# ОСНОВЫ РАСЧЕТА ДОЖДЕВОЙ ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ.

## Измерение количества выпавшего осадка.

Для расчета дождевой сети необходимо иметь сведения о количестве выпадающих осадков в виде дождя в том районе, где проектируется дождевая сеть. Для измерения количества выпадающих осадков применяются приборы, называемые дождемерами. Дождемеры бывают обыкновенные (рис.13) и самопишущие.



Рис.13. Схема дождемера простого типа.

Основным элементом дождемера является приемный сосуд площадью 500см2, диаметром 25,2см. количество осадка измеряется в мм водного столба. Для определения количества выпавших осадков воду из приемного сосуда сливают в специальный измерительный сосуд с делениями. Годовое количество осадков получают сложением суточных количеств. Однако этих данных для расчета дождевой сети недостаточно. Необходимо иметь сведения о продолжительности отдельных дождей, их интенсивности, распределении по площади, и т.д. Эти данные могут быть получены с помощью автоматических дождемеров - плювиографов. Схема плювиографа представлена на рис.14.



Рис.14. Схема плювиографа.

1.Приемный сосуд; 2. Измерительный сосуд; 3. Поплавок; 4. Сифон 5.Барабан самописца.

жидкие осадки, стекая из приемного сосуда в измерительный, вызывают вертикальное перемещение находящегося в нем поплавка. При подъеме поплавка перемещается и перо самописца, барабан которого приводится во вращение с помощью часового механизма. При заполнении измерительного сосуда срабатывает сифон и сосуд опорожняется. Перо вычерчивает на специальной диаграмме кривую, которая называется плювиограммой. Вид плювиограммы изображен на рис.15.



Рис.15. Вид плювиограммы.

Важной характеристикой выпадающего дождя является его интенсивность. Интенсивность дождя может быть выражена по слою и по объему. интенсивность дождя по слою равна:

 ; мм/мин, где

h - слой воды в мм, выпавший за время t, мин.

интенсивность дождя по слою выражается в л/с.га и равна:

.

## Расшифровка плювиограммы.

Целью расшифровки плювиограммы является установление зависимости интенсивности дождя от его продолжительности. Плювиограмму разбивают на участки, на которых ориенти-ровочно линию можно считать прямой, отмечают время начала и конца каждого участка, продолжительность выпадения дождя, соответствующая этим участкам, и слой осадка, а также определяют интенсивность дождя по слою на каждом участке. Данные заносят в таблицу 3.1.

таблица 3.1.

Определение интенсивности дождя на различных участках плювиограммы.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| начало  Время наблюдений | конец | Продолжитель-ность дождя, мин. | Слой выпавшего осадка,  мм | Интенсивность дождя по слою, мм/мин |
| 10час.10мин. | 10час.14мин. | 4 | 0,5 | 0,125 |
| 10час.14мин | 10час.18мин. | 4 | 2 | 0,5 |
| 10час.18мин. | 10час.20мин | 2 | 0,9 | 0,45 |
| 10час.20мин. | 10час.24мин. | 4 | 0,7 | 0,175 |
| 10час.24мин. | 10час.30мин. | 6 | 0,5 | 0,083 |
| 10час.30мин. | 10час.34мин. | 4 | 0,6 | 0,15 |
| 10час.34мин. | 10час.40мин. | 6 | 0,3 | 0,05 |

по данным таблицы 3.1. составляется таблица 3.2. Первоначально берется участок, имеющий наибольшую интенсивность по объему. В рассматриваемом примере такой участок в таблице 3.1. записан второй строчкой. Затем берется участок, имеющий интенсивность близкую к предыдущей, при этом суммируется продолжительность дождя и слой выпавшего осадка для этих двух участков и вычисляется средняя интенсивность дождя по слою и объему для этих двух участков. Операции по расчету повторяют до тех пор, пока последний участок, имеющий наименьшую интенсивность, не будет включен в сумму.

Таблица 3.2.

Расшифровка плювиограммы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Продолжительность дождя, мин.  Интенсивность дождя, | Слой осадка,  мм | по слою, мм/мин | по объему, л/с.га |
| 4 | 2 | 0,5 | 83 |
| 6 | 2,9 | 0,483 | 80,2 |
| 10 | 3,6 | 0,36 | 60 |
| 14 | 4,2 | 0,3 | 50 |
| 18 | 4,7 | 0,26 | 43,3 |
| 24 | 5,2 | 0,216 | 36,1 |
| 30 | 5,5 | 0,183 | 30,6 |

В последней строчке таблицы получается общая продолжительность дождя и средняя его интенсивность. Если нанести полученные данные в логарифмических координатах (lgq - lgt), то получается линия, близкая к прямой, уравнение которой может быть представлено следующим образом:



или после потенцирования:

, где

n - тангенс угла наклона прямой, а lgА - отрезок, отсекаемый на оси ординат (lgq) прямой линией. Как следует из уравнения, при t =1минуте q =А.

Для дождей, выпадающих в разных местах, характерны общие закономерности. Чем продолжительнее дождь, тем меньше интенсивность дождя, тем большая частота его повторения.

Если рассмотреть несколько периодов различной продолжительности дождя, то в пределах каждого из этих периодов возможно выпадение одного и самого интенсивного дождя. С уменьшением интенсивности дождя численность их с определенной интенсивностью будет увеличиваться. С увеличением продолжительности рассматриваемого дождя интенсивность будет уменьшаться. Поэтому выпадение дождя характеризуются еще и вероятностью повторе-ния, которая выражается через период однократного превышения расчетной интенсивности. Период однократного превышения расчетной интенсивности дождя - период времени в годах, в течение которого дождь расчетной интенсивности будет превышен один раз. Из изложенного ясно, что с увеличением периода однократного превышения возрастает и интенсивность выпадения дождя.

Например, если при расшифровке плювиограмм использованы записи дождей за 15лет, а за расчетную интенсивность принята интенсивность, величину которой за указанные 15лет превысило пять дождей, то период однократного превышения расчетной интенсивности составит 15: 5= 3года.

Если на график в логарифмических координатах нанести данные расшифровки плювиограмм наиболее интенсивных дождей, выпадающих в данной местности за продолжительный период времени (например, 20лет), то получим ряд линий, близких к прямым, параллельных и пересекающихся (рис.16).



Рис.16. Расшифровка записей дождей на плювиограмме.

Для обобщения данных и определения параметров А и n поступают следующим образом. Сначала определяют допустимое число превышений расчетной интенсивности. Например, если величина однократного превышения расчетной интенсивности принята 5 годам, то допустимое число превышений равно 20:5=4раза. Затем на графике для выбранного интервала времени отсчитывают сверху четыре интенсивности и на пятой ставят точку. Эти точки группируются около прямой линии, уравнение которой может быть найдено по методу наименьших квадратов. Параметры А и n можно определить по формуле:

;

, где

m - число точек на линии расчетного дождя.

Таким образом, расшифровка плювиограмм дает возможность определить интенсивность дождя в зависимости от продолжительности и периода однократного превышения расчетной интенсивности по формуле:

.

## Определение коэффициентов А и n в формуле расчетной интенсивности дождя.

Многочисленными наблюдениями установлено, что показатель степени n зависит в основном от географического положения объекта и определяется по табл.4 СНиП2.04.03-85, если отсутствуют записи дождей на плювиографе. Величину А в этом случае рекомендуется определять по формуле:

, где

q20 - интенсивность дождя продолжительностью 20минут с периодом однократного превышения расчетной интенсивности Р = 1год (черт.1 СНиП2.04.03.85);

mr - среднее количество дождей, выпадающих за год в данной местности (таблица 4 СНиП2.04.03.85);

 - показатель степени (таблица 4 СНиП2.04.03.85);

Р -период однократного превышения расчетной интенсивности, год (п.2.13 СНиП2.04.03.85).

## распределение дождя по площади.

В общем случае величина площади, одновременно орошаемая дождем, колеблется в широ-ких пределах. Если эта площадь меньше 500га, считают, что интенсивность дождя в любой точ-ке этой площади одинакова. При большей площади следует учитывать, что интенсивность дож-дя в разных точках этой площади может быть разная. Неравномерность распределения дождя по интенсивности в таких случаях учитывается поправочным коэффициентом k (таблица 3.3).

Таблица 3.3.

Поправочный коэффициент неравномерности распределения дождя по площади.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Площадь стока, га | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
| Значения коэффициента k | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,55 |

ЛНИИ АКХ рекомендовал величину коэффициента k определять по формуле:

, где

F - площадь стока, га.

## Механизм дождевого стока.

Дождевая водоотводящая сеть рассчитывается на максимальный расход. Для выяснения того, как изменяется расход в трубопроводе во время дождя, рассмотрим бассейн стока с площадью F, через который проходит дождевой трубопровод (рис.17).

Рис.17. Схема образования дождевого стока.

2

1

F

После начала дождя к сечению трубопровода в точке 2 начнет притекать сток сначала от близлежащих площадей, затем стоки будут поступать все с большей площади до тех пор, пока вся площадь F не даст в трубопровод дождевой сток. Можно считать, что, начиная с момента начала выпадения дождя, пока дождевая вода не дотечет до точки 2 от самой удаленной точки площади F расход в сечении трубопровода будет увеличиваться. В дальнейшем добавления площади стока больше не будет, но зато будет снижаться интенсивность дождя, а значит уменьшаться расход. Таким образом, расход дождевого стока в трубопроводе сначала будет расти, а затем падать, а максимальный расход будет наблюдаться при времени протекания воды от самой удаленной точки площади стока до расчетного сечения трубопровода. Зависимость расхода от продолжительности дождя в каком либо сечении трубопровода называется гидрографом стока (рис.18).



Рис.18. Зависимость расхода дождевых вод от продолжительности дождя

в любом сечении трубопровода (гидрограф стока).

Время, при котором наблюдается максимальный расход, называется критическим, а интенсивность дождя, соответствующая этому времени, предельной или расчетной. Метод расчета дождевой сети, основанный на определении интенсивности дождя по критическому времени, предложен П.Ф. Горбачевым и называется “методом предельных интенсивностей”. Критическое время - это расчетная продолжительность дождя, которая находится по формуле:

, где

tcon - время поверхностной концентрации, т.е. время протекания воды от наиболее удаленной точки площади стока до уличного лотка;

tcan - время протекания воды по уличному лотку до первого дождеприемника;

tp - время протекания воды по трубопроводу до расчетного сечения.

По рекомендациям СНиП2.04.03.85 величину tcon следует принимать равной: при отсутствии внутриквартальных сетей 5-10мин, а при наличии - равной 3-5мин.

Продолжительность протекания воды по уличному лотку определяется так:

, мин, где

lcan - длина уличного лотка, м;

- скорость движения воды в конце лотка, м/с.

Продолжительность протекания воды по трубопроводам равна:

, мин, где

lP -длина трубопроводов, м;

- скорость движения воды на соответствующем участке трубопровода, м/с.

## определение периода однократного превышения расчетной интенсивности.

Выбор периода однократного превышения расчетной интенсивности Р оказывает значительное влияние на величину расхода дождевых вод, а, следовательно, на диаметр трубопровода. Если величина Р будет принята небольшой, то переполнение водоотводящей сети и затопление обслуживаемого объекта будет происходить сравнительно часто. При этом возможен и значительный ущерб от затопления. Если величина Р будет принята большой, то переполнение будет происходить редко и ущерб от затопления будет сравнительно небольшим. Однако расчетные расходы, а, следовательно, диаметры трубопроводов будут велики, по сравнению с первым случаем. Поэтому правильный выбор Р дает возможность минимизировать ущерб от затопления при сравнительно низких капитальных затратах на строительство дождевой сети. Назначение этой величины зависит от:

1. рельефа местности;
2. условий прокладки трубопроводов;
3. типа застройки;
4. площади застройки;
5. q20 .

определяют Р по таблице 5 СНиП2.04.03.85.

## коэффициент стока.

Значительная часть выпавшего дождя расходуется на смачивание поверхности и заполнение неровностей. Часть воды фильтруется в грунт, а часть испаряется.

С водонепроницаемых площадей сток начинается сравнительно быстро, с водопроницаемых площадей значительно позже. Для учета воды, которая попадает в водоотводящую сеть, вводят коэффициент стока, который определяется по формуле Н.Н. Белова:

,

zmid - средне взвешенное значение коэффициента покрова.

,

zi - значение коэффициента покрова для поверхностей стока с различным покрытием (табл.9 и 10 СНиП2.04.03.85);

Fi - площади стока с различным покрытием.

## Определение расчетного расхода дождевых вод.

Формула для определения расчетного расхода дождевых вод имеет вид:

, л/с, где

- коэффициент, учитывающий заполнение свободной емкости сети при возникновении напорного режима (табл.11 СНиП2.04.03.85).

подставляя в формулу значение коэффициента стока, получим:

, л/с.

## Проектирование дождевой сети.

Проектирование дождевой сети включает составление схемы водоотводящей сети, гидравлический расчет трубопроводов и других сооружений, построение продольного профиля трубопровода. При проектировании дождевой сети применяется перпендикулярная схема. В соответствии с рельефом местности территория объекта разбивается на бассейны водоотведения. коллекторы бассейнов трассируются по тальвегам и кратчайшим путем к водоемам. Выпуски дождевых вод в водоемы -это сложные и дорогостоящие сооружения. увеличение числа выпусков может вызвать увеличение стоимости строительства, но в тоже время уменьшит диаметры трубопроводов и, следовательно, их стоимость. Поэтому выбор того или иного варианта схемы водоотведения производится на основании технико-экономических расчетов. Трассировку уличных трубопроводов выполняют по объемлющей схеме, по пониженной грани и через квартальную. Выбор схемы трассировки, а также разбивку кварталов на площади стока, тяготеющие к соответствующим участкам трубопровода, производят с учетом рельефа местности.

Выпуски дождевых вод допускается устраивать в овраги, суходолы и маломощные водоёмы, при том необходимо производить поверочные расчеты, чтобы не допускать затопления, заболачивания прилегающих территорий.

Для исключения стекания воды на канализуемую территорию с более высоких мест вокруг этой территории устраиваются перехваты (нагорные канавы) с самостоятельными выпусками в водоем.

Анализ выше приведенных формул показывает, что непосредственное определение расчетных расходов дождевых вод весьма затруднено, так как в формулу входит расчетная продолжительность дождя, зависящая от скорости протекания воды по уличному лотку и трубопроводу. Скорости, в свою очередь, зависят от расхода сточных вод, который неизвестен. Задача может решаться методом подбора или методом последовательного приближения. Метод подбора заключается в следующем. Ориентируясь на уклон поверхности земли, задаются скоростями движения сточных вод  и вычисляют расчетный расход. Затем по полученному расходу выполняют гидравлический расчет трубопровода, т.е. определяют диаметр, скорость и потери напора при наполнении трубопровода близком к полному. Скорость считается принятой правильно, если вычисленный расход и расход, который способен пропустить трубопровод рассчитанного диаметра, отличается не более, чем на 5%. В противном случае расчет повторяют при новых значениях скоростей. Метод последовательного приближения также начинается с принятия скоростей. После определения продолжительности дождя вычисляют в первом приближении расход сточных вод и выполняют гидравлический расчет трубопровода. Зная скорость по результатам гидравлического расчета, уточняют расчетную продолжительность дождя и во втором приближении определяют расход, а затем вновь выполняют гидравлический расчет. Практика показывает, что точность расчета вполне удовлетворительна при двух приближениях.

При определении продолжительности протекания дождевых вод по уличному лотку необходимо иметь значение скорости сточных вод, которое определяется также гидравлическим расчетом уличного лотка.

Допускается определять скорость протекания по лотку и по таблице 3.4.

Таблица 3.4.

Скорости движения дождевых вод по уличным лоткам.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ширина дороги, м  Скорости движения ст. вод, м/с, при продольных уклонах улиц | Характер покрытия | 0,002 | 0,004 | 0,006 | 0,008 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| 6,5 | асфальт  булыжник | 0,4  0,25 | 0,6  0,35 | 0,7  0,4 | 0,8  0,5 | 0,9  0,55 | 1,25  0,75 | 1,8  1,1 |
| 8,5 | асфальт  булыжник | 0,4  0,25 | 0,6  0,35 | 0,7  0,4 | 0,8  0,5 | 0,9  0,55 | 1,3  0,75 | 1,85  1,1 |
| 12,0 | асфальт  булыжник | 0,4  0,25 | 0,6  0,35 | 0,7  0,4 | 0,85  0,5 | 0,9  0,55 | 1,3  0,8 | 1,35  1,1 |

Гидравлический расчет выполняется в табличной форме (таблица 3.5).

Таблица 3.5.

Гидравлический расчет дождевого трубопровода.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № участка  Время протекания, мин | дли-на уча-стка, l,м | площа-дь стока, F,га | к нача-лу уча-стка | по участ-ку | всего | период однократ-ного пре-вышения расчетной интенсивности, Р, лет | Пока-за-тель степе-ни, n | Сред-невзвешен-ная вели-чина, | | Расчетный рас-ход, л/с | | диа-метр тру-бопро-вода, мм | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | 9 | | 10 | | 11 |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |  | |  |

Продолжение таблицы 3.5.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Уклон трубо-прово-да, i  Глубина заложения, м  Отметки лотка, м  Отметки земли, м | Ско-рость, м/с | Уточне-нное время протека-ния, мин | Паде-ние,  i. l , м | в начале участка | в  конце участка | в  начале участка | в конце уч-ка | в  начале участка | в  конце участка |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

уличная сеть разбивается на участки, границами которых, как правило, являются перекрестки улиц. Затем бассейн, обслуживаемый рассчитываемым трубопроводом, разбивается на площади стока, тяготеющие к участкам трубопровода. Непосредственным измерением определяют величины площадей стока в га, дающие расходы на расчетные участки.

Время протекания воды к началу первого участка 1-2 определяется как сумма: , к началу второго участка 2-3, как , где  - уточненное время протекания воды по участку 1-2. Время протекания к началу третьего участка 3-4 - как сумма времени протекания к началу второго участка 2-3 и времени протекания по участку 2-3 и т.д. После определения величин Р (таблица 5 СНиП2.04.03.85), n, mr и (таблица 4 СНиП2.04.03.85), (таблица 11 СНиП2.04.03.85), вычисляют по формуле расчетный расход по одной из вышеописанных методик. По расчетному расходу определяют диаметр трубопровода, скорость движения сточных вод при наполнении близком к максимальному, принимая уклон, равный уклону земли. Если скорость получается меньше самоочищающей, уклон увеличивают до тех пор, пока скорость не станет равной самоочищающей. При расчете отметок лотков и глубин заложения трубопроводов учитывают, что соединение труб на стыках расчетных участков выполняется по шелыгам. Но при уменьшении диаметра на последующем участке соединение приходится выполнять по лоткам.

Начальную глубину заложения определяют по формуле:

Н = 0,7 + 0,02. В/2 + d , где

В - ширина дороги (проезжей части улицы);

d - диаметр трубопровода на первом участке, м.

выполнение продольного профиля дождевого трубопровода (коллектора) производится с теми же требованиями, что и выполнение профиля хозяйственно-фекального трубопровода.

## Расчет дождевой сети с помощью коэффициента уменьшения интенсивности.

Выше описан расчет дождевой сети по методу “предельных интенсивностей”. В инженерной практике применяется расчет дождевой сети с использованием коэффициента уменьшения интенсивности, который представляет собой отношение интенсивности дождя при критической продолжительности к интенсивности дождя при его продолжительности, равной времени поверхностной концентрации стока и времени протекания по уличному лотку, т.е.

.

Принимая во внимание, что  и , коэффициент интенсивности будет равен:  .

при непосредственном расчете дождевой сети для конкретных условий вычисляют tP и . Так как для всех участков рассчитываемого трубопровода величина tcon + tcan  и показатель степени n одинаковы, то  зависит только от tр . тогда формула расчетного расхода примет вид:

.

Известны и другие методики, упрощающие технику расчета дождевой сети.