

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

## **Инженерная гидрология**

Методические указания к выполнению практических заданий  
для студентов направления 08.03.01 – Строительство  
профиля подготовки «Автомобильные дороги и аэродромы»

Белгород  
2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова

Кафедра автомобильных и железных дорог

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

## **Инженерная гидрология**

Методические указания к выполнению практических заданий  
для бакалавров направления 08.03.01 – Строительство  
профиля подготовки «Автомобильные дороги и аэродромы»

Белгород  
2016

УДК 556.048 (07)

ББК 26.22 я 7

И62

Составители: ст. преп. А.С. Погромский

канд. техн. наук, доцент С.А. Гнездилова

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.И. Траутвайн

**Инженерная** гидрология: методические указания к выполнению  
И62 практических заданий / сост.: А.С. Погромский, С.А. Гнездилова. –  
Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 24 с.

В методических указаниях приводятся основные вопросы, рассматриваемые на практических занятиях по дисциплине «Инженерная гидрология», представлены фильтрационные расчеты, расчет водопропускной трубы.

Методические указания предназначены для студентов направления 08.03.01 - Строительство профиля «Автомобильные дороги и аэродромы».

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 556.048 (07)

ББК 26.22 я 7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2016

## 1. Фильтрационные расчеты транспортных сооружений

### 1.1. Основные понятия

**Фильтрацией** называется движение жидкости в пористой среде. Частным случаем фильтрации является движение грунтовых вод. **Грунтовой** или **гравитационной** называется вода, которая заполняет крупные поры грунта и перемещается под действием силы тяжести.

Движение грунтовых вод может быть **напорным**, т. е. без свободной поверхности, и **безнапорным** – со свободной поверхностью, называемой депрессионной. Кривая пересечения свободной поверхности безнапорного фильтрационного потока с вертикальной плоскостью в направлении движения называется кривой депрессии.

В зависимости от размеров и формы частиц и, следовательно, пор грунты обладают различными фильтрационными свойствами, и движение грунтовых вод в них может быть **ламинарным** или **турбулентным**. Вследствие малых значений скоростных напоров при расчетах ламинарной фильтрации гидравлический уклон принимают равным пьезометрическому.

При ламинарном режиме фильтрации потери напора линейно зависят от скорости, что выражается формулой Дарси, называемой законом ламинарной фильтрации или линейным законом фильтрации:

$$v = kI \quad (1.1)$$

или

$$Q = v\omega = k\omega I, \quad (1.2)$$

где  $v$  – скорость фильтрации;  $k$  – коэффициент фильтрации;  $I$  – гидравлический уклон;  $Q$  – расход фильтрационного потока;  $\omega$  – площадь поперечного сечения фильтрационного потока, включающая суммарную площадь пор и площадь зерен грунта в сечении.

**Скорость фильтрации** – это фиктивная скорость фильтрационного потока с действительным значением расхода  $Q$  в предположении, что движение грунтовой воды происходит не только через поры, но и через ту часть площади сечения фильтра  $\omega$ , которая занята зернами грунта.

Гидравлический уклон при равномерном движении фильтрационного потока сохраняется неизменным вдоль пути. При неравномерном плавноизменяющемся движении в связи с нелинейным изменением напора  $H$  гидравлический уклон является величиной переменной  $I = dH / dl$ , причем знак производной определяется выбором направления горизонтальной оси  $x$ .

**Коэффициент фильтрации** зависит от размеров и формы частиц грунта, имеет размерность скорости и представляет собой согласно зависимости (1.1) скорости фильтрации при уклоне  $I = 1$ .

Ориентировочные значения коэффициента фильтрации для различных грунтов приведены в табл. 1.1.

При турбулентном режиме фильтрации в области квадратичного сопротивления, что практически наблюдается в порах каменной наброски, потери напора пропорциональны квадрату скорости, т. е.

$$Q = k\omega\sqrt{I} \quad (1.3)$$

и

$$v = k\sqrt{I} \quad (1.4)$$

Таблица 1.1

### Значения коэффициента фильтрации для различных грунтов

Грунт	$k$ , м/сут
Глина	0,001
Суглинок	0,05–0,10
Супесь, лесс, пылеватые пески	0,10–1,00
Песок мелко- и среднезернистый	1–20
Песок крупнозернистый	10–50
Гравий	50–150

Использование понятия скорости фильтрации предполагает замену при выполнении фильтрационных расчетов реального потока грунтовой воды воображаемой моделью сплошной движущейся недеформируемой среды, занимающей объем не только пор, но и скелета грунта, и имеющей такие же характеристики, как и грунтовая вода.

**Горизонтальный дренаж** широко применяется для понижения уровня грунтовых вод в дорожном, аэродромном, промышленном строительстве, в мелиорации и других отраслях народного хозяйства при неглубоком залегании грунтовых вод и относительно небольшом требуемом водопонижении. Горизонтальный дренаж может быть открытым (канавы, лотки) и закрытым (трубчатым). Закрытый имеет преимущественное распространение, в том числе в аэродромном и дорожном строительстве. Для дренажа обычно используются асбоцементные и керамические трубы диаметром  $d = (100 \div 150)$  мм. Их укладывают в траншеи (при открытом способе производства работ), которые затем заполняют фильтрующим материалом – гравием, щебнем.

Горизонтальный дренаж выполняют в виде *одиночных дрен* или системы дрен – *систематический дренаж*. По условиям работы систематический дренаж отличается взаимным влиянием соседних дрен друг на друга, тогда как при работе одиночной дрены такое влияние отсутствует. Различают дрены *совершенные* – расположенные на водоупоре и *несовершенные* или *висячие* – в толще водоносного слоя. В совершенные дрены грунтовая вода поступает с боковых сторон; в несовершенные, кроме того, – и через дно. При расчете горизонтального дренажа учитывается характер питания. Так, одиночные дрены для водопонижения в строительстве обычно рассчитывают на прием грунтовых вод из водоносного слоя без пополнения атмосферными осадками за счет инфильтрации – просачивания вод атмосферных осадков с поверхности в грунтовую толщу при частичном заполнении пор (в части пор содержится воздух). Расчет системы дрен ведется в предположении, что их питание осуществляется за счет инфильтрации.

Горизонтальным дренам для обеспечения отвода поступающих в них вод придается продольный уклон.

**Вертикальный дренаж** применяется при глубоком залегании уровня грунтовых вод, а также при необходимости значительных понижений уровня и большой мощности водоносного слоя.

Отдельные вертикальные дрены (дренажные колодцы или скважины) применяются, кроме того, для водоснабжения. Дренажные скважины могут быть совершенными – доведенными до водоупора и несовершенными (висячими) – не доведенными до водоупора. Питание совершенных скважин происходит через боковые стенки, несовершенных – через боковые стенки и дно (забой) скважины. При малом значении диаметра дренажной скважины (определяемом применяемым оборудованием для откачки) доля притока в несовершенную скважину через забой мала, поэтому ею обычно при расчете координат кривой депрессии пренебрегают. При этом ошибка ведет к некоторому завышению положения кривой депрессии, получаемого в результате расчета по сравнению с действительным, т. е. в запас. Таким образом, основным расчетным случаем является приток к совершенному дренажному колодцу.

## 1.2. Расчет одиночной совершенной дрены

Рассмотрим случай расположения дрены на горизонтальном водоупоре. При расположении дрены на горизонтальном водоупоре в однородном водопроницаемом грунте наблюдается плоское, симметричное, плавнoизменяющееся движение грунтовых вод к дрeне (рис. 1.1).

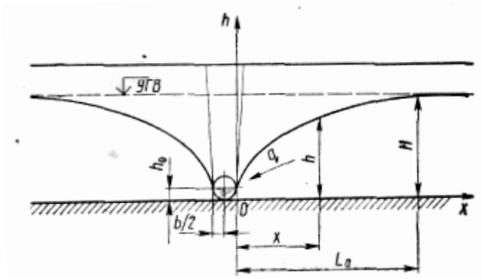


Рис. 1.1. Схема к расчету одиночной совершенной дрены

При выбранном направлении координат имеем  $I = dh / dx$ . Из формулы (1.2) получаем зависимость для построения кривой депрессии

$$h^2 - h_0^2 = \frac{2q}{k} x \quad (1.5)$$

и формулу для определения расхода притока грунтовых вод на 1 м дрены с одной стороны:

$$q = k \frac{H^2 - h_0^2}{2L_0}, \quad (1.6)$$

где  $h$  – глубина потока грунтовых вод в произвольном сечении, м;  $h_0$  – глубина воды в дрене, м;  $q$  – расход грунтовых вод на 1 м длины дрены с одной стороны;  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $x$  – расстояние, измеряемое от края дрены до произвольного сечения с глубиной  $h$ , м;  $H$  – мощность водоносного слоя, м;  $L_0$  – длина влияния дрены – такое расстояние от края дрены ( $x = L_0$ ), при котором глубина грунтового потока равна мощности водоносного слоя ( $h = H$ ), м, т. е. влияние дрены не ощущается:

$$L_0 = \frac{H - h_0}{I_{\text{cp}}} \quad (1.7)$$

где  $I_{\text{cp}}$  – средний уклон кривой депрессии, определяется в зависимости от вида грунта по табл. 1.2.



одной стороны на 1 м верхнего фрагмента дрены  $q = q_1$  определяют по формуле, аналогичной (1.6):

$$q_1 = k \frac{(H-t)^2 - h_0^2}{2L_0}, \quad (1.9)$$

где  $t$  – высота положения висячей дрены над водоупором.

Приток через половину ширины дна  $b/2$  нижнего фрагмента не совершенной дрены равен

$$q_2 = ks q_t, \quad (1.10)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $s = H - (t + h_0)$  – понижение уровня грунтовых вод над дренаем, являющееся напором, под действием которого происходит фильтрация в нижних фрагментах;  $q_t$  – так называемый приведенный фильтрационный расход, определяемый по рис. 1.3 в зависимости от параметров  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$\alpha = \frac{L_0}{(L_0 + b/2)}, \quad (1.11)$$

$$\beta = \frac{L_0}{t}. \quad (1.12)$$

Суммарный приток к не совершенной дрине с одной стороны

$$q = q_1 + q_2. \quad (1.13)$$

Полный расход при длине дрены  $l_0$  определяют по формуле (1.8).

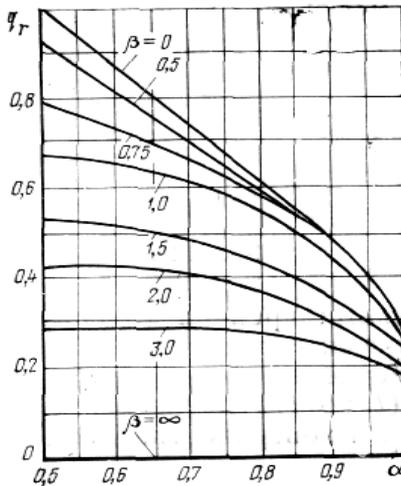


Рис. 1.3. Номограмма для определения параметров  $\alpha$  и  $\beta$

### 1.4. Расчет системы совершенных дрен

Рассмотрим систему параллельных дрен на водоупоре при расстоянии  $L$  между крайними точками соседних дрен (рис. 1.4).

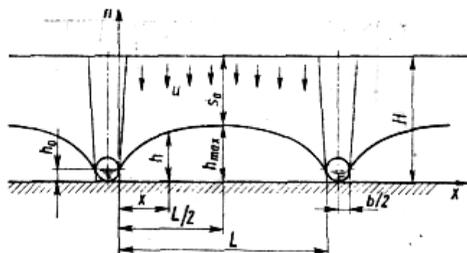


Рис. 1.4. Схема к расчету системы совершенных дрен

Для сечения на расстоянии  $x$ , измеряемого от края дренажа при площади на 1 м длины дренажа  $F = (L/2 - x) \cdot 1$  и интенсивности инфильтрации  $u$ , расход просочившихся поверхностных вод

$$q = Fu = (L/2 - x)u. \quad (1.14)$$

Из условия равенства расхода за счет инфильтрации по зависимости (1.14), расходу грунтового потока в том же сечении на 1 м дренажа по формуле (1.2) после разделения переменных и интегрирования получаем уравнение кривой депрессии:

$$h = \sqrt{\frac{u}{k}(Lx - x^2) + h_0^2}. \quad (1.15)$$

Пренебрегая глубиной воды в дренажах  $h_0 \approx 0$  и для сечения посередине между дренами при  $x = L/2$  и  $h = h_{\max} = H - s_0$ , из формулы (1.15) получаем зависимость для определения расстояния между дренами при заданной норме осушения:

$$L = 2(H - s_0) \sqrt{\frac{k}{u}}, \quad (1.16)$$

где  $H$  – мощность водопроницаемого слоя (от поверхности до водоупора).

### 1.5. Расчет совершенного дренажного колодца

В естественном состоянии при мощности водонасыщенного слоя (пласта)  $H$  свободная поверхность занимает горизонтальное положение. При откачке воды и понижении в скважине уровня вокруг нее возникает

движение воды, вследствие чего свободная поверхность потока образует депрессионную воронку. Если расход откачки постоянен и не превышает расхода притока, депрессионная воронка с течением времени займет неизменное положение и движение станет установившимся. При горизонтальном водоупоре и однородном грунте депрессионная воронка представляет собой осесимметричную поверхность, которую можно рассматривать как образованную вращением кривой депрессии вокруг оси скважины.

Движение грунтовых вод вследствие симметричности воронки депрессии будет направленным по радиусам со всех сторон к центру колодца.

Глубина фильтрационного потока в пределах депрессионной воронки уменьшается от значения  $H$  на расстоянии радиуса влияния колодца  $R$  до глубины  $h_0$  на стенке колодца при его радиусе  $r_0$  (рис. 1.5).

Сечение грунтового потока на произвольном расстоянии  $r$  от оси колодца имеет круглоцилиндрическую форму. Площадь сечения определяется как площадь боковой поверхности цилиндра высотой, равной глубине потока  $h$ , т. е.  $\omega = 2\pi rh$ . При выбранном направлении горизонтальной оси  $Or$  навстречу движению грунтовых вод гидравлический уклон  $I = dh / dr$ . Подставляя значения  $\omega$  и  $I$  в формулу (1.1) и интегрируя, получаем формулу расхода притока грунтовых вод в совершенный дренажный колодец:

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{\ln \frac{R}{r_0}} = 1,365k \frac{H^2 - h_0^2}{\lg \frac{R}{r_0}}. \quad (1.17)$$

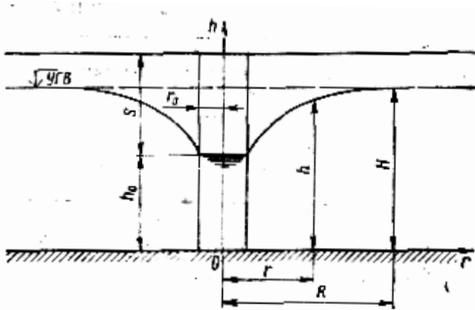


Рис.1.5. Схема к расчету совершенного дренажного колодца (скважины)

Радиус влияния колодца может быть определен по формуле

$$R = 3000s\sqrt{k}, \quad (1.18)$$

где  $s = H - h_0$  – глубина откачки, м;  $k$  – коэффициент фильтрации.

Зависимость для построения кривой депрессии имеет вид:

$$h^2 - h_0^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r}{r_0} = 0,73 \frac{Q}{k} \lg \frac{r}{r_0}. \quad (1.19)$$

## 1.6. Расчет совершенного поглощающего колодца

В дорожном и аэродромном строительстве для сброса поверхностных вод в водоносный слой находят применение *поглощающие колодцы*. Они могут быть совершенными и несовершенными. Дно совершенных колодцев доводится до водоупора, а несовершенных – не доводится. Совершенные поглощающие колодцы работают боковыми стенками. Несовершенные – стенками, стенками и дном или дном.

Депрессионная поверхность совершенного поглощающего колодца в слое однородного водопроницаемого грунта при горизонтальном водоупоре является осесимметричной. Кривая депрессии при  $h_0 > H$  имеет вогнутую форму. При гидравлическом уклоне  $I = -dh/dr$  расход, поглощаемый колодцем, определяется по зависимости, отличающейся от зависимости (1.17) знаком, т. е.

$$Q = 1,365k \frac{h_0^2 - h^2}{\lg \frac{R}{r_0}}, \quad (1.20)$$

где  $R$  – радиус действия поглощающего колодца, определяемый по формуле (1.18), м;  $r_0$  – радиус поглощающего колодца, м.

## 2. Расчет водопропускной трубы

### 2.1. Подготовка исходных данных

Перед выполнением расчетов по подбору отверстия водопропускной трубы необходимо определить характеристики водосборного бассейна.

Водосборный бассейн оконтуривается по карте в горизонталях, при помощи палетки или планиметром определяется его площадь  $F$ , км<sup>2</sup>, вычисляются параметры главного лога (длина  $L$ , уклон  $I_n$ ). Схематично водосборный бассейн водопропускной трубы представлен на рис. 2.1.

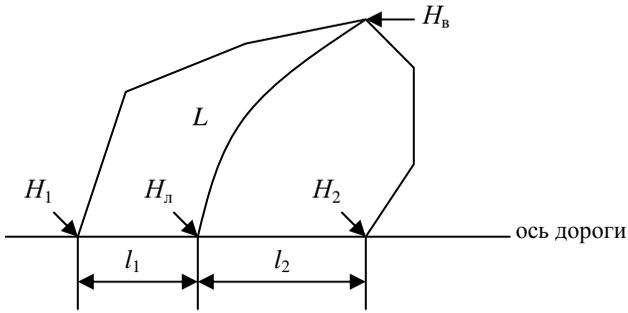


Рис. 2.1. Схема водосборного бассейна:

$L$  – длина главного лога;  $H_в$  – отметка самой высокой точки главного лога;  $H_л$  – отметка земли по оси дороги в месте устройства водопропускного сооружения;  $H_1$  и  $H_2$  – отметки земли по оси дороги в месте примыкания к ней границ водосборного бассейна соответственно слева и справа;  $l_1$  и  $l_2$  – расстояния от места устройства водопропускного сооружения до места примыкания к оси дороги границ водосборного соответственно слева и справа

Уклон главного лога рассчитывается по формуле

$$I_л = \frac{H_в - H_л}{L}. \quad (2.1)$$

Кроме того, определяется площадь лесов  $F_л$ , болот и озер  $F_б$ , находящихся в пределах площади водосборного бассейна  $F$ . По карте рис. 2.2 определяется номер ливневого района, по табл. 2.1 – вероятность превышения максимального расхода стока.

Таблица 2.1

### Вероятность превышения паводка

Сооружения	ВП, %
Постоянные мосты на дорогах I–III категорий и трубы на дорогах I категории	1
Постоянные мосты на дорогах IV и V категорий и трубы на дорогах II и III категорий	2
Деревянные мосты и трубы на дорогах IV и V категорий	3

## 2.2. Определение максимального расхода от стока ливневых вод

Максимальный расход от стока ливневых вод определяется по формуле

$$Q_{л} = 16,7a_{ч}F\alpha k_t\varphi, \quad (2.2)$$

где  $a_{ч}$  – интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин;  $F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент потерь стока;  $k_t$  – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной;  $\varphi$  – коэффициент редукции.

Интенсивность ливня часовой продолжительности  $a_{ч}$  определяется по табл. 2.2.

Таблица 2.2

### Интенсивность ливня часовой продолжительности

Номер ливневого района	Часовая интенсивность ливня $a_{ч}$ , мм/мин, при ВП, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,29	0,41	0,47	0,52	0,58	0,70	0,95	1,15
4	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	1,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,85	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,73
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,77
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65

Коэффициент потерь стока  $\alpha$  определяется по табл. 2.3.

Таблица 2.3

### Коэффициент потерь стока

Вид и характер поверхности	Коэффициент $\alpha$ при площадях водосбора, км <sup>2</sup>		
	0 – 1	1 – 10	10 – 100
Асфальт, бетон скала без трещин	1,0	1,0	1,0
Жирная глина	0,70–0,95	0,65–0,95	0,65–0,90
Суглинки	0,60–0,90	0,55–0,80	0,50–0,75
Чернозем	0,55–0,75	0,45–0,70	0,35–0,65
Супеси, степные почвы	0,30–0,55	0,20–0,50	0,20–0,45
Песчаные, гравелистые, почвы	0,20	0,15	0,10



Коэффициент  $k_t$  определяется по табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Коэффициент  $k_t$**

$L, \text{ км}$	Значения коэффициента $k_t$ при уклоне главного лога $I_n$							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,15	4,25							
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,70	3,93					
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05			
1,00	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,50	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
2,00	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,08	3,27
2,50	0,63	0,92	1,37	2,02	2,26	2,44	2,65	2,80
3,00	0,56	0,82	1,21	1,79	2,00	2,16	2,34	2,49
3,50	0,50	0,74	1,10	1,62	1,81	1,95	2,12	2,31
4,00	0,46	0,68	1,00	1,48	1,65	1,78	1,94	2,11
4,50	0,42	0,62	0,93	1,37	1,53	1,65	1,78	1,95
5,00	0,40	0,58	0,86	1,27	1,42	1,54	1,67	1,82
6,00	0,35	0,52	0,76	1,13	1,26	1,36	1,48	1,68
7,00	0,32	0,47	0,69	1,02	1,14	1,23	1,33	1,45
8,00	0,29	0,43	0,63	0,93	1,04	1,12	1,22	1,33
9,00	0,27	0,39	0,58	0,86	0,96	1,04	1,13	1,23
10,00	0,25	0,37	0,54	0,80	0,90	0,97	1,05	1,14

Коэффициент редукции  $\phi$  определяется по формуле

$$\phi = \frac{1}{\sqrt[4]{10F}} . \quad (2.3)$$

Объем ливневого стока определяется по формуле

$$W = 60\,000 a_n \frac{F}{\sqrt{k_t}} \alpha \phi . \quad (2.4)$$

**2.3. Определение максимального расхода от стока талых вод**

Максимальный расход от стока талых вод определяется по формуле

$$Q_r = \frac{K_0 h_p F}{(F+1)^n} \delta_1 \delta_2 , \quad (2.5)$$

где  $K_0$  – коэффициент дружности половодья;  $h_p$  – расчетный слой стока, мм;  $n$  – показатель степени;  $\delta_1$  – коэффициент залесенности бассейна;  $\delta_2$  – коэффициент, учитывающий озерность бассейна.

Коэффициент  $K_0$  и  $n$  определяются по табл. 2.5.

Таблица 2.5

Таблица значений  $K_0$  и  $n$ 

Географический район	$n$	$K_0$
<i>Лесотундровая зона</i>		
Европейская территория и Восточная Сибирь	0,17	0,010–0,006
Западная Сибирь	0,25	0,103–0,010
<i>Лесостепная и степная зоны</i>		
Европейская территория	0,25	0,020–0,012
Северный Кавказ	0,25	0,030–0,025
Западная Сибирь	0,25	0,030–0,015

Расчетный слой стока  $h_p$  определяется по формуле:

$$h_p = hK_p, \quad (2.6)$$

где  $h$  – средний слой стока, мм, определяемый по карте рис. 2.3;  $K_p$  – модульный коэффициент.

Для водосборных бассейнов с площадью  $F < 100 \text{ км}^2$  в полученное по карте рис. 2.3 значение  $h$  необходимо ввести поправочный коэффициент: 1,1 – при холмистом рельефе и глинистых почвах; 0,9 – при равнинном рельефе и песчаных почвах; 0,5 – при особо больших потерях стока (основные леса на песках).

Модульный коэффициент  $K_p$  определяется по графикам рис. 2.4 в зависимости от ВП, %, коэффициента вариации  $C_v$  и коэффициента асимметрии  $C_s$ . Коэффициент вариации устанавливается по карте (рис. 2.5), причем в полученное значение необходимо ввести поправочный коэффициент 1,25 при  $F = 0 \dots 50 \text{ км}^2$ , 1,20 – при  $F = 51 \dots 100 \text{ км}^2$ . Коэффициент асимметрии  $C_s$  для равнинных водосборов принимают равным  $C_s = 2C_v$ , для северо-запада и северо-востока страны, где выпадает значительное количество осадков  $C_s = 3C_v$ , для горных районов  $C_s = (3 \div 4) C_v$ .

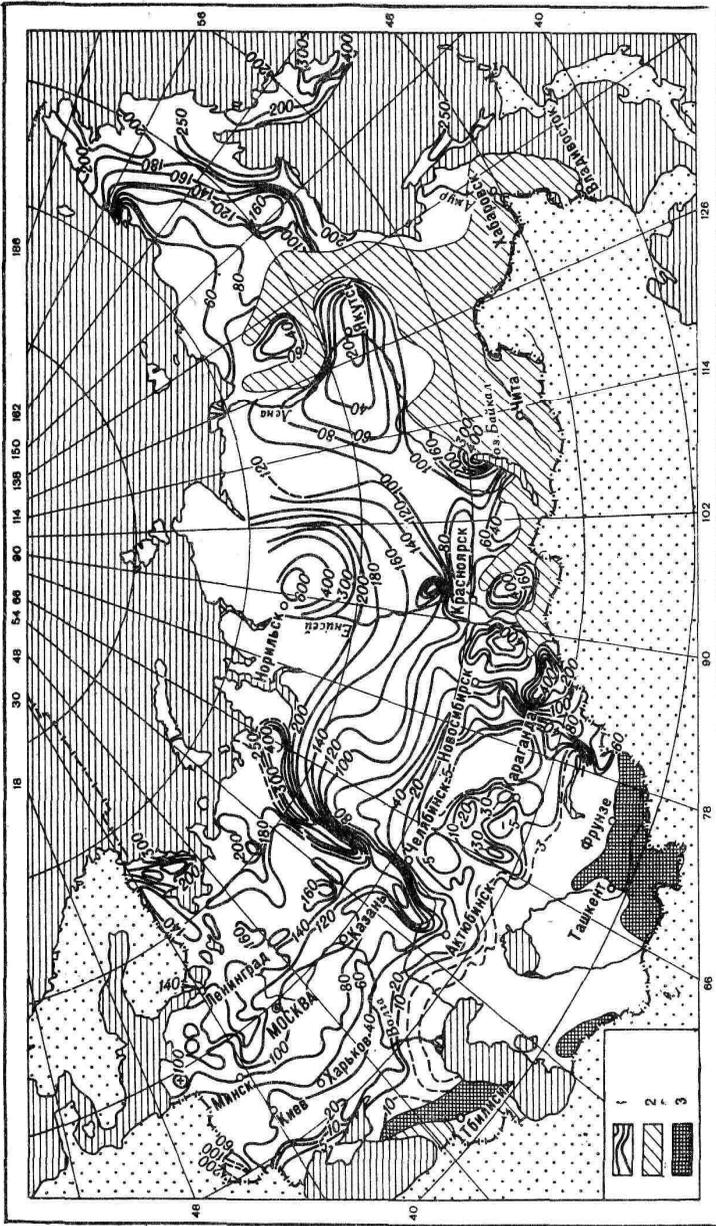


Рис. 2.3. Карта средних словес стока талых вод

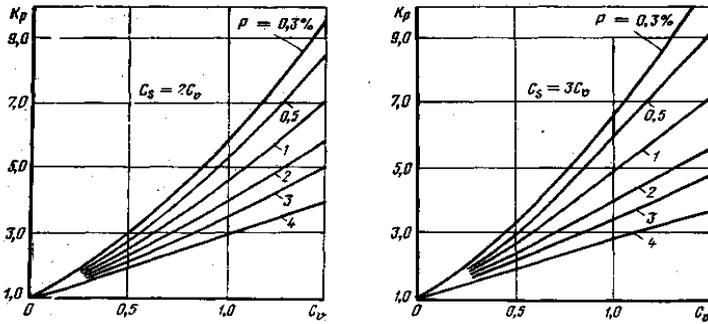


Рис. 2.4. Графики для определения модульного коэффициента

Коэффициент  $\delta_1$ , учитывающий залесенность бассейна, определяют по табл. 2.6 в зависимости от параметра  $\beta$ :

$$\beta = 5 \frac{F_{\text{л}}}{F} + 10 \frac{F_{\text{г}}}{F} + 1. \quad (2.7)$$

Коэффициент  $\delta_2$ , учитывающий озерность бассейна, определяется по табл. 2.7.

Таблица 2.7

Таблица для определения  $\delta_2$ 

Озерность, %	2–5	5–10	10–15	> 15
$\delta_2$	0,90	0,80	0,75	0,70

Таблица 2.6

Таблица для определения  $\delta_1$ 

$\beta$ (целые числа)	$\beta$ (десятые доли)				
	0	2	4	6	8
	$\delta_1$				
1	1	0,94	0,88	0,84	0,80
2	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64
3	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54
4	0,52	0,50	0,48	0,47	0,46
5	0,44	0,43	0,42	0,40	0,39
6	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33
7	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29

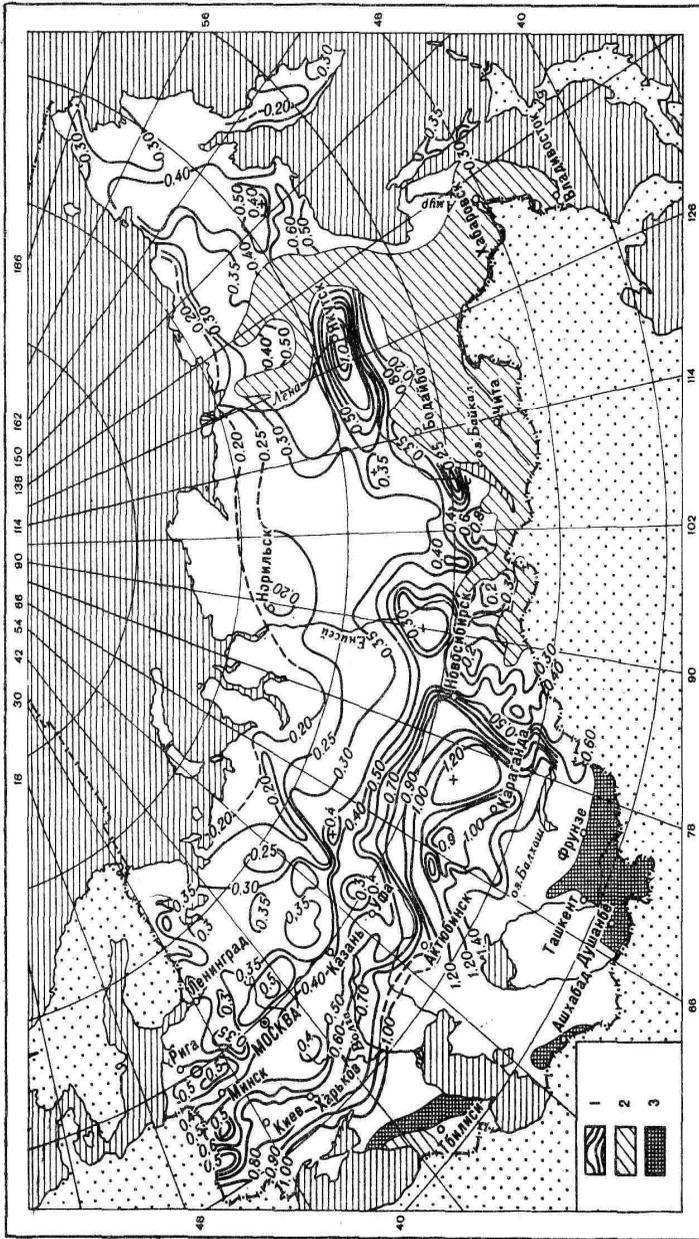


Рис. 2.5. Карта коэффициентов вариации слес стока талых вод

За расчетное значение расхода, по которому устанавливают отверстие водопропускного сооружения  $Q_p$  принимается большее из значений  $Q_d$  и  $Q_T$ .

## 2.4. Проектирование водопропускной трубы

### 2.4.1. Подбор отверстия типовой трубы

Если в качестве расчетного расхода принят максимальный расход от стока талых вод, либо выполняется одно из следующих условий, расчет ведут без учета аккумуляции (образования пруда перед трубой для уменьшения ее отверстия):

- на бассейнах с очень большими уклонами главного русла;
- при небольших расчетных расходах воды с обычным режимом работы сооружения;
- в тех случаях, когда прудом могут быть затоплены большие площади ценных сельскохозяйственных земель.

В этих случаях отверстие водопропускных труб подбирают по таблицам гидравлических характеристик типовых труб для безнапорного режима работы [1]. При этом необходимо следить, чтобы табличный расход был равен или незначительно больше расчетного, а соответствующая расчетному расходу глубина воды перед трубой была меньше глубины лога у сооружения  $h_d = (\text{меньшее из } H_1 \text{ и } H_2) - H_d$ . При невыполнении данного условия снижают расход, принимая двух-, трехчочковые трубы. Расчетный расход на одно очко составляет:  $Q_{p2} = Q_p / 2$  – для двухчочковых труб,  $Q_{p3} = Q_p / 3$  – для трехчочковых труб.

Если условия водосборного бассейна перед трубой позволяют создать пруд, дальнейший расчет ведется с учетом аккумуляции графоаналитическим способом в следующей последовательности:

1. Уклон лога у сооружения  $i_c$  определяется как уклон между точками, расположенными выше и ниже на 50 м осевой точки трубы.
2. Параметры лога определяются по его поперечному сечению.
3. На графике пропускных способностей труб строят два отрезка прямых аккумуляции:

1-й отрезок соединяет значения  $0,62Q_d$  и  $W/a$  и соответствует недопустимым степеням аккумуляции;

2-й отрезок соединяет значения  $Q_d$  и  $(0,7W)/a$  и соответствует допустимым степеням аккумуляции.

Определяют расход с учетом аккумуляции  $Q_a$  и подпор воды перед трубами  $H$  для различных значений отверстия трубы.

4. Устанавливают режим работы труб:

- если  $H / h_{\text{вх}} \geq 1,4$  – напорный режим;
- если  $H / h_{\text{вх}} \leq 1,2$  – безнапорный режим;
- если  $H / h_{\text{вх}} > 1,2$  – полунанпорный режим,

где  $h_{\text{вх}}$  – высота входного звена трубы (принимается по таблицам геометрических размеров труб).

В качестве расчетного принимают отверстие трубы с безнапорным режимом работы.

5. Устанавливается скорость на выходе из трубы:

$$v_{\text{вых}} = 0,85\sqrt{gH}. \quad (2.8)$$

#### 2.4.2. Определение минимальной высоты насыпи над трубой

Минимальная высота насыпи при безнапорном режиме  $H_{\text{min}}$ , обеспечивающая размещение трубы, зависит от высоты или диаметра трубы  $h_{\text{тр}}$ , толщины плиты перекрытия или толщины звена, толщины засыпки,  $\Delta$ :

$$H_{\text{min}} = h_{\text{тр}} + \delta + \Delta, \quad (2.9)$$

где  $h_{\text{тр}}$  – высота или диаметр трубы, м;  $\delta$  – толщина звена трубы, м;  $\Delta$  – толщина засыпки трубы, м.

Толщина засыпки принимается равной толщине дорожной одежды, но не менее 0,5 м при безнапорном режиме работы трубы.

#### 2.4.3. Определение длины трубы

Длина трубы зависит от высоты насыпи у трубы  $H_{\text{нас}}$  которая определяется по продольному профилю после его проектирования и которая должна быть не менее минимальной высоты насыпи у трубы  $H_{\text{нас}} \geq H_{\text{min}}$ .

При высоте насыпи  $H_{\text{нас}} \leq 6,0$  м длина трубы без оголовков определяется по формуле

$$l = \left[ \frac{0,5B + m(H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 + mi_{\text{тр}}} + \frac{0,5B + m(H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 - mi_{\text{тр}}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (2.10)$$

где  $B$  – ширина земляного полотна, м;  $m$  – коэффициент заложения откоса насыпи земляного полотна;  $i_{\text{тр}}$  – уклон трубы (принимается равным уклону лога у сооружения  $i_c$ );  $n$  – толщина стенки оголовка, м;  $\alpha$  – угол между осью дороги и трубы.

При высоте насыпи  $H_{\text{нас}} > 6,0$  м длина трубы без оголовков определяется по формуле

$$l = \left[ \frac{0,5B - 1,5 + 1,75(H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 + 1,75i_{\text{тр}}} + \frac{0,5B - 1,5 + 1,75(H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 - 1,75i_{\text{тр}}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha}. \quad (2.11)$$

Окончательная длина трубы без оголовков  $l$  определяется с учетом унификации размеров железобетонных элементов труб (звеньев).

Полная длина трубы с оголовками

$$L_{\text{тр}} = l + 2M, \quad (2.12)$$

где  $M$  – длина оголовка, м.

### 2.3.4. Назначение укрепления у трубы

Скорость потока при растекании за трубой:

$$v = 1,5v_{\text{вых}}. \quad (2.13)$$

Тип укрепления принимают в зависимости от  $v$ , а геометрические характеристики укрепления для трубы принимают по [1].

### Библиографический список

1. Красильщиков, И.М. Проектирование автомобильных дорог / И.М. Красильщиков, Л.В. Елизаров. – М.: Транспорт, 1986. – 215 с.
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*(с изменением №2). – Введ. 1.01.2013. – М.: ГУП ЦПП, 2013. – 58 с.
3. Примеры гидравлических расчетов: учеб. пособие для вузов / под ред. Н.М. Константинова. – М.: Транспорт, 1987. – 440 с.

**Оглавление**

1. Фильтрационные расчеты транспортных сооружений.....	3
1.1. Основные понятия.....	3
1.2. Расчет одиночной совершенной дрены.....	5
1.3. Расчет одиночной несовершенной дрены.....	7
1.4. Расчет системы совершенных дрен .....	9
1.5. Расчет совершенного дренажного колодца.....	9
1.6. Расчет совершенного поглощающего колодца.....	11
2. Расчет водопропускной трубы.....	11
2.1. Подготовка исходных данных.....	11
2.2. Определение максимального расхода от стока ливневых вод..	12
2.3. Определение максимального расхода от стока талых вод.....	15
2.4. Проектирование водопропускной трубы.....	20
2.4.1. Подбор отверстия типовой трубы.....	20
2.4.2. Определение минимальной высоты насыпи над трубой..	21
2.4.3. Определение длины трубы.....	21
2.4.4. Назначение укрепления у трубы.....	22
Библиографический список.....	22

Учебное издание

## **Инженерная гидрология**

Методические указания к выполнению практических заданий  
для студентов направления 08.03.01 – Строительство  
профиля подготовки «Автомобильные дороги и аэродромы»

Составители: **Погромский** Алексей Сергеевич  
**Гнездилова** Светлана Александровна

Подписано в печать 02.12.16.      Формат 60x84/16.      Усл.печ.л. 1,4.      Уч-изд.л. 1,5.  
Тираж 40 экз.      Заказ      Цена  
Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46