с мая по август с таким расчетом, чтобы к зиме на откосах образовалась дернина. В засушливое время организуют их полив для ускорения прорастания семян трав.

При креплении откосов каналов применяют также гидропосев трав. Для этого готовится смесь трав, удобрений и воды. В состав гидросмеси может входить тимофеевка луговая, овсяница красная, райграс пастбищный, мятлик луговой, костер безостый и клевер красный – всего 45 кг/га. Из удобрений в смесь обычно включают аммиачную селитру, хлористый калий, суперфосфат и др. Эта смесь помещается в специальные емкости, из которых она под давлением разбрызгивается по откосам.

Иногда одерновка откосов не может быть заменена гидропосевом трав даже несмотря на то, что она в 10–12 раз дороже, экологически не безвредна, трудно поддается механизации. Этот тип крепления в определенных условиях незаменим.

Ученые РУП «Институт мелиорации» НАН Беларуси создали искусственный материал и технологию изготовления искусственной дернины-биополотна (биоковер).

Биоковер представляет собой два тонких полотна (на синтетической или органической основе), скрепленных специальными клеящими веществами с семенами многолетних трав между ними. Материал, используемый для его изготовления, выпускается в виде полотен шириной от 1 до 2 м как продукт, способный к биологическому разложению, полуразложению или имеет неразлагаемую основу. Поставляется в рулонах длиной 60 м. Биополотно на полуразлагаемой и неразлагаемой основах применяется в основном для закрепления земляных сооружений, эксплуатируемых в течение длительного времени. Биополотно на органической основе способно к полному разложению и служит питательной средой для растений. Оно рассчитано в основном на озеленение городов и поселков.

Биоковер на неразлагаемой основе сохраняется более трех лет. Этого вполне достаточно для образования мощного травяного покрова, надежно защищающего откосы от ветровой и водной эрозии. Биоковер на разлагаемой основе при разложении сохраняет незначительный остаток в виде паутинообразной сетки. Испытания биополотна показали его полную безвредность для флоры и фауны. Оно также предотвращает перенос

радионуклидов из почвенного слоя через дернину.

Укладка и крепление биоковров на откосах земляных и водоотводящих сооружений не требует больших затрат труда и времени. При этом отпадает необходимость в применении специальной техники. Разработанная технология укладки биополотна исключает применение крепежных кольшков из дерева или других материалов, что создает благоприятные условия для ухода за растениями.