

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

Л.И. САМОЙЛОВА

ПРОЕКТ МАЛОГО ИСКУССТВЕННОГО СООРУЖЕНИЯ

Учебное пособие

Владимир 2006

УДК 625.74
ББК 39.311 : 26.22
С17

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент, начальник проектно-сметного отдела,
зам. директора Государственного унитарного предприятия Владимирской
области «Специальное дорожное ремонтно-строительное управление»
А.А. Лебедев

Кандидат технических наук, доцент кафедры строительства
и эксплуатации дорог Московского автомобильно-дорожного института
(государственного технического университета)
А.П. Лунанов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Самойлова, Л. И.

С17 Проект малого искусственного сооружения : учеб. пособие / Л. И. Са-
мойлова ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та,
2006. – 44 с.

ISBN 5-89368-647-0

Приведены справочные сведения по гидрологическому и гидравлическому расче-
там малых искусственных сооружений. Содержит положения по определению макси-
мального расхода ливневых и талых вод, размера отверстия трубы с учетом аккумуля-
ции. Рассмотрены вопросы, возникающие при проектировании труб: укрепление русел,
определение руководящей отметки насыпи. Даны рекомендации по компоновке трубы
и определению длины сооружения, подсчету объемов работ по строительству трубы.

Предназначены для студентов очной, заочной форм обучения специальности
270205 – автомобильные дороги и аэродромы при выполнении курсовой работы и ди-
пломного проекта по дисциплинам «Инженерная гидрология», «Инженерные сооруже-
ния в транспорте». Может быть полезным также для работников проектных организа-
ций, занимающихся проектированием искусственных сооружений.

Табл. 3. Ил. 13. Библиогр.: 13 назв.

УДК 625.74
ББК 39.311 : 26.22

ISBN 5-89368-647-0

© Владимирский государственный
университет, 2006

Введение

При строительстве автомобильных дорог широко используют малые искусственные сооружения (МИС), к которым относят водопропускные трубы и малые мосты протяженностью до 25 м.

В пособии рассмотрены методы исследования гидрогеологических и гидроморфологических условий строительства автомобильных дорог, а также гидравлического расчета водопропускных сооружений. Геометрические размеры труб и мостов определяют на основе расчетов:

- *гидрологических*, определение расходов воды;
- *гидравлических*, определение размеров отверстий искусственных сооружений и уровней воды;
- *морфометрических*, определение скорости течения в зависимости от шероховатости и геометрических размеров русел для оценки распределения расходов воды в живом сечении русел;
- *русловых*, прогнозирование опасных деформаций русел (размывы, наносы), расчет искусственного уширения русла и назначение укрепительных сооружений;
- *специальных*, определение руководящей отметки насыпи над искусственным сооружением, длины сооружения; оценка воздействия на окружающую среду.

Трубы устраивают в местах пересечения автомобильной дороги с периодически действующим водотоком (суходолом), оврагами, ручьями, с постоянно действующим водотоком при температуре воздуха в январе не ниже -13°C и при отсутствии ледохода, карчехода, наледей, селевых потоков. Среднее количество труб на 1 км дороги составляет в пустынях 0,3, горах 2, в остальных местах 1 шт.

Трубы располагают перпендикулярно к оси дороги под насыпью в пониженных местах продольного профиля с целью пропустить поверхностную воду от снеготаяния, ливней и дождей с верховой стороны дороги на другую низовую сторону. Труба – это комплекс инженерного сооружения, состоящего из звеньев средней части трубы, входного и выходного оголовков, фундамента, укрепления русла, земляного полотна на подходах и над трубой.

Преимущество применения труб перед мостами:

- низкая стоимость (8 – 15 % стоимости дороги);
- трубы не изменяют условия движения автомобиля по дороге;
- их можно располагать:
 - при любых сочетаниях плана и продольного профиля, подчиняя направлению трассы;
 - любых высотах насыпи;
 - любых углах пересечения водотока с дорогой;
- не требуют изменения конструкции дорожной одежды.

1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИС

1.1. Водосбор и его характеристики

Водосбором (бассейном) называют территорию, с которой притекает поверхностная вода от снеготаяния, ливней, дождей к рассматриваемому участку дороги или к водопропускному сооружению (рис. 1).

Бассейн ограничен *водоразделом* – линией, от которой сток воды происходит в обе стороны. Линия водораздела пересекает горизонтали под прямым углом.

Границу водосбора устанавливают по карте в горизонталях, которую берут из курсового проекта № 1 по дисциплине «Изыскание и проектирование автомобильных дорог».

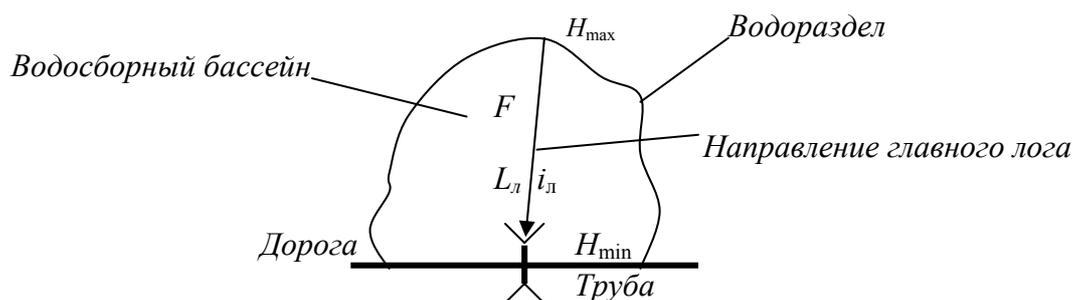


Рис. 1. План водосборного бассейна

Определяют характеристики бассейна по карте:

- вид грунта;
- наличие и площадь леса $F_{л}$ на поверхности водосбора, км²;
- наличие и площадь болота $F_{б}$ на поверхности водосбора, км²;
- площадь водосборного бассейна F , км²;
- длину главного лога $L_{л}$, км;
- средний уклон главного лога $i_{л}$, ‰.

Площадь водосбора, леса или болота определяют планиметром или палеткой. Длину главного лога $L_{л}$ измеряют по карте по линии главного тальвега. Средний уклон главного лога определяют по формуле

$$i_{л} = (H_{\max} - H_{\min}) / L_{л}, \quad (1)$$

где H_{\max} , H_{\min} – максимальная и минимальная отметка главного лога.

1.2. Определение максимального расхода вод

МИС напряженно работает на пропуск воды несколько часов в год. На основе изучения режима дождевого и снегового стока с бассейна, чтобы установить размеры МИС, необходимо определить расчетный расход воды Q , притекающей к сооружению:

- мгновенный *ливневого стока* $Q_{\text{л}}$ (период стояния уровня менее суток);
- среднесуточный *талых вод* $Q_{\text{т}}$ (период стояния уровня более суток).

Так как трудно учесть ход дождя во времени, ход снеготаяния, впитывание воды в почву, при расчетах для определения объемов и расходов вод используют теоретико-эмпирические зависимости с учетом гидрометрических факторов, в которых неизбежны различные условности и значительные погрешности.

Гидрограф стока – график изменения расхода воды Q во времени t , может быть:

- *треугольным*, когда приток воды к МИС происходит от ливней с достаточно больших площадей (рис. 2, а);
- *трапецидальным*, когда приток воды к МИС происходит от снеготаяния с больших площадей (рис. 2, б).

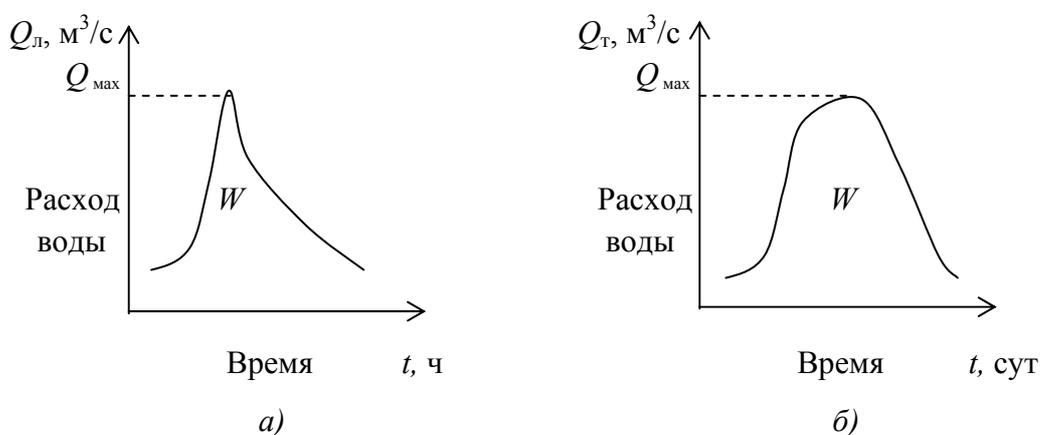


Рис. 2. Гидрограф стока: а – треугольный; б – трапецидальный;
 Q_{max} – максимальный, полный сток или длительный приток воды с постоянным расходом; W – объем стока вод (площадь фигуры)

Одновременно рассчитывают максимальный расход $Q_{\text{л}}$ ливневого стока и $Q_{\text{т}}$ талых вод. Для определения размера отверстия МИС за расчетный расход принимают большее из найденных значений. Для средней полосы России обычно это расход $Q_{\text{л}}$ ливневого стока ($Q_{\text{т}} < Q_{\text{л}}$). Если одной трубы недостаточно для пропуска расчетного расхода, то укладывают две или три трубы.

1.3. Расход ливневых вод

Для треугольного гидрографа (см. рис. 2, а), когда максимальный расход наблюдается короткое время, т.е. менее суток, расход ливневых вод определяется по формуле

$$Q_{\text{л}} = 16,7 a_{\text{расч}} F \alpha \varphi = 16,7 K_t a_{\text{час}} F \alpha \varphi, \quad (2)$$

где $Q_{\text{л}}$ – максимальный расход ливневых вод, м³/с; $a_{\text{расч}}$ – расчетная интенсивность ливня, мм/мин; F – площадь водосбора, км²; α – коэффициент потерь стока, зависящий от вида грунта на поверхности водосбора, принимаемый по [1, 3, 5, 8], $\alpha = 0,1 - 0,2$ для песков, $\alpha = 0,5 - 0,8$ для суглинков; φ – коэффициент редукции, учитывающий неполноту водоотдачи при больших площадях и вычисляемый по формуле

$$\varphi = 1 / \sqrt[4]{10 F}, \quad (3)$$

где $\varphi = 1$ для $F = 0,1$ км²; $\varphi = 0,272$ для $F = 30$ км²; $\varphi = 0,244$ для $F = 50$ км².

Установлено, что впитыванием воды в грунт при расчетах расхода вод можно пренебречь, $\alpha = 1$, так как капли сильного ливня “забивают” грунт и впитывание практически отсутствует.

$$a_{\text{расч}} = K_t a_{\text{час}},$$

где $a_{\text{час}}$ – средняя интенсивность ливня часовой продолжительности. Дожди с интенсивностью более 0,5 мм/мин принято относить к ливням.

Эти ливни хорошо изучены по данным гидрометрических наблюдений. Союздорпроектом разработана карта ливневого районирования России, по которой [1, 3, 5, 8] или рис. П1 устанавливаются номер ливневого района. По табл. П1 определяют интенсивность ливня часовой продолжительности в зависимости от вероятности превышения p .

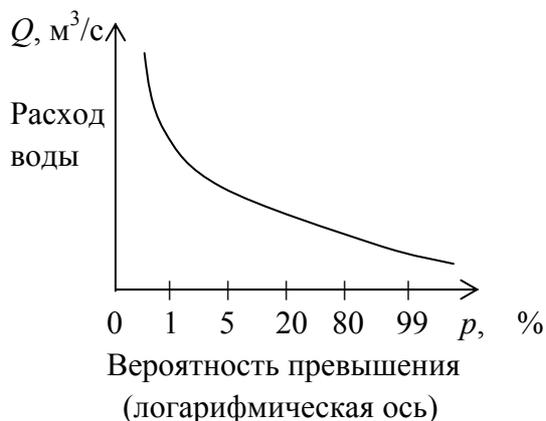


Рис. 3. Функция распределения расходов воды

Ежегодные колебания расходов и уровней воды подчиняются закону больших чисел, поэтому используют теорию вероятностей.

Вероятность превышения p определяется по формуле

$$p = m / (n + 1) 100 \%,$$

где m – порядковый номер члена ряда в убывающем порядке; n – общее число членов ряда.

Вероятность превышения расчетного паводка для МИС принимается равной, %: $p = 1$ для I категории дорог, $p = 2$ для II, III категорий дорог, $p = 3 - IV, V$ категорий дорог; для средних и больших мостов: $p = 1$ для I, II, III категорий дорог, $p = 2 - IV, V$ категорий дорог.

Способ определения расчетной интенсивности ливня основан на принципе “предельных интенсивностей”, разработанном МАДИ, и на использовании гидрометрических характеристик, установленных Союздорпроектом. За расчетную, самую опасную продолжительность ливня t принимают время добегания воды, выпавшей в начале ливня, от наиболее удаленной точки бассейна до дороги или МИС:

$$t = L_{\text{л}} / v ,$$

где v – скорость добегания воды, км/мин; $v = 0,2 i_{\text{л}}^{1/4}$ для задернованных поверхностей.

$$K_t = (60 / t)^{2/3} = (60 v / L_{\text{л}})^{2/3} = 5,5 i_{\text{л}}^{1/6} / L_{\text{л}}^{2/3} ,$$

где K_t – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной, принимается по табл. П2 в зависимости от длины $L_{\text{л}}$ и среднего уклона главного лога $i_{\text{л}}$.

При продолжительности ливня менее 5 мин коэффициент K_t достигает максимального значения $K_t = 5,24$, этому соответствует полный сток $Q_{\text{пс}}$.

Объем ливневого стока определяется по формуле

$$W_{\text{л}} = F h_{\text{л}} = 60\,000 a_{\text{час}} \alpha \varphi F / \sqrt{K_t} , \quad (4)$$

где $W_{\text{л}}$ – объем ливневого стока, м³; $h_{\text{л}}$ – толщина слоя ливневого стока, определяемая по формуле

$$h_{\text{л}} = K_t a_{\text{час}} \alpha \varphi t = K_t a_{\text{час}} \alpha \varphi L_{\text{л}} / v .$$

1.4. Расход талых вод

Согласно СНиП 2.01.14-83 [1] на водосборах площадью менее 20 тыс. км² для трапецеидального гидрографа (см. рис. 2, б), когда максимальный расход наблюдается длительное время, т.е. более суток, расход талых вод определяют по формуле

$$Q_{\text{т}} = k h_{\text{т}} K_{\text{р}} F \delta_1 \delta_2 \delta_3 / (F + 1)^n , \quad (5)$$

где $Q_{\text{т}}$ – максимальный расход талых вод, м³/с; k – коэффициент дружности половодья [1, 5, 8], $k = 0,01$ для лесных районов, $k = 0,02$ для лесостепи,

$k = 0,03$ для степей, $k = 0,06$ для пустыни, $k = 0,001 - 0,004$ для рек; h_T – средняя толщина слоя стока талых вод, принимаемая по карте (рис. П2), мм; K_p – коэффициент перехода к расчетной толщине слоя стока с вероятностью p рис. П3 в зависимости от коэффициента вариации C_v (рис. П4); $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – коэффициенты, учитывающие потери стока при наличии леса или заболоченности на поверхности водосборного бассейна, совместное влияние болот и лесов; n – показатель степени, принимаемый равным 0,17 для северных регионов, 0,25 для средней полосы России, 0,35 для южных районов, 0,15 для гор.

$$\delta_1 = 1 - \kappa_1 \lg (1 + F_{л} / F) ,$$

$$\delta_2 = 1 - \kappa_2 \lg (1 + 0,1 F_{б} / F) ,$$

$$\delta_3 = 1 - 0,6 \lg (1 + 0,1 F_{б} / F + 0,05 F_{л} / F) ,$$

где $F_{л}, F_{б}$ – площадь лесов и болот на поверхности водосборного бассейна соответственно; κ_1, κ_2 – коэффициенты, $\kappa_1 = 0,2 - 0,3$ для южной зоны, $\kappa_1 = 0,4 - 0,5$ для средней полосы России; $\kappa_1 = 0,7$ для Сибири; $\kappa_2 = 0,6$ для верховых болот, $\kappa_2 = 0,7 - 0,9$ для низовых болот.

Коэффициент вариации C_v слоя стока половодий определяется по карте [1, 5, 8]. Затем по номограмме в зависимости от вероятности превышения p находят K_p , где для средней полосы России – $2C_v$, для северных регионов – $3C_v$, для гор – $4C_v$.

2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИС

2.1. Расчет пропускной способности труб

Режимы протекания воды в трубах зависят от напора воды перед трубой и типа оголовка трубы на входе (рис. 4). Различают следующие режимы протекания воды в трубах:

1. *Безнапорный* при оголовках с нормальным звеном (рис. 4, в). Труба работает на входе как водослив с широким порогом. Напор воды H на входе меньше высоты трубы h_t или превышает менее чем на 30 %. На всем протяжении трубы уровень воды не превышает $0,75 - 0,8 h_t$. Поток воды имеет свободную поверхность соприкосновения с воздухом на всем протяжении сооружения. На входе в трубе в сжатом сечении возникает гидравлический прыжок, h_c – глубина в сжатом сечении. Безнапорный – самый благоприятный режим, так как не дает размыва грунта русла на выходе. При проектировании МИС следует отдавать предпочтение данному режиму протекания воды в трубе.

2. *Полунапорный* при оголовках с нормальным звеном (рис. 4, в). Аналог – течение из-под щита. На входе труба затоплена и работает полным сечением. Напор воды H превышает высоту трубы h_t более чем на 30 %. Из-за прорыва воздуха через воронку на входе поток воды имеет свободную поверхность соприкосновения с воздухом на всем протяжении трубы. Явление исчезновения и появления воронки повторяется. Труба работает неустойчиво то в напорном, то в безнапорном режиме. Данный режим протекания воды в трубе применяют как исключение при условии принятия конструктивных мер по обеспечению устойчивости труб, земляного полотна против фильтрации воды.

3. *Напорный* при оголовках с коническим звеном обтекаемой формы (рис. 4, г). Аналог – течение воды в трубопроводе. На входе и на всем протяжении труба работает полным сечением. Напор H превышает высоту трубы h_t более чем на 40 %, и поток воды не имеет свободной поверхности соприкосновения с воздухом. У выхода из трубы поток воды может иметь свободную поверхность. Напорный режим может возникать периодически и при оголовках с нормальным звеном. Рекомендуется применять напорные трубы при пересечении глубоких логов с крутыми склонами и высокими насыпями.

Участок водотока до сооружения называется верхним бьефом, за сооружением – нижним. Энергия потока воды в верхнем бьефе больше, чем в нижнем. Сопряжение бьефов – это явление перехода из верхнего бьефа в нижний, сопровождающееся, как правило, гидравлическим прыжком.

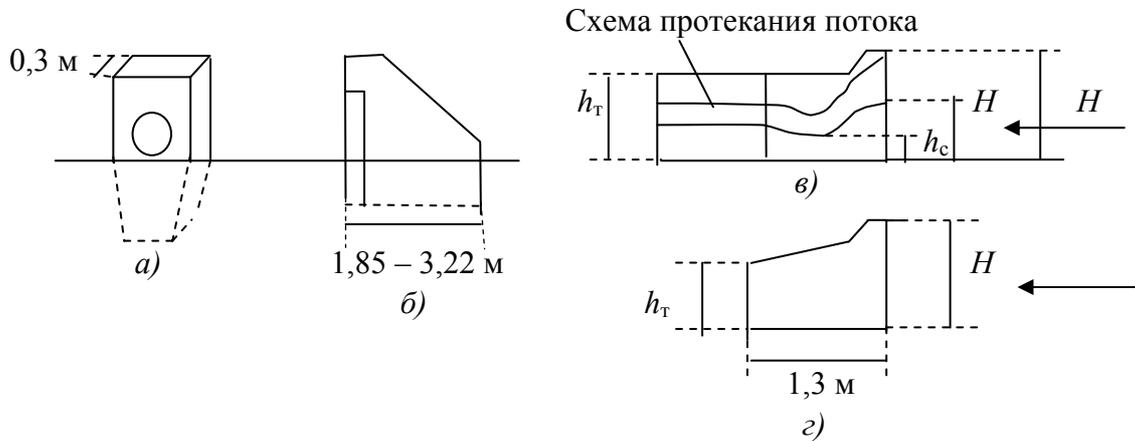


Рис. 4. Виды оголовков: а – портальный; б – раструбный, с открьлками (откосными стенками) под углом 20 – 45 °; в – с нормальным звеном; г – с коническим звеном

Используя уравнение равномерного течения жидкости, можно рассчитать пропускную способность трубы Q_c , соответствующую трем режимам протекания воды в трубах:

а) безнапорный режим.

$$Q_c = w_c v_c = w_c \varphi_1 \sqrt{2g(H - h_c)} = 0,85 w_c \sqrt{gH},$$

$$\Delta h = \varphi v^2 / 2g; v_c = \varphi_1 \sqrt{2g(H - h_c)},$$

$$H = h_c + 0,69 v_c^2 / g = 1,42 v_c^2 / g \approx 2 h_c,$$

$$h_c = 0,73 v_c^2 / g,$$

где Q_c – расход воды, проходящей через трубу в сжатом сечении, м³/с; w_c – площадь живого сечения в трубе при глубине сжатого сечения $h_c = (0,5 - 0,6)H$; v_c – скорость воды в сжатом сечении; φ – коэффициент скорости (сопротивления), $\varphi_1 = 0,83$ для оголовка с нормальным звеном, $\varphi_2 = 0,95$ для оголовка с коническим звеном; H – глубина подпора воды перед трубой; h_c – глубина в сжатом сечении; Δh – перепад высот.

б) полунапорный режим.

$$Q_c = w_c v_c = w_c \varphi_1 \sqrt{2g(H - h_c)} = 0,5 w_{вх} \sqrt{2g(H - 0,6 h_{вх})},$$

$$h_c = 0,6 h_{вх}, w_c = 0,6 w_{вх},$$

где $h_{вх}$, $w_{вх}$ – высота и площадь полного сечения на входе в трубу.

в) напорный режим.

$$Q_c = w_T v_T = w_T \varphi_2 \sqrt{2g(H - h_T)} = 0,95 w_T \sqrt{2g(H - h_T)},$$

где h_T , w_T – высота и площадь сечения внутри трубы.

Данные расчета по приведенным выше формулам сведены в типовой проект на трубы водопропускные круглые железобетонные сборные для железных и автомобильных дорог [11], в табл. ПЗ, представлены в виде номограммы в справочной литературе [1, 5, 8] или рис. 5, который можно построить по данным табл. ПЗ.

Целесообразно применять трубы отверстием $d = 0,5$ м на съезде, $d = 0,75$ м длиной менее 15 м, $d = 1,0$ м длиной менее 20 м, так как при их большой длине и малом диаметре затруднены работы по ремонту и содержанию.

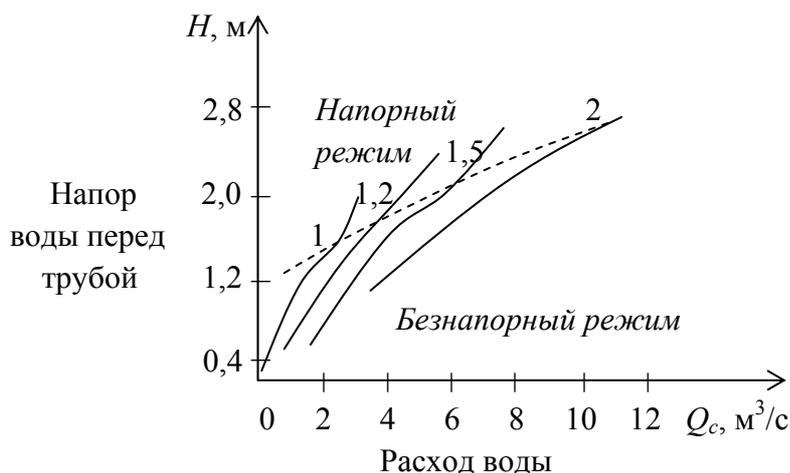


Рис. 5. График пропускной способности труб:
цифры на кривых – отверстия труб, м

2.2. Расчет размера отверстия трубы с учетом аккумуляции вод

МИС почти всегда сильно стесняют поток воды и изменяют его бытовой режим. При пологих и равнинных условиях местности перед сооружением из-за подпора воды затапливаются значительные площади. В пруду – временном водоеме – накапливается большая часть паводковых вод, которая должна быть учтена при гидрологическом расчете. При определении размера отверстия сооружения в этом случае должен быть произведен *учет аккумуляции*: снижение расчетного расхода, а значит, и уменьшение размера необходимого отверстия МИС в связи с накоплением вод перед сооружением. Какая будет глубина воды перед сооружением (глубина пруда – временного водоема), пока неизвестно, так как она зависит от рельефа местности, размера отверстия сооружения.

Расчет пропускной способности трубы без учета аккумуляции ведут:

- если *крутой лог* (в горах), то осуществляется мгновенный пропуск воды через сооружение. Вода создает такой подпор на входе перед сооружением, что объем воды, накопившийся перед сооружением, по сравнению с объемом всего паводка оказывается незначительным и практически не влияет на работу сооружения;

- если паводковые воды от *таяния снега*, так как они всегда растянуты во времени и не создают подпора перед сооружением.

Треугольный гидрограф стока ливневых вод изменится, если учитывать аккумуляцию. Гидрограф стока будет более растянут во времени (рис. 6).

Объем пруда перед сооружением $W_{пр}$ определяют по формуле (рис. 7)

$$W_{пр} = (m_1 + m_2) H^3 / 6 i_{л} = \kappa H^3, \\ \kappa = (m_1 + m_2) / 6 i_{л}, = (1/i_1 + 1/i_2) / 6 i_{л}, \quad (6)$$

где m_1, m_2 – средние коэффициенты откоса поперечных склонов у сооружения; $i_{л}$ – уклон лога; i_1, i_2 – уклоны склонов на участке образования пруда, определяемые по карте в горизонталях; κ – коэффициент формы лога.

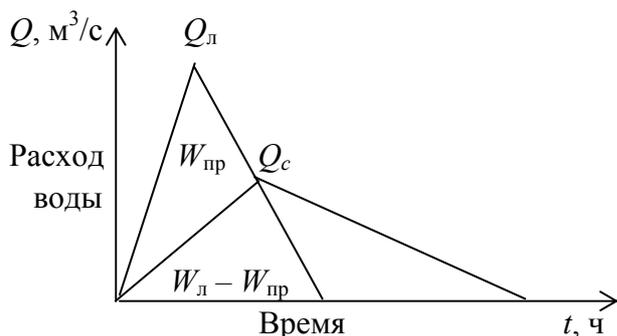


Рис. 6. Гидрограф стока с учетом аккумуляции

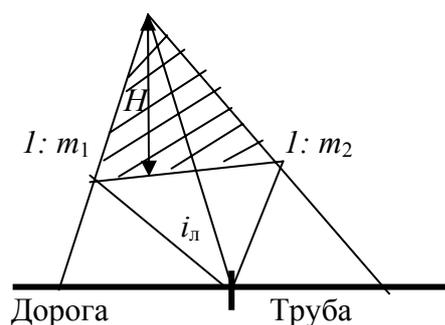


Рис. 7. Схема к расчету объема пруда

Для треугольного гидрографа расход стока ливневых вод снизится и определяется по формуле

$$Q_c = Q_{л} (1 - W_{пр} / W_{л}) = Q_{л} (1 - \kappa H^3 / W_{л}) = \lambda Q_{л},$$

где $W_{пр} / W_{л}$ – степень изменения паводка, показатель регулирующей способности лога; λ – коэффициент аккумуляции (снижение расчетного расхода воды), учитывающий рельеф местности, отверстие сооружения, принимается по [1, 5, 8], табл. П4. По СНиП 2.05.03-84 [2] уменьшение расхода воды не допускается более чем в 3 раза, т.е. $0,33 \leq \lambda < 1$.

Учет аккумуляции при определении размера отверстия малого искусственного сооружения можно выполнить методом *подбора* (путем последовательных приближений) или *графоаналитическим* методом.

Метод подбора затруднен для расчета отверстий труб, пригоден для малых мостов. Алгоритм расчета приведен ниже:

- задать предельный подпор перед малым мостом H (для труб невозможно задать, не зная Q_c);
- вычислить объем пруда $W_{пр}$;
- находят λ – коэффициент аккумуляции по [1, 5, 8], табл. П4, зная объем стока $W_{л}$;
- вычисляют $Q_c = \lambda Q_{л}$;

- проверяют соответствие отверстия малого моста подпору воды;
- если не соответствует, повторяют расчет.

Графоаналитический метод более предпочтителен для расчета отверстий труб. Алгоритм расчета приведен ниже.

График пропускной способности труб (см. рис. 5) перестраивают в новую систему координат $H^3 = f(Q_c)$ отдельно для одночковых и двухчковых труб (рис. 8).

Отражают уравнение $Q_c = \lambda Q_{\text{л}}$ в виде прямой линии, соединив точки $Q_{\text{л}}$ и $W_{\text{л}}/k$. По уточненному расчету, где гидрограф стока выражен криволинейно – более сложной формулой, строим ломаную линию, состоящую из двух отрезков, которая охватывает всю допустимую по СНиП 2.05.03-84 [2] зону снижения расходов и приводит к большему снижению расхода воды:

$$Q_c = 0,62 Q_{\text{л}} (1 - k H^3 / W_{\text{л}}) \text{ при } H^3 = 0, Q_c = 0,62 Q_{\text{л}}; \quad (7)$$

$$Q_c = Q_{\text{л}} (1 - k H^3 / 0,7 W_{\text{л}}) \text{ при } Q_c = 0, H^3 = 0,7 W_{\text{л}} / k, \quad (8)$$

где 0,7 – коэффициент, учитывающий форму гидрографа; 0,62 – согласно СНиП 2.05.03-84 [2].

Точка пересечения ломаной линии аккумуляции с кривой пропускной способности трубы определяет действительный расход воды Q_1 и соответствующий ему напор воды перед трубой H^3_1 .

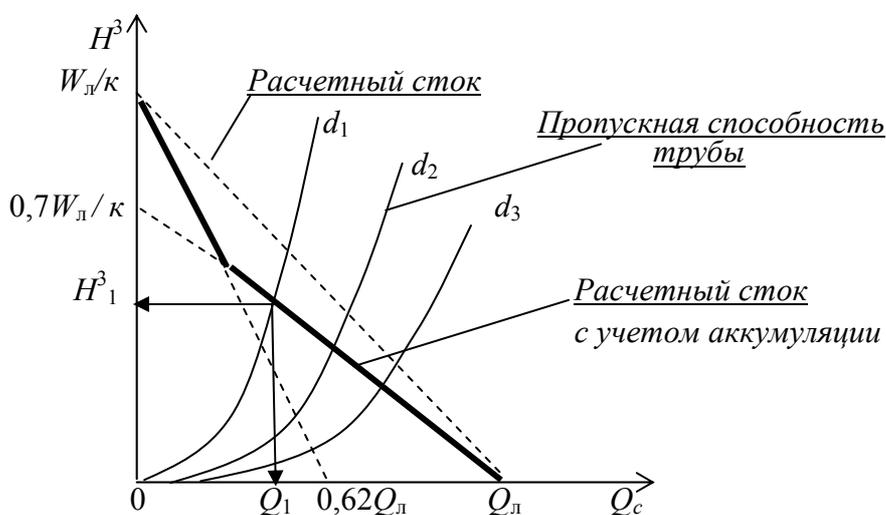


Рис. 8. Графоаналитический метод учета аккумуляции:
 $d_1 - d_3$ – отверстия трубы

Отверстия МИС рассчитывают по максимальному расходу *талых вод* $Q_{\text{Т}}$ (п. 2.1, табл. 3, рис. 5) и по максимальному расходу *ливневого стока с учетом аккумуляции* Q_c (п. 2.2, рис. 8). За расчетное отверстие МИС принимают большее из найденных значений.

3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ МИС

3.1. Укрепление русел труб

Скорости потока воды на выходе из МИС достигают 5 – 6 м/с, а допускаемые скорости для грунтов без их размыва составляют 1 м/с. Скорость потока воды $v_{\text{вых}}$ на выходе из МИС увеличивается в 1,5 раза по сравнению со скоростью потока $v_{\text{тр}}$ в трубе:

$$v_{\text{вых}} = 1,5 v_{\text{тр}}. \quad (9)$$

Наибольшие скорости течения наблюдаются в отводящем русле ниже сооружения вследствие растекания потока и уменьшения глубины. Ширина потока на выходе за МИС больше ширины отверстия трубы. Вытекающий поток находится в бурном состоянии, обладает большой кинетической энергией и вызывает размыв русла за сооружением.

В зависимости от глубины потока в отводящем русле возможны 3 схемы истечения (рис. 9), или сопряжения, бурного потока, вытекающего из сооружения, со спокойным (бытовым) потоком в русле:

1. Затопления – растекание струи в массе воды с уменьшением скорости течения.
2. Сбойного течения (с гидравлическим прыжком и без него) – поток не затоплен и движется в начале без растекания в стороны, по бокам которого образуются водоворотные зоны, сжимающие поток. Уменьшение скорости течения происходит очень медленно на значительном протяжении. Это наиболее неблагоприятные условия для размыва русла.
3. Свободного растекания – под действием силы тяжести поток растекается в стороны. Это наиболее часто встречающийся тип сопряжения.

Для предотвращения возникновения опасного сбойного течения отводящее русло в плане следует устраивать в виде раструба, т.е. применять на выходе оголовков с откосными стенками, что приведет к свободному растеканию струи воды на выходе из трубы (рис. 10).

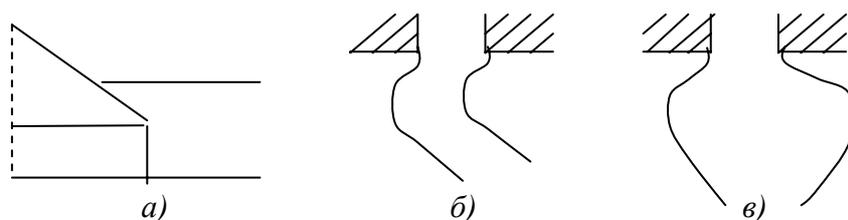


Рис. 9. Схемы истечения потока из трубы: а – затопления; б – сбойного течения; в – свободного растекания

Для обеспечения долговечности сооружения и предотвращения размыва за трубой необходимо предусматривать укрепление выходного русла. Защита от размыва заключается в правильном выборе типа и размера укрепления, чтобы скорость бурного потока на выходе из трубы была не более допустимой скорости для соответствующего типа укрепления.

Укрепление назначают из условия:

- отсутствия размыва;
- безопасного размыва.

Экономически нецелесообразно устраивать длинное укрепление за трубой, используя условие – отсутствие размыва. Экономичнее допустить безопасный размыв, т.е. устраивать короткое укрепление, которое заканчивается предохранительным откосом, где и располагается яма размыва, чтобы исключить подмыв концевой части (см. рис. 10). Гидравлический прыжок обычно размещается в конце укрепления, т.е. над размывом. Благодаря значительной глубине заложения предохранительного откоса размыв оказывается безопасным для укрепления, отодвинутым от откоса насыпи и трубы.

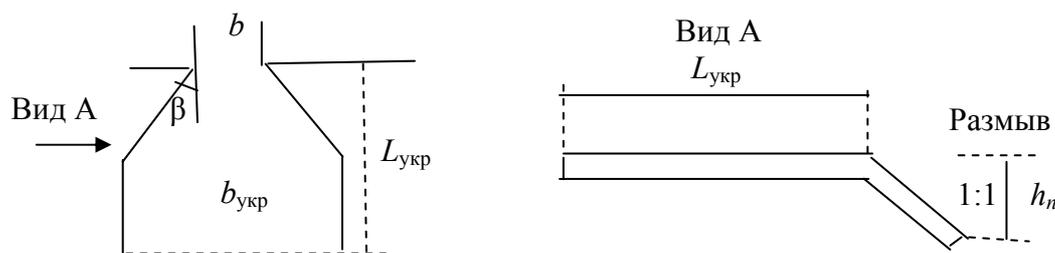


Рис. 10. Схема укрепления русла трубы на выходе:
 β – угол растекания ($20 - 45^\circ$); $b_{укр}$ – ширина укрепления

Длину укрепления принимают

$$L_{укр} \leq (3 - 4) b, \quad (10)$$

где b – ширина потока на выходе, т.е. размер отверстия трубы. Ширину укрепления принимают $b_{укр} \approx L_{укр} + b$.

Глубину заложения h_n предохранительного откоса определяем

$$h_n = \alpha H + 0,5, \quad (11)$$

где αH – глубина размыва; H – подпор воды перед МИС, α – коэффициент, принимаемый по табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Коэффициент α

$L_{укр} \operatorname{tg} \beta / b$	0	1	2	3	4	5	8	10
α	1,55	0,98	0,78	0,65	0,59	0,54	0,45	0,40

Из табл. 1 следует, что при отсутствии укрепления за трубой развивается размыв глубиной $1,55 H$.

При проектировании укрепительных сооружений у труб обычно используют данные, полученные из типового проекта укрепления русел и откосов насыпей у водопропускных труб [12], по табл. П8, П9.

3.2. Материал для укрепления русла

Материал для укрепления русла выбирается в зависимости от скорости потока воды на выходе из МИС. При скорости потока воды на выходе из МИС, превышающей неразмывающую скорость $v_{\text{вых}} > v$, происходит движение несвязных частиц или отрыв кусочков связного материала.

Допускаемая неразмывающая средняя скорость течения для несвязных грунтов и каменных материалов определяется по формуле

$$v = 1,6 \sqrt{g D} / \kappa = 1,6 \sqrt{g} (h_p D)^{1/4},$$

где D – средний диаметр частиц, $D = 0,05 - 1$ мм для песка, $D = 40 - 120$ мм для щебня, гравия; κ – коэффициент, учитывающий вид русел, для естественных русел в центральной и краевой части соответственно $\kappa = 0,7 - 0,9$, для искусственных русел (после размыва) $\kappa = (D / h_p)^{1/6}$; h_p – глубина русла, размыва.

Ориентировочно можно применять неразмывающую скорость потока воды на выходе из МИС для песка $v \approx 0,2 - 0,3$ м/с; для связных грунтов и укрепления засевам трав $v \approx 1 - 1,5$ м/с; для щебня, гравия фракции 40 – 70 мм $v \approx 2 - 4$ м/с; для сборного, монолитного бетона $v \approx 5 - 9$ м/с.

3.3. Минимальная высота насыпи над трубой

При безнапорном режиме протекания воды в трубах минимальная высота насыпи над трубой определяется по формуле

$$h_{\text{min}} = h_{\text{т}} + \delta_{\text{т}} + h_{\text{п}} + h_{\text{до}}, \quad (12)$$

где h_{min} – руководящая рабочая отметка насыпи над трубой; $h_{\text{т}}$ – высота или диаметр трубы; $\delta_{\text{т}}$ – толщина стенки трубы; $h_{\text{п}}$ – засыпка песком, грунтом, $h_{\text{п}} = 0,5$ м; $h_{\text{до}}$ – толщина дорожной одежды, $h_{\text{до}} = 0,4 - 0,6$ м.

При полунпорном и напорном режимах протекания воды в трубах минимальная высота насыпи над трубой определяется по формуле

$$h_{\text{min}} = H + 1,$$

где H – отметка уровня высоких вод (УВВ).

Для малого моста минимальная высота определяется по формуле

$$h_{\text{min}} = 0,88 H + h_o + h_m,$$

где 0,88 – понижающий коэффициент, учитывающий падение величины подпора перед мостом; h_o – запас, расстояние от низа пролетного строения до уровня воды, для малого моста $h_o = 0,25$ м, для большого моста $h_o = 0,5$ м, при ледоходе $h_o = 0,75$ м, при карчеходе $h_o = 1$ м; h_m – конструктивная высота пролетного строения.

На подходах к мосту минимальная высота насыпи $h_{\min} = H + 0,5 + h_{\text{нв}}$, где $h_{\text{нв}}$ – высота набега волны.

3.4. Компоновка трубы

Полная длина трубы с оголовком L_T определяется по формуле

$$L_T = B_{\text{зп}} + 2 m (h_n - h_T - \delta_T) + 2 b_{\text{п}} + 2 a \cos \beta, \quad (13)$$

где $B_{\text{зп}}$ – ширина земляного полотна; m – заложение откосов насыпи, $m = 1,5$; h_n – высота насыпи над трубой; h_T – высота или диаметр трубы; δ_T – толщина стенки трубы; $b_{\text{п}}$ – ширина портала, $b_{\text{п}} = 0,30$ м, a – длина откосных стенок, $a = (1,85 \dots 3,05)$ м (табл. П6).

Длина средней части трубы по лотку $L_{\text{ср}}$ определяется по формуле

$$L_{\text{ср}} = B_{\text{зп}} + 2 m (h_n - h_T - \delta_T), \quad (14)$$

$$L_{\text{ср}} = N L_{\text{зв}} + (N + 1) h_{\text{ш}} = (N + 1) L_{\text{зв}} + L_{\text{ог}} + (N + 1) h_{\text{ш}},$$

где N , $L_{\text{зв}}$ – количество и длина звеньев средней части трубы, $L_{\text{зв}} = 1 - 5$ м; $h_{\text{ш}}$ – толщина шва, для стыковочного омоноличиваемого шва $h_{\text{ш}} = 1 - 3$ см, для деформационного шва без омоноличивания через 5 – 6 м $h_{\text{ш}} = 4 - 5$ см; $L_{\text{ог}}$ – длина конического звена входного оголовка, $L_{\text{ог}} = 1,32$ м.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Требуется рассчитать отверстие трубы при следующих исходных данных:

- автомобильная дорога II категории располагается в Московской области (II дорожно-климатическая зона);
- карта местности с горизонталями через 5 – 10 м в масштабе 1 : 50 000 – 1 : 100 000 и план трассы с запроектированными водопропускными трубами берется из курсового проекта № 1 по дисциплине «Изыскание и проектирование автомобильных дорог»;
- высота насыпи над трубой 4,5 м, толщина дорожной одежды 0,5 м;
- грунт поверхности водосборного бассейна – суглинок;
- вид основания под трубу – лекальный блок.

Алгоритм расчета

1. По карте местности с горизонталями с учетом плана трассы автомобильной дороги и запроектированной водопропускной трубой очерчиваем

бассейн по водораздельным линиям и определяем площадь и характеристики водосбора (п. 1.1, рис. 11).

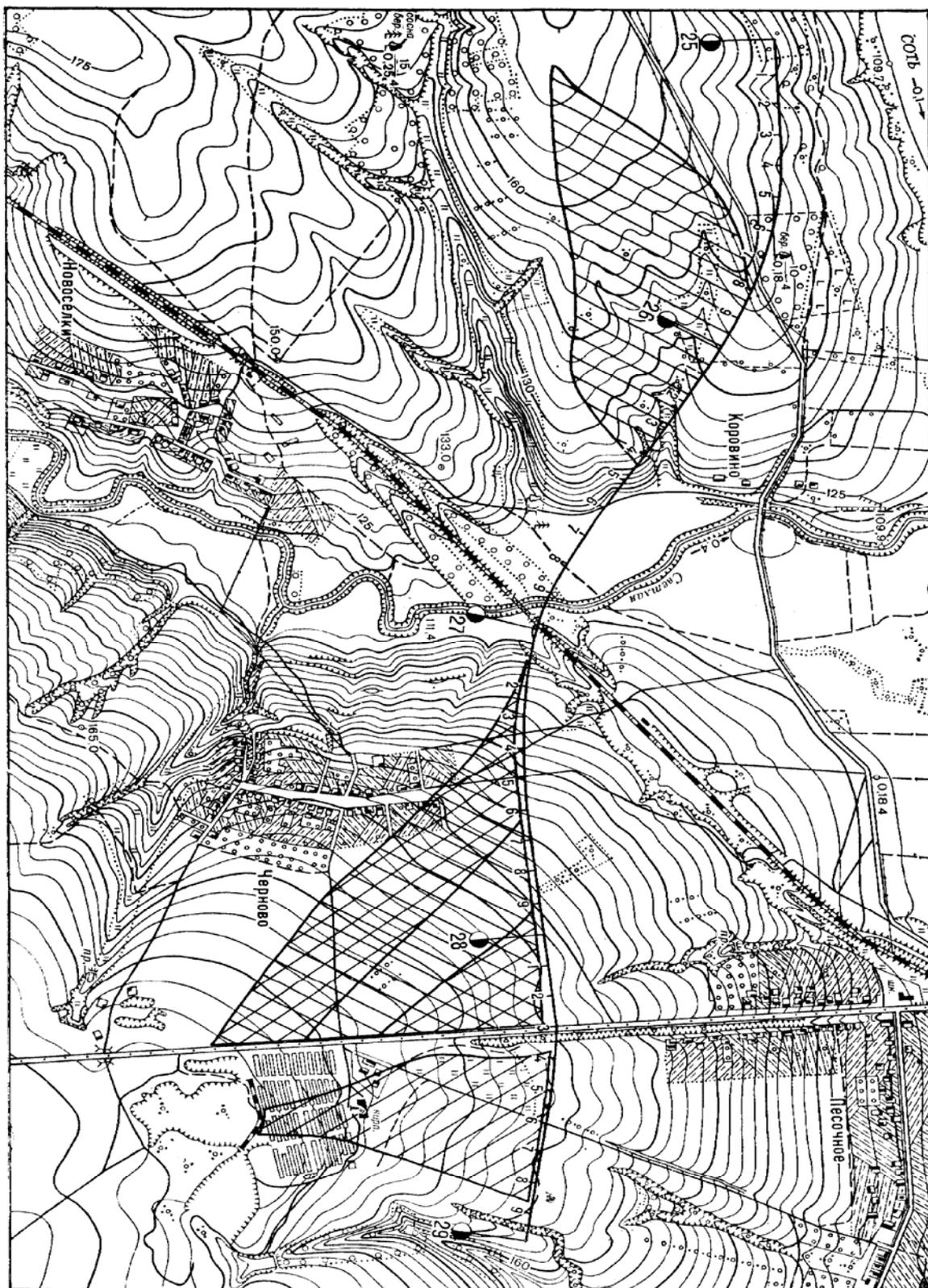


Рис. 11. Планы водосборного бассейна

2. Определяем максимальный *расход* $Q_{\text{л}}$ *ливневого стока* (п. 1.3) и $Q_{\text{т}}$ *талых вод* (п. 1.4).

3. Назначить размер отверстия МИС по максимальному расходу *талых вод* $Q_{\text{т}}$ (п. 2.1, см. рис. 5, табл. П3).

4. Определить размер отверстия МИС по максимальному расходу *ливневого стока* с учетом аккумуляции $Q_{\text{с}}$ *графоаналитическим методом* (п. 2.2, рис. 8).

5. За расчетное отверстие МИС принимают большее из найденных значений по максимальному расходу *талых вод* или *ливневого стока* с учетом аккумуляции.

6. Назначить несколько вариантов труб с разными отверстиями, подпором воды перед трубой, режимом и скоростью протекания воды.

7. Проектируем укрепление русла в выходной части, расчет площади укрепления и объемов работ (пп. 3.1, 3.2 и табл. П8, П9).

8. Сравниваем варианты труб по стоимости приведенных затрат и выбираем оптимальный с учетом возможностей разных поставщиков, дальностей транспортирования, влияния на окружающую среду.

9. Определяем минимально допустимую высоту насыпи, длину трубы (пп. 3.3, 3.4).

10. Осуществляем компоновку трубы из блоков по типовому проекту [11], расчет объемов работ на устройство трубы (табл. 3 – 3, П5 – П9).

ВОДОСБОР И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Обводка планиметром границ водосборного бассейна по карте в горизонталях дает величину площади водосбора $F = 1,7 \text{ км}^2$.

Длина лога, измеренная по карте по линии главного тальвега, составляет $L_{\text{л}} = 2600 \text{ м}$. Для повышенной точки главного лога отметка составляет $H_{\text{max}} = 199 \text{ м}$, в месте расположения трубы отметка $H_{\text{min}} = 160 \text{ м}$.

Средний уклон главного лога определяют по формуле (1)

$$i_{\text{л}} = (199 - 160) / 2600 = 0,015 = 15 \text{ ‰}.$$

Уклон лотка трубы определяем по карте в горизонталях на участке между точками, расположенными на 200 м выше и 100 м ниже пересечения трубы с дорогой

$$i_{\text{тр}} = (162 - 159) / 300 = 0,010 = 10 \text{ ‰}.$$

Грунт поверхности водосборного бассейна – суглинок, растительность – травяной покров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО РАСХОДА ВОД

Расход ливневых вод

Проектируемая дорога расположена в Московской области, и по карте ливневого районирования России (рис. П1) устанавливаем номер ливневого района – № 6.

Вероятность превышения расчетного паводка для труб на дорогах II категории принимается равной $p = 2 \%$. По табл. П1 определяем интенсивность ливня часовой продолжительности $a_{\text{час}} = 0,89$.

Коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной определяем интерполяцией по табл. П2, $K_t = 1,34$. Коэффициент потерь стока принимаем $\alpha = 1$. Коэффициент редукции, учитывающий неполноту водоотдачи при больших площадях, вычисляем по формуле (3):

$$\varphi = 1 / \sqrt[4]{10 \cdot 1,7} = 1 / 2,03 = 0,49.$$

Максимальный расход ливневых вод определяем по формуле (2)

$$Q_{\text{л}} = 16,7 \cdot 1,34 \cdot 0,89 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 0,49 = 16,59 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход талых вод

Коэффициент дружности половодья принимаем $k = 0,01$ для лесных районов. Среднюю толщину слоя стока талых вод для Московской области принимаем по карте рис. П2, $h_{\text{T}} = 100$ мм.

Коэффициент вариации слоя стока половодий определяем по карте рис. П4, $C_v = 0,4$. По номограмме рис. П3 для вероятности превышения $p = 2 \%$ и для средней полосы России ($2C_v$) находим $K_p = 2,0$. Так как отсутствуют болото и лес, коэффициенты, учитывающие наличие леса, заболоченности на поверхности водосборного бассейна, совместное влияние болот и лесов, принимаем $\delta_1 = 1$, $\delta_2 = 1$, $\delta_3 = 1$. Показатель степени для средней полосы России принимаем $n = 0,25$.

Максимальный расход талых вод определяем по формуле (5)

$$Q_{\text{T}} = 0,01 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 / \sqrt[4]{(1,7 + 1)} = 2,95 \text{ м}^3/\text{с}.$$

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИС

Расчет отверстия трубы

По максимальному расходу *талых вод* $Q_{\text{T}} = 2,95 \text{ м}^3/\text{с}$ назначаем, отверстия трубы по табл. П3, режим протекания, величину напора воды перед

трубой, тип оголовка трубы на входе: безнапорный режим протекания воды через трубу с раструбным оголовком и нормальным входным звеном с отверстием 1,50 м при глубине подпора воды перед трубой 1,49 м и скоростью протекания воды на выходе из трубы 3,0 м/с.

Расчет отверстия трубы с учетом аккумуляции вод

Объем ливневого стока определяем по формуле (4)

$$W_{\text{л}} = 60\,000 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 0,49 \cdot 1,7 / \sqrt{1,34} = 38\,413 \text{ м}^3.$$

Средние уклоны склонов лога у сооружения, определяемые по плану в горизонталях участка местности, составили $i_1 = 40$, $i_2 = 25\%$. Коэффициент формы лога определяем по формуле (6)

$$k = (1/0,040 + 1/0,025) / 6 \cdot 0,015 = 722.$$

График пропускной способности труб (табл. П3) перестраиваем в новую систему координат (рис. 12) $H^3 = f(Q_c)$. Для двухочковых труб по оси абсцисс откладываем расход, приходящийся на одно очко, т.е. вдвое меньший, чем для одноочковых.

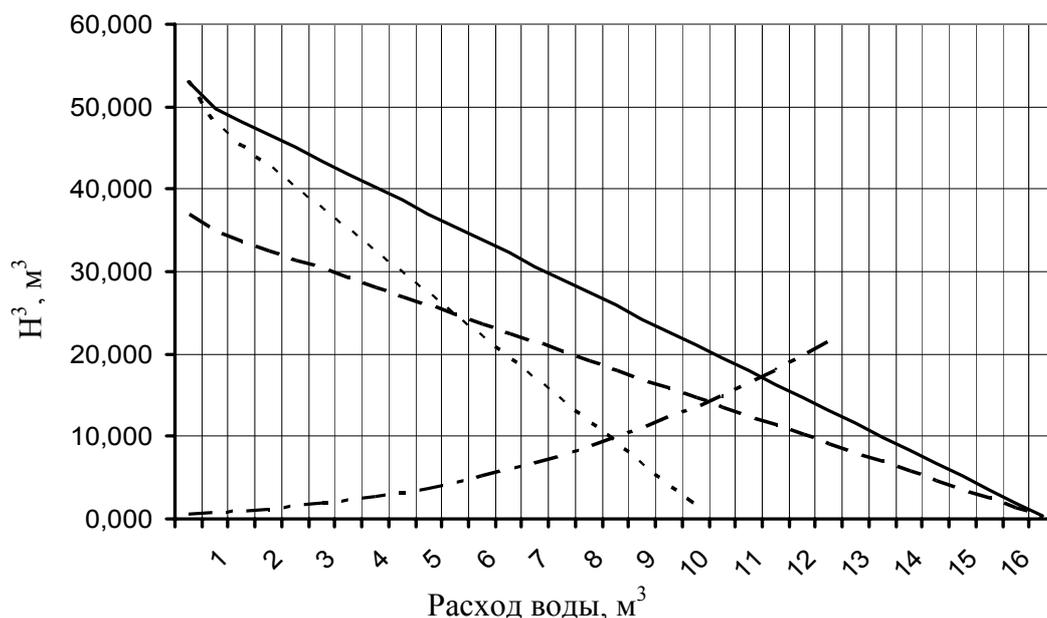


Рис. 12. Графоаналитический метод учета аккумуляции:

— · — · — диаметр $D = 2,0$ м; — — — — — учет аккумуляции;
 - - - - - учет формы гидрографа; - - - - - учет СНиП 2.05.03-84

Отражаем уравнение $Q_c = \lambda Q_{\text{л}}$ в виде прямой линии, соединив точки:

$$Q_{\text{л}} = 16,59 \text{ м}^3/\text{с}, W_{\text{л}}/k = 38413 / 722 = 53 \text{ м}^3.$$

Строим ломаную линию, состоящую из двух отрезков, используя формулы (7), (8):

$$\text{при } H^3 = 0, Q_c = 0,62 Q_{\text{л}} = 0,62 \cdot 16,59 = 10,29 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$\text{при } Q_c = 0, H^3 = 0,7 W_{\text{л}}/\kappa = 0,7 \cdot 53 = 37 \text{ м}^3.$$

Точка пересечения ломаной линии аккумуляции с кривой пропускной способности трубы определяет $Q_1 = 10 \text{ м}^3/\text{с}$, $H^3_1 = 15 \text{ м}^3$, $H_1 = 2,5 \text{ м}$.

Снижение расчетного расхода воды $Q_1 = \lambda Q_{\text{л}}$. Коэффициент аккумуляции составит $\lambda = 10 / 16,59 = 0,60$. Степень изменения паводка, или показатель регулирующей способности лога, определяем по табл. П4 $W_{\text{пр}} / W_{\text{л}} = 0,26$. Объем пруда при этом составит $W_{\text{пр}} = 0,26 \cdot 38413 = 9987 \text{ м}^3$.

Назначаем размер отверстия трубы по табл. П3, режим протекания, тип оголовка трубы на входе для расхода *ливневых вод* с учетом аккумуляции $Q_c = 10 \text{ м}^3/\text{с}$, глубины воды перед трубой $H = 2,5 \text{ м}$: безнапорный режим протекания воды через трубу с раструбным оголовком и коническим входным звеном с отверстием 2,0 м при глубине подпора воды перед трубой 2,5 м и скоростью протекания воды в трубе 4,3 м/с.

За расчетное отверстие МИС принимают большее из найденных значений в данном примере по расходу *ливневого стока* с учетом аккумуляции.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ МИС

Укрепление русел труб

Схему истечения (см. рис. 9), или сопряжения, бурного потока, вытекающего из сооружения, со спокойным (бытовым) потоком в русле принимаем в виде свободного растекания, когда под действием силы тяжести поток растекается в стороны. Это наиболее часто встречающийся тип сопряжения.

Необходимо устроить на конце выходного русла короткое укрепление, заканчиваемое предохранительным откосом, где и располагается яма размыва (рис. см. 10).

Длину укрепления выходного русла рассчитываем по формуле (10):

$$L_{\text{укр}} = 4 \cdot 2,0 = 8 \text{ м}.$$

Ширину укрепления выходного русла назначаем $b_{\text{укр}} = 8 + 2 = 10 \text{ м}$. Площадь плоского укрепления составит $8 \cdot 10 = 80 \text{ м}^2$.

Коэффициент, принимаемый по табл. 1, составит $\alpha = 0,59$ при $\beta = 45^\circ$, $L_{\text{укр}} \operatorname{tg} \beta / b = 8 \cdot 1 / 2 = 4$. Глубину заложения h_n предохранительного откоса определяем по формуле (11):

$$h_n = 0,59 \cdot 2,5 + 0,5 = 1,98 \text{ м.}$$

Скорость воды в нижнем бьефе в зоне растекания потока составит по формуле (9):

$$v_{\text{вых}} = 1,5 \cdot 4,3 = 6,45 \text{ м/с.}$$

По неразмывающей скорости в зоне растекания потока воды по п. 3.2 проектируем укрепление русла у выходного оголовка из сборного бетона.

Для глубины размыва $0,59 \cdot 2,5 = 1,48$ м из табл. П8 площадь укрепления составит $10 \cdot 3,7 = 37 \text{ м}^2$, объем земляных работ – $10 \cdot 4,3 = 43 \text{ м}^3$, щебень М600 – $10 \cdot 0,37 = 3,7 \text{ м}^3$, бетонные блоки П-2 – $10 \cdot 80 = 800$ шт., или $10 \cdot 0,48 = 4,8 \text{ м}^3$.

Общая площадь укрепления нижнего бьефа $80 + 37 = 117 \text{ м}^2$.

Минимальная высота насыпи над трубой

При безнапорном режиме протекания воды в трубах минимальная высота насыпи над трубой определяется по формуле (12):

$$h_{\text{min}} = 2,0 + 0,2 + 0,5 + 0,5 = 3,2 \text{ м.}$$

Делаем вывод: высота насыпи над трубой по проекту 4,5 м больше, чем минимальная высота 3,2 м, что отвечает требованиям проектирования.

Компоновка трубы

Полная длина трубы с оголовком определяется по формуле (13):

$$L_T = 15 + 2 \cdot 1,5 \cdot (4,5 - 2 - 0,2) + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 3,05 \cdot \cos 45 = 26,9 \text{ м.}$$

Длина средней части трубы по лотку определяется по формуле (14):

$$L_{\text{ср}} = 15 + 2 \cdot 1,5 \cdot (4,5 - 2 - 0,2) = 21,9 \text{ м.}$$

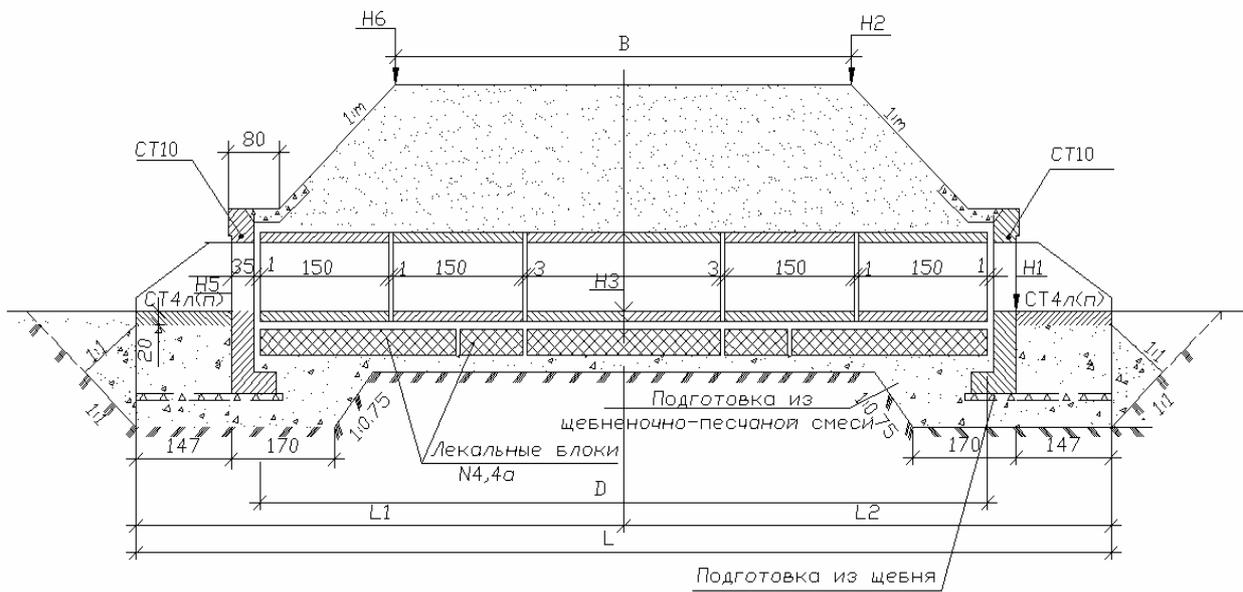
Осуществляем компоновку трубы из одного входного конического звена длиной 1,32 м, 10 звеньев средней части трубы длиной по 2,0 м:

$$L_{\text{ср}} = 10 \cdot 2,0 + 1,32 + 12 \cdot 0,03 = 21,7 \text{ м.}$$

Расчет объемов работ

Чертеж конструкции порталного и раструбного оголовков с цилиндрическим и коническим звеном трубы дан на рис. П5 – П7. Расчет объемов работ на устройство трубы, разработка спецификации блоков приведены для трубы отверстием 1,0 м на фундаменте из лекальных блоков в табл. 10, чертеж конструкции трубы – на рис. 13.

ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ПО ОСИ ТРУБЫ
 М 1:100
 (гидроизоляция не показана)



ПЛАН М 1:100

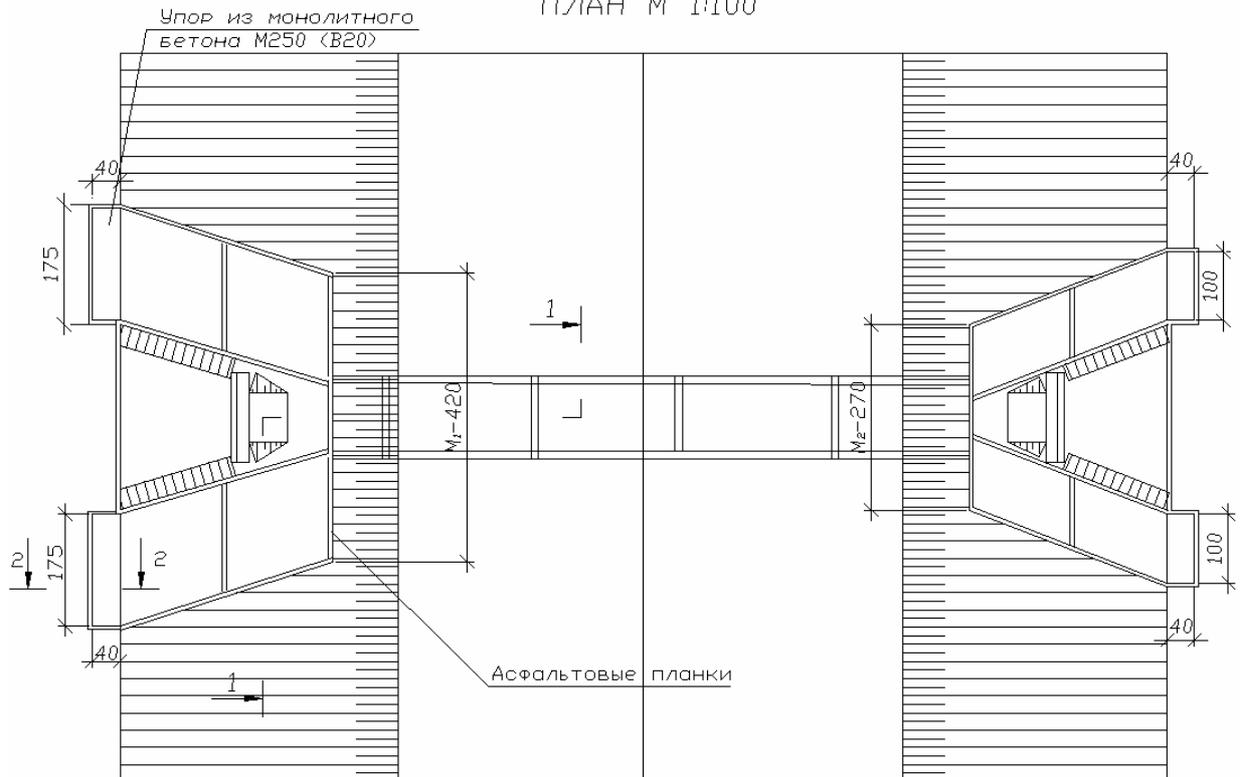
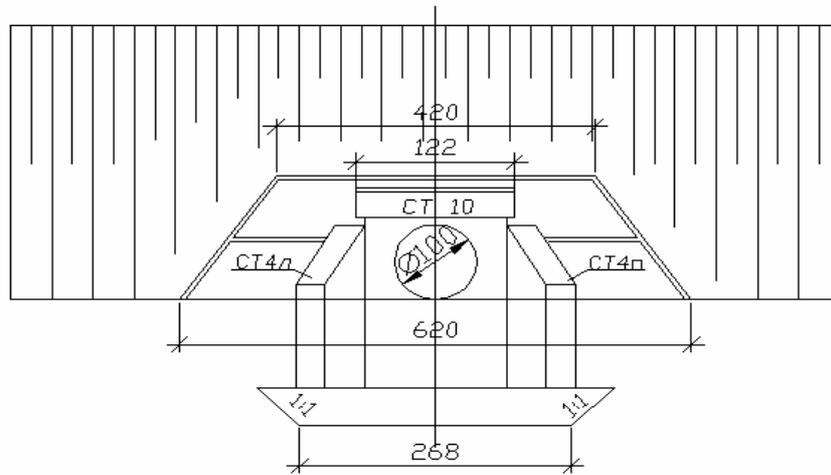
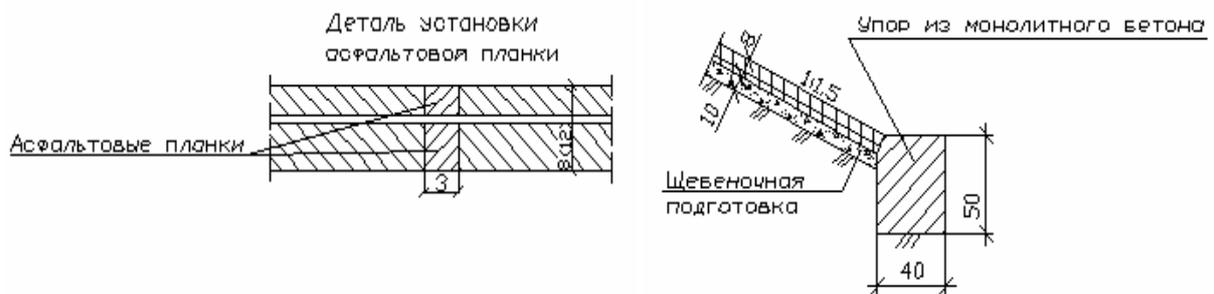


Рис. 13. Конструкция трубы с размером отверстия 1,00 м

ФАСАД ВХОДНОГО ОГОЛОВКА
М 1:100



Разрез 2-2



Разрез 1-1

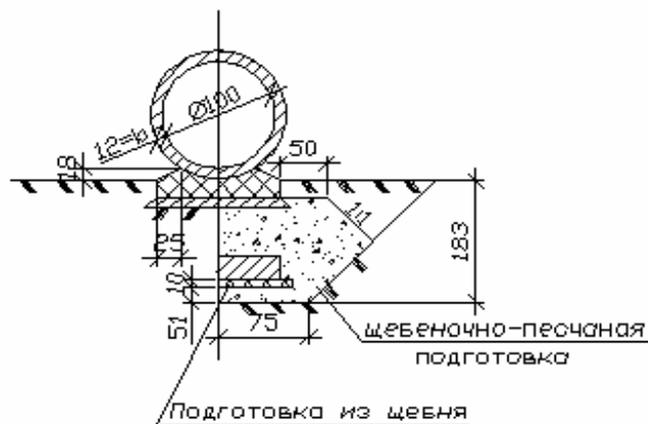


Рис. 13. Окончание

Т а б л и ц а 2

Спецификация блоков на трубу

Бетонный блок					Расход на один блок		
Марка	Наименование	Дли- на, м	Мас- са, т	Коли- чест- во, шт.	Бетон, м ³	Арматура, кг	
						А-1	А-2
ЗК4.150	Звено средней части	1,50	1,6	10	0,63	14,1	53,25
СТ10	Портальная стенка	1,22	2,5	2	1,01	38,6	15,9
СТ4	Откосная стенка	1,85	2,5	4	0,98	43,5	-
4	Лекальный блок	2,01	1,9	5	0,76	26,0	-
4а	Лекальный блок	0,99	1,0	5	0,38	15,1	

Т а б л и ц а 3

Ведомость объемов строительных и монтажных работ

Наименование работ	Материал	Еди- ница изме- рения	Коли- чество
<i>Оголовки</i>			
Рытье котлована	-	м ³	44
Устройство основания	Щебеночно- песчаная смесь	м ³	9,2
	Щебень М600 фр. 20 – 40 мм	м ³	1,0
Монтаж блоков	Бетон В20	м ³	5,94
Устройство обмазочной гидроизоляции	Битумная мастика	м ²	28
<i>Средняя часть трубы</i>			
Рытье котлована	-	м ³	15,17
Устройство основания	Щебень М600	м ³	1,52
	Бетон В15	м ³	5,70
Монтаж звеньев трубы	Бетон В30	м ³	2,52
Устройство оклеечной гидроизоляции на стыки	Битумная мастика, стеклоткань	м ²	42,48
Устройство обмазочной гидроизоляции	Битумная мастика	м ²	15,17
Заделка швов	Пакля, пропитан- ная битумом	кг	7,58
	Цементный раствор М150	м ³	1,52
Обратная засыпка	-	м ³	33,58
Укрепление русла трубы	Монолитный бетон В20	м ³	1,4
	Щебень М600 фр. 20 – 40 мм	м ³	1,9

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Виды расчетов водопропускных сооружений.
2. Режимы протекания воды в трубах, под малым мостом.
3. Расчет длины трубы.
4. Водосбор и его характеристики.
5. Вероятность превышения расчетного паводка для МИС, мостов.
6. Гидрографы стока для МИС.
7. Расход ливневых вод, принцип предельных интенсивностей.
8. Расход талых вод.
9. Расчет пропускной способности труб.
10. Учет аккумуляции вод.
11. Графоаналитический метод определения размера отверстия трубы.
12. Схемы сопряжения потока воды из трубы с бытовым потоком в русле.
13. Вид, размер, материал укрепления русла за трубой.
14. Алгоритм проектирования трубы.
15. Гидрограф стока у МИС с учетом аккумуляции.
16. Принципы проектирования мостового перехода.
17. Гидрологические характеристики реки.
18. Водомерные посты, гидрометрические станции.
19. Измерение скорости течения на водотоке.
20. Замеры глубин на водотоке, продольного уклона поверхности воды.
21. Гидрограф стока рек, кривые расходов и уровней воды.
22. Определение уровней и расходов воды речных потоков.
23. Условия назначения отверстия моста.
24. Уравнение баланса движения наносов.
25. Подпор и перепады уровней воды у моста.
26. Природные деформации речных русел.
27. Виды и расчет размывов.
28. Условие и целесообразность срезки – уширения русла водотока.
29. Регуляционные сооружения.

Коэффициент K_t

L , км	Значения K_t при уклоне бассейна							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,15	4,21	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24
0,30	2,57	3,86	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24
0,50	1,84	2,76	3,93	5,24	5,24	5,24	5,24	5,24
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05	5,24	5,24	5,24
1,00	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,25	1,00	1,49	2,20	3,24	3,60	3,90	4,23	4,46
1,50	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
1,75	0,80	1,18	1,75	2,58	2,84	3,06	3,33	3,52
2,00	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,09	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	1,61
6,50	0,33	0,49	0,73	1,07	1,20	1,29	1,40	1,53
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
10,0	0,25	0,37	0,54	0,80	0,90	0,97	1,05	1,14
11,0	0,23	0,34	0,51	0,75	0,84	0,91	0,98	1,07
12,0	0,22	0,32	0,48	0,71	0,79	0,86	0,93	0,99
13,0	0,21	0,31	0,46	0,67	0,75	0,81	0,88	0,96
14,0	0,20	0,29	0,43	0,64	0,72	0,79	0,84	0,91
15,0	0,19	0,28	0,41	0,61	0,68	0,74	0,80	0,87
20,0	0,16	0,23	0,34	0,50	0,56	0,61	0,66	0,72

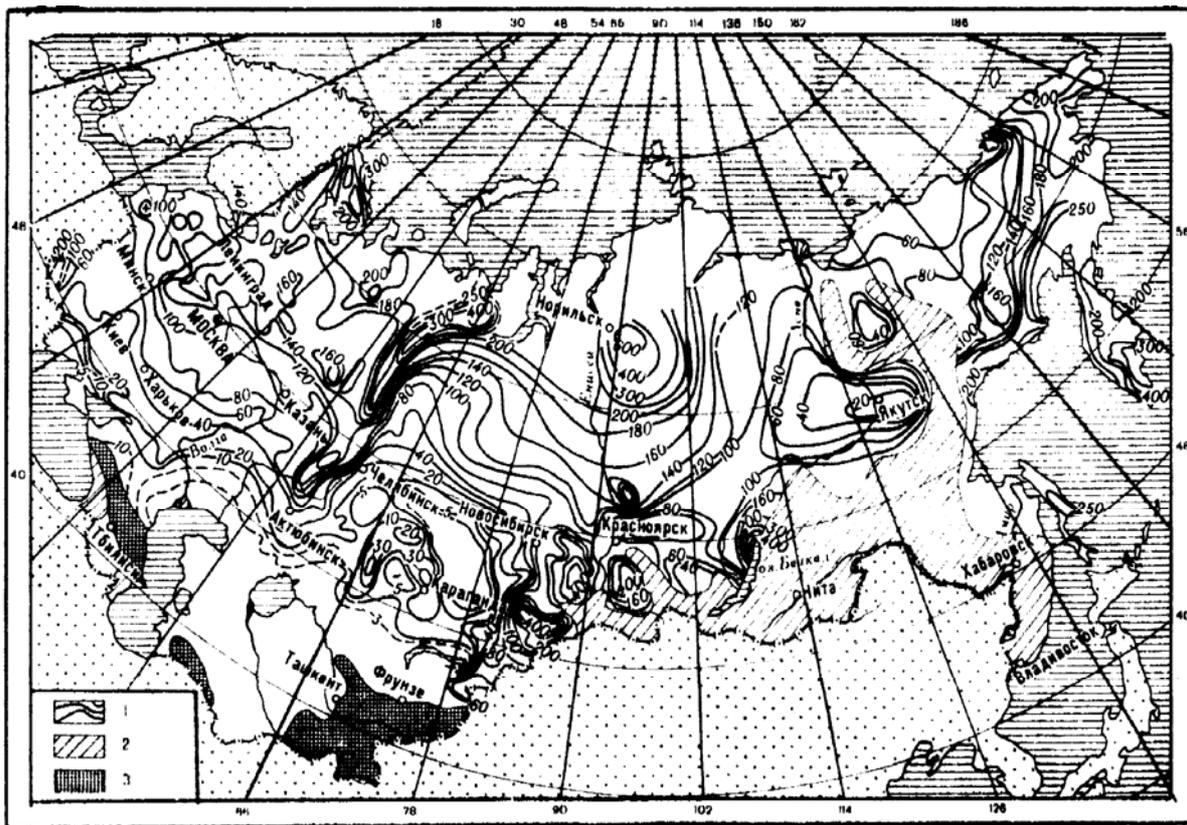
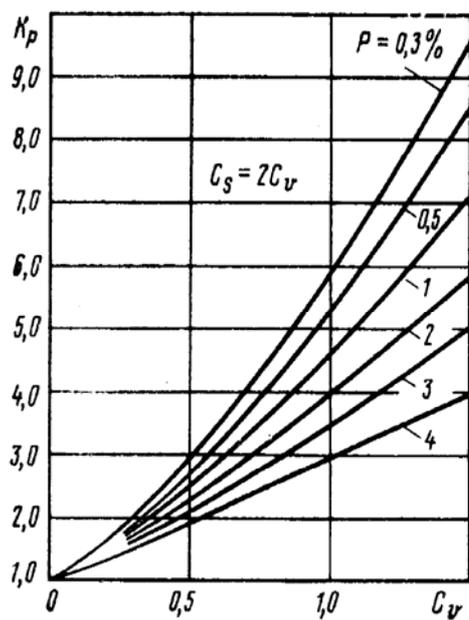
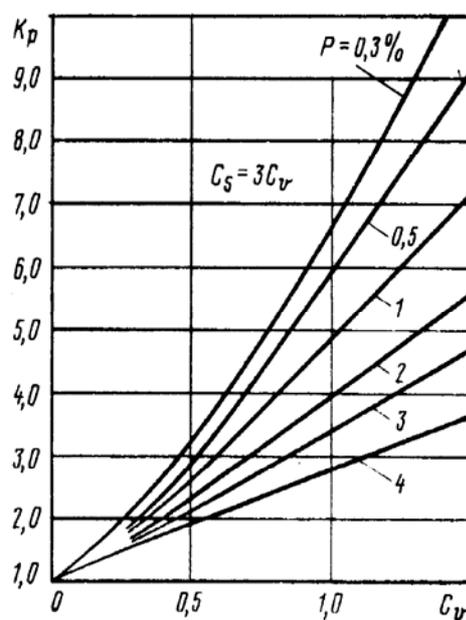


Рис. П2. Карта среднего многолетнего слоя стока талых вод



а)



б)

Рис. П3. Коэффициент K_p перехода к расчетной толщине слоя стока с вероятностью p : а – ПРИ $C_5 = 2C_v$; б – при $C_5 = 3C_v$

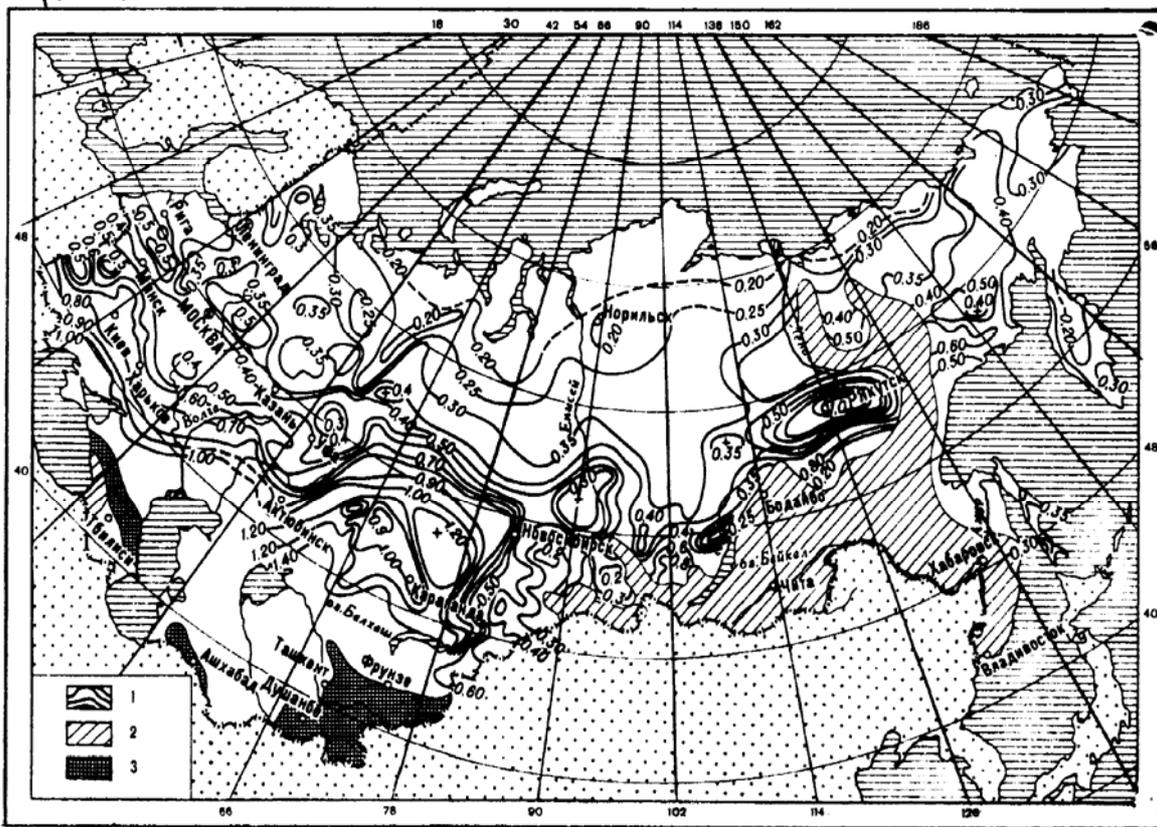


Рис. П4. Карта коэффициентов вариации слоя стока талых вод

Таблица ПЗ

Гидравлические характеристики типовых круглых труб

Оголовок	Диаметр отверстия, м	Расход, м ³ /с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость воды в трубе, м/с	Оголовок	Диаметр отверстия, м	Расход, м ³ /с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость воды в трубе, м/с
<i>Безнапорный режим</i>					<i>Безнапорный режим</i>				
Портальный с нормальным входным звеном	0,75	0,20	0,41	1,40	Раструбный с коническим входным звеном	1,50	3,50	1,45	3,20
		0,40	0,62	1,70			3,90	1,54	3,30
		0,60	0,79	2,00			4,30	1,63	3,50
		0,74	0,90	2,20			4,70	1,75	3,70
Раструбный с нормальным входным звеном	1,00	0,50	0,64	1,40			5,00	1,81	3,70
		0,60	0,68	2,10			6,00	2,08	4,10
		0,80	0,81	2,30		1,75	4,50	1,47	3,20
		1,00	0,94	2,40			4,70	1,75	3,70
		1,20	1,05	2,60			5,00	1,81	3,70
		1,40	1,15	2,70			6,00	2,08	4,10

Окончание табл. ПЗ

Оголовок	Диаметр отверстия, м	Расход, м ³ /с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость во- ды в трубе, м/с	Оголовок	Диаметр отверстия, м	Расход, м ³ /с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость во- ды в трубе, м/с	
<i>Безнапорный режим</i>					<i>Безнапорный режим</i>					
Раструбный с нормаль- ным входным звеном	1,25	1,70	1,27	2,70	Раструбный с кониче- ским вход- ным звеном	2,00	4,50	1,47	3,20	
		1,00	0,87	2,20			5,00	1,55	3,30	
		1,50	1,08	2,50			5,50	1,65	3,40	
		2,00	1,29	2,70			6,00	1,73	3,50	
		2,50	1,46	3,00			6,50	1,81	3,60	
		2,70	1,52	3,20			7,00	1,90	3,70	
		3,00	1,60	3,30			7,50	1,98	3,80	
	1,50	2,50	1,32	2,90			8,00	2,06	3,90	
		2,80	1,41	3,00			8,50	2,14	4,00	
		3,00	1,49	3,00			9,00	2,22	4,10	
		3,50	1,63	3,20			9,50	2,31	4,20	
		3,90	1,74	3,30			10,0	2,38	4,30	
		4,30	1,86	3,50			10,5	2,46	4,30	
		4,70	1,91	3,70			11,0	2,54	4,50	
Раструбный с кониче- ским вход- ным звеном	1,00	0,50	0,57	1,40	<i>Полунапорный режим</i>					
		0,80	0,57	1,40	Раструбный с нормаль- ным вход- ным звеном	1,00	1,60	1,30	3,30	
	1,00	0,84	2,40	2,00			1,80	4,10		
	1,40	1,03	2,70	2,40			2,34	4,90		
	1,65	1,14	2,90	2,80			2,95	5,70		
	2,00	1,31	3,30	3,00			3,16	6,00		
	2,20	1,39	3,40	<i>Напорный режим</i>						
	1,25	1,00	0,77	2,20	Раструбный с нормаль- ным вход- ным звеном	1,00	3,00	1,66	4,20	
		1,50	0,95	2,50			3,50	2,02	5,00	
		2,00	1,13	2,70		1,25	5,00	1,96	4,50	
		2,50	1,29	3,00			6,00	2,45	5,40	
		2,70	1,37	3,20		Раструбный с кониче- ским вход- ным звеном	1,50	7,00	2,24	4,40
		3,00	1,46	3,30				8,00	2,40	5,00
		3,50	1,61	3,50			8,50	2,58	5,30	
3,90		1,74	3,80	2,00			13,3	2,86	4,90	
2,50	1,19	2,90	14,5		3,01	5,10				
2,70	1,27	3,00	16,0		3,11	5,70				
3,00	1,32	3,00	16,5		3,22	6,10				

Т а б л и ц а П 4

Коэффициенты аккумуляции

$W_{пр} / W_{л}$	λ	$W_{пр} / W_{л}$	λ	$W_{пр} / W_{л}$	λ
0	1,00	0,20	0,73	0,40	0,45
0,05	0,97	0,25	0,62	0,45	0,35
0,10	0,90	0,30	0,53	0,50	0,30
0,15	0,82	0,35	0,49		

Т а б л и ц а П 5

Ведомость объемов работ на звено средней части

Отверстие трубы, м	Толщина стенки, см	Бетонный блок			Расход на одно звено			Расход на один п.м трубы				
		Марка	Длина, м	Масса, т	Бетон В30, м ³	Арматура, кг, класса		Конопатка швов паклей, кг	Гидроизоляция, м ²		Щебеночно-песчаная смесь, м ³	Рытье котлована, м ³
						А-1	А-2		оклеичная	обмазочная		
0,50	8	ЗК1.100	1,0	0,4	0,15	7,4	-	0,18	0,47	2,1	0,2	0,2
0,75	8	ЗК2.100	1,0	0,5	0,21	27,0	-	0,26	0,20	2,9	0,4	0,4
0,75	8	ЗК2.300	3,0	1,6	0,63	77,6	-	0,26	0,20	2,9	0,4	0,4
1,00	10	ЗК3.200	2,0	1,8	0,70	17,1	53,4	0,50	0,22	3,8	0,5	0,5
1,00	10	ЗК3.300	3,0	2,7	1,05	25,8	79,0	0,50	0,22	3,8	0,5	0,5
1,25	12	ЗК5.200	2,0	2,6	1,04	18,2	77,1	0,80	0,30	4,7	0,7	0,7
1,25	12	ЗК5.300	3,0	3,9	1,56	27,4	114,3	0,80	0,30	4,7	0,7	0,7
1,50	14	ЗК8.200	2,0	3,6	1,44	24,2	105,0	1,16	0,35	5,6	0,9	0,9
1,50	14	ЗК8.300	3,0	5,4	2,16	36,4	155,8	1,16	0,35	5,6	0,9	0,9
2,00	20	ЗК11.200	2,0	7,0	1,90	43,2	294,8	2,23	1,80	5,2	1,7	1,7
2,00	20	ЗК11.300	3,0	10,5	3,28	64,8	442,2	2,23	1,80	5,2	1,7	1,7

Ведомость объемов работ на оголовок

Элемент	Размер отверстия трубы, м	Бетонный блок			Расход на один блок			Расход на один оголовок			
		Марка	Длина, м	Масса, т	Бетон В20, м ³	Арматура, Кг, класса		Обмазочная гидроизоляция, м ²	Щебеночно-песчаная смесь, м ³	Щебень М600, м ³	Рытье котлована, м ³
						А-1	А-2				
Кони- ческое звено	1,00	ЗК14.132	1,32	1,3	0,50	11,2	39,6	-	-	-	-
	1,25	ЗК15.132	1,32	1,9	0,74	11,8	55,1	-	-	-	-
	1,50	ЗК16.132	1,32	2,6	1,03	15,6	72,9	-	-	-	-
	2,00	ЗК17.132	1,32	3,9	1,56	20,0	106,2	-	-	-	-
Пор- таль- ная стенка	0,50	СТ8	1,50	1,6	0,63	19,9	-	4,6	-	-	6
	0,75	СТ9	2,26	3,1	1,23	31,2	-	9,0	-	-	11
	1,00	СТ10	1,22	2,5	1,01	38,6	15,9	15	4,2	0,3	19
	1,25	СТ11	1,42	3,0	1,20	41,3	17,4	18	4,5	0,4	21
	1,50	СТ12	1,76	4,0	1,57	49,1	19,8	22	5,1	0,5	27
	2,00	СТ13	2,26	5,5	2,13	59,6	23,7	29	6,0	0,6	35
От- косная стенка	1,00	СТ4	1,85	2,5	0,98	43,5	-	-	-	-	-
	1,25	СТ5	2,20	3,1	1,24	54,8	-	-	-	-	-
	1,50	СТ6	2,70	4,2	1,67	68,7	-	-	-	-	-
	2,00	СТ7	3,05	4,8	2,03	93,9	-	-	-	-	-

Т а б л и ц а П7

Ведомость объемов работ на лекальный блок

Отверстие трубы, м	Бетонный блок					Расход на один блок	
	Марка	Ширина, м	Длина, м	Толщина, м	Масса, т	Бетон В15, м ³	Арматура А-1, кг
1,0	4	1,19	2,01	0,43	1,9	0,76	26,0
	4а	1,19	0,99	0,43	1,0	0,38	15,1
	5	1,19	1,50	0,43	1,4	0,57	19,8
1,25	6	1,39	2,01	0,48	2,4	0,96	29,4
	6а	1,39	0,99	0,48	1,2	0,48	16,8
	7	1,39	1,50	0,48	1,8	0,72	22,2
1,5	8	1,60	2,01	0,52	2,9	1,15	32,6
	8а	1,60	0,99	0,52	1,4	0,57	18,5
	9	1,60	1,50	0,52	2,2	0,86	24,6
2,0	64	1,95	2,01	0,59	3,7	1,48	38,4
	64а	1,95	0,99	0,59	1,9	0,74	21,6
	65	1,95	1,50	0,59	2,8	1,11	29,0

Т а б л и ц а П8

Ведомость объемов работ на укрепление выходного русла на 1 п.м

Глубина размыва, м	Площадь укрепления, м ²	Земляные работы, м ³	Щебень М600, м ³	Мощение	Монолитный бетон		Блоки П-2	
				Камень, м ³	Бетон В15, м ³	Арматура А-1, кг	шт.	м ³
1,0	2,8	2,2	0,28	0,45	0,34	6,2	60	0,36
1,1	3,0	2,6	0,30	0,48	0,36	6,6	65	0,39
1,2	3,2	3,0	0,32	0,51	0,38	7,1	70	0,42
1,3	3,3	3,4	0,33	0,53	0,40	7,3	70	0,42
1,4	3,5	3,8	0,35	0,56	0,42	7,7	75	0,45
1,5	3,7	4,3	0,37	0,59	0,44	8,2	80	0,48
1,6	3,9	4,8	0,39	0,62	0,47	8,6	85	0,51
1,7	4,1	5,4	0,41	0,66	0,49	9,0	90	0,54
1,8	4,2	6,0	0,42	0,67	0,50	9,2	95	0,57
1,9	4,4	6,6	0,44	0,70	0,53	9,7	100	0,60
2,0	4,6	7,2	0,46	0,74	0,55	10,1	105	0,63
2,1	4,8	7,9	0,48	0,77	0,58	10,6	110	0,65
2,2	5,0	8,6	0,50	0,80	0,60	11,0	115	0,69
2,3	5,1	9,3	0,51	0,82	0,61	11,2	115	0,69
2,4	5,3	10,0	0,53	0,85	0,64	11,7	120	0,72
2,5	5,5	10,8	0,55	0,88	0,66	12,1	125	0,75
2,8	6,0	13,4	0,60	0,96	0,72	13,2	140	0,84

Примечание. Объем работ на 1 п.м умножить на ширину укрепления ($b_{\text{укр}}$).

Характеристики укрепления выходного русла

Отверстие трубы, м	Расход, м ³ /с	Несвязный грунт						Связный грунт					
		Труба											
		одноочковая			двухочковая			одноочковая			двухочковая		
		Глубина размыва, м	Каменная засыпка, м	Ширина укрепления, м	Глубина размыва, м	Каменная засыпка, м	Ширина укрепления, м	Глубина размыва, м	Каменная засыпка, м	Ширина укрепления, м	Глубина размыва, м	Каменная засыпка, м	Ширина укрепления, м
1,00	0,7 – 1,8	1,0	0,50	7,2	1,0	0,50	10,5	1,0	0,50	7,2	1,0	0,50	10,5
	2,2	1,0	0,50	7,7	1,0	0,50	10,5	1,0	0,50	7,2	1,0	0,50	10,5
	3,5	1,0	0,50	9,7	1,2	0,50	11,3	1,0	0,55	8,0	1,3	0,55	10,5
1,25	1,4 – 2,5	1,0	0,50	7,9	1,0	0,50	11,5	1,0	0,50	7,9	1,0	0,50	11,5
	3,3	1,0	0,50	9,0	1,1	0,50	11,5	1,0	0,50	7,9	1,2	0,50	11,5
	3,9	1,0	0,55	9,9	1,2	0,55	11,6	1,0	0,60	8,1	1,3	0,60	11,5
	6,0	1,0	0,75	12,5	1,4	0,75	14,6	1,0	0,90	10,0	1,6	0,90	11,7
1,50	2,5	1,0	0,50	8,5	1,0	0,50	12,4	1,0	0,50	8,5	1,0	0,50	12,4
	3,3	1,0	0,50	8,7	1,0	0,50	12,4	1,0	0,50	8,5	1,1	0,50	12,4
	3,9	1,0	0,50	9,5	1,2	0,50	12,4	1,0	0,55	8,5	1,3	0,55	12,4
	5,1	1,1	0,55	11,0	1,4	0,55	12,9	1,1	0,65	9,1	1,4	0,65	12,4
	6,0	1,1	0,60	12,1	1,4	0,60	14,2	1,2	0,70	10,1	1,5	0,70	12,9
	8,5	1,3	0,75	14,4	1,6	0,75	16,9	1,4	0,85	12,0	1,8	0,85	14,0
2,0	3,9	1,0	0,50	9,9	1,1	0,50	14,8	1,0	0,50	9,9	1,2	0,50	14,8
	5,1	1,0	0,60	10,7	1,2	0,60	14,8	1,1	0,60	9,9	1,4	0,60	14,8
	6,0	1,0	0,60	11,7	1,3	0,60	15,5	1,1	0,65	10,5	1,5	0,65	15,5
	8,0	1,2	0,70	13,6	1,5	0,70	15,9	1,3	0,75	11,3	1,7	0,75	15,5
	10,4	1,3	0,85	15,3	1,6	0,85	17,9	1,5	0,90	12,8	1,9	0,90	15,5
	12,5	1,4	0,95	16,9	1,8	0,95	19,8	1,6	1,00	13,9	2,1	1,00	16,3
	16,5	1,6	1,10	19,5	2,0	1,10	22,8	1,9	1,20	16,0	2,5	1,20	18,7

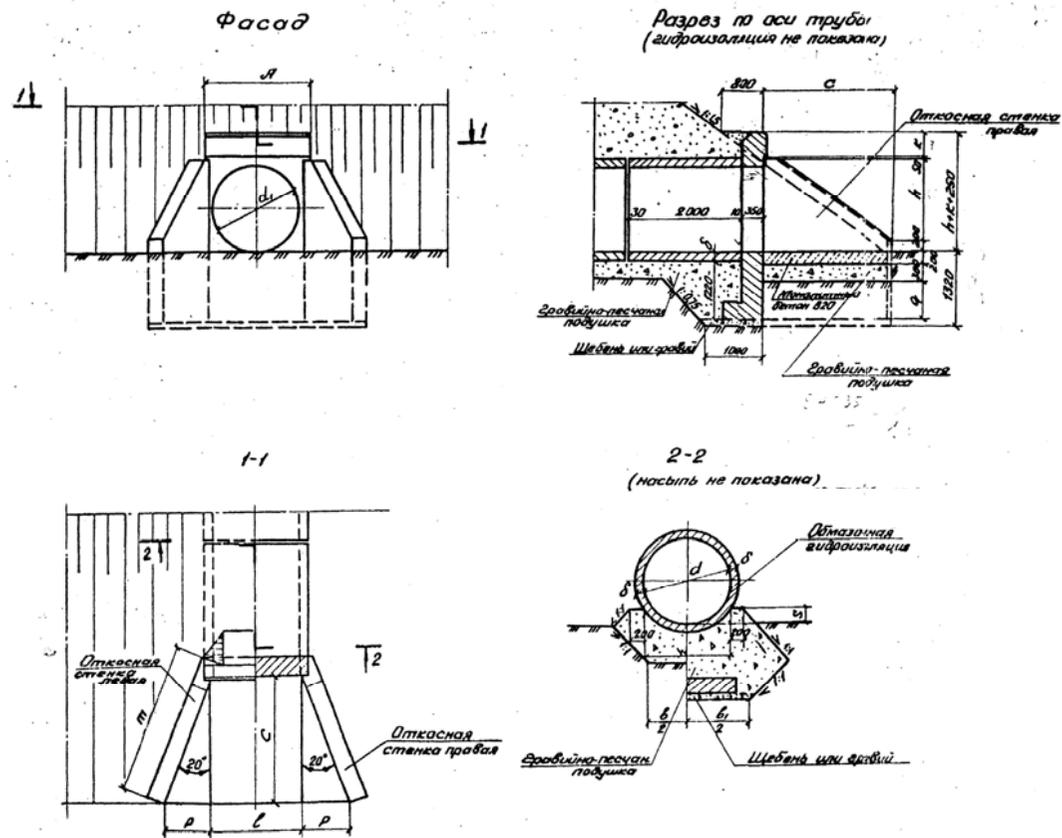


Рис. Пб. Конструкция раструбного оголовка трубы с цилиндрическим звеном

Таблица П11

Параметры раструбного оголовка трубы с цилиндрическим звеном

Размер, см														
d	d_1	δ	A	B	B_1	C	H	K	ℓ	m	p	q	W	S
100	100	10	122	90	150	147	85	40	106	185	51	72	98	16
125	120	12	142	120	170	180	106	40	126	220	62	71	122	20
150	150	14	176	150	210	226	138	40	160	270	80	71	146	24

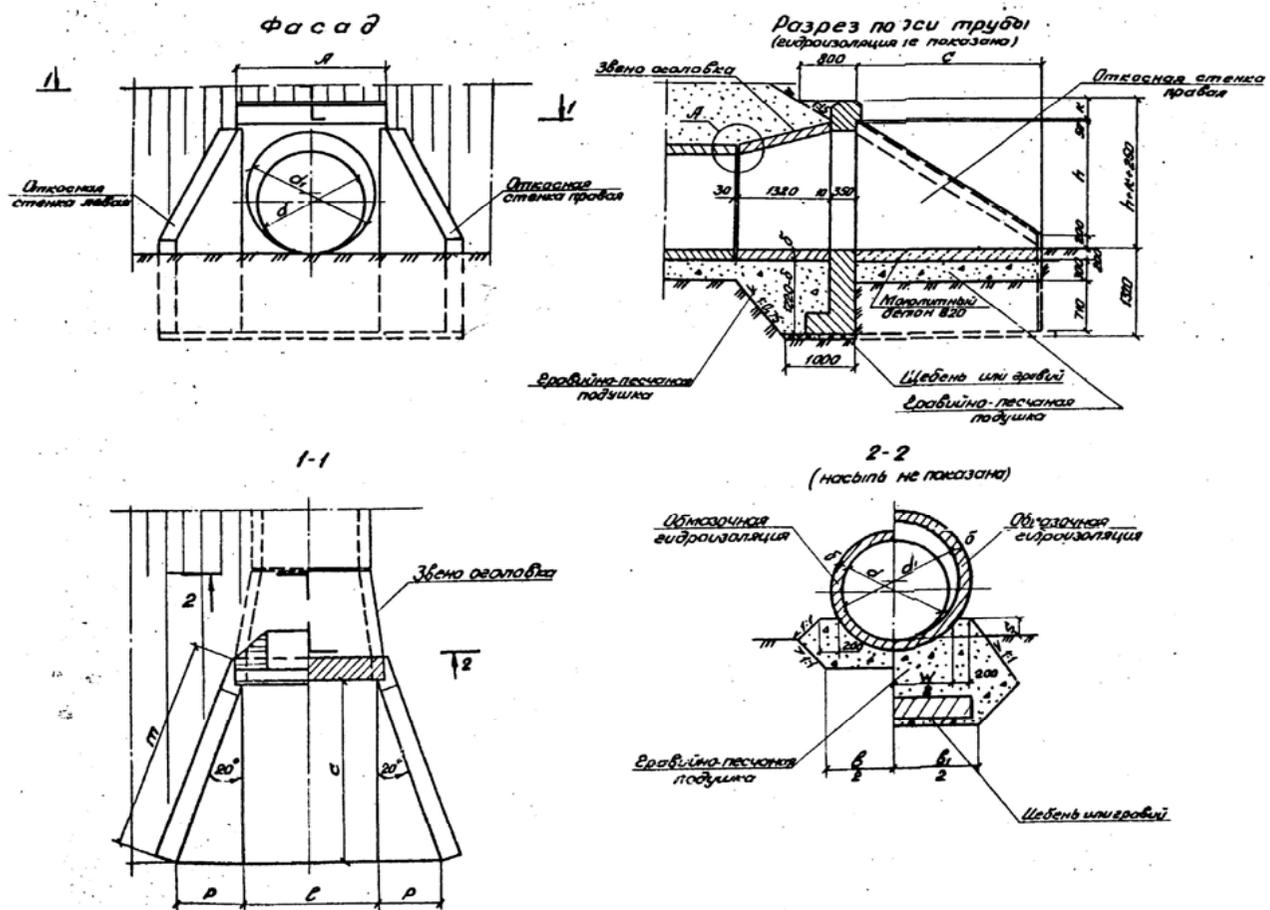


Рис. П7. Конструкция раструбного оголовка трубы с коническим звеном
Таблица П12

Параметры раструбного оголовка трубы с коническим звеном

Размер, см													
d	d_1	δ	A	$в$	$в_1$	c	h	$к$	ℓ	t	p	W	S
100	120	10	142	90	170	180	106	40	126	220	62	108	16
125	150	12	176	120	210	227	138	40	160	270	80	135	20
150	180	14	210	150	240	276	170	40	194	322	97	161	24

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет
Кафедра автомобильных дорог

З А Д А Н И Е

На курсовую работу по дисциплине
"Инженерная гидрология" на тему
"Проект малого искусственного сооружения"

Студенту _____ группы _____

1. Категория дороги _____

2. Район строительства _____

3. Карта местности с горизонталями через _____ м
в масштабе 1 : _____

4. Высота насыпи над трубой _____ м

5. Толщина дорожной одежды _____ м

6. Грунт поверхности водосборного бассейна _____

7. Вид основания под трубу _____

Руководитель проекта _____

Дата выдачи задания _____

Срок сдачи проекта _____

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК*

1. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М. : Госстрой СССР, 1985. – 36 с.
2. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. – М. : Госстрой СССР, 1985. – 200 с.
3. ВСН 63-76. Инструкция по расчету ливневого стока с малых водосборов. – М. : Транспорт, 1976. – 103 с.
4. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений / под ред. Г.Я. Волченкова. – М. : Транспорт, 1992. – 407 с.
5. Пособие к СНиП 2.01.14-83 по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л., 1984. – 448 с.
6. Пособие к СНиП 2.05.03-84 по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки. – М. : Транспорт, 1992. – 410 с.
7. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. В 2 т. / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М. : Транспорт, 1987. – Т. 1. – 367 с. ; Т. 2. – 415 с.
8. Проектирование автомобильных дорог : справ. инженера-дорожника / под ред. Г. А. Федотова. – М. : Транспорт, 1989. – 437 с.
9. Дорожно-мостовая гидрология : справочник / под ред. Б. Ф. Первозникова. – М. : Транспорт, 1983. – 200 с.
10. Проектирование автомобильных дорог : примеры / под ред. В. Ф. Бабкова – М. : Транспорт, 1966. – 397 с.
11. Автомобильные дороги: Примеры проектирования : учеб. пособие / под ред. В. С. Порожнякова. – М. : Транспорт, 1983. – 303 с.
12. Типовой проект. Сер. 3.501.1-144. Трубы водопропускные круглые железобетонные сборные для железных и автомобильных дорог. – М. : Ленгипротрансмост, 1988. – 14 с.
13. Типовой проект. Сер. 3.501-046. Укрепление русел и откосов насыпей у водопропускных труб. – М. : Ленгипротрансмост, 1988. – 28 с.

* приводится в авторской редакции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИС	4
1.1. Водосбор и его характеристики	4
1.2. Определение максимального расхода вод	5
1.3. Расход ливневых вод	5
1.4. Расход талых вод	7
2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИС	9
2.1. Расчет пропускной способности труб	9
2.2. Расчет размера отверстия трубы с учетом аккумуляции вод.....	11
3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ МИС	14
3.1. Укрепление русел труб	14
3.2. Материал для укрепления русла	16
3.3. Минимальная высота насыпи над трубой	16
3.4. Компоновка трубы.....	17
4. Пример расчета.....	17
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	27
Приложение	28
Библиографический список.....	41

Учебное издание

САМОЙЛОВА Любовь Ивановна

ПРОЕКТ МАЛОГО ИСКУССТВЕННОГО
СООРУЖЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор Р.С. Кузина

Технический редактор Н.В. Тупицына

Корректор Е.В. Афанасьева

Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 23.03.06.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. ?,??. Уч.-изд. л. ?,??. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.