

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Л. И. САМОЙЛОВА

ПРОЕКТ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

Учебное пособие
к курсовому и дипломному проектированию



Владимир 2017

УДК 625.7/.8
ББК 39.311
С17

Рецензенты:

Кандидат технических наук, профессор
зав. кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В. И. Тарасенко

Кандидат технических наук
главный специалист-эксперт ГБУ
«Управление автомобильных дорог администрации Владимирской области»
А. А. Лебедев

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Самойлова, Л. И.

С17 Проект водопропускной трубы : учеб. пособие к курсовому и диплом. проектированию / Л. И. Самойлова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2017. – 84 с.
ISBN 978-5-9984-0811-3

Приведены справочные сведения по гидрологическому и гидравлическому расчетам водопропускной трубы. Содержит положения по определению максимального расхода ливневых и талых вод, размера отверстия водопропускной трубы с учетом аккумуляции. Включает сведения по современной технологии проектирования водопропускной трубы в программном комплексе CREDO. Рассмотрены вопросы, возникающие при проектировании труб: укрепление русла, определение руководящей отметки насыпи. Даны рекомендации по конструированию трубы и определению длины сооружения, подсчету объемов работ по строительству трубы.

Предназначено для бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению 08.03.01 – Строительство (профиль «Автомобильные дороги»), специалитета направления 08.05.02 – Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое покрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей. Может быть также полезным для работников проектных организаций, занимающихся проектированием искусственных сооружений.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 42. Ил. 46. Библиогр.: 7 назв.

УДК 625.7/.8
ББК 39.311

ISBN 978-5-9984-0811-3

© ВлГУ, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Гидрология – наука, изучающая природные воды, явления и процессы, в них протекающие. *Инженерная гидрология* – наука, разрабатывающая методы расчета и прогноза гидрологических режимов при решении инженерных задач.

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

Водопропускные сооружения должны быть удобными для движения автомобилей и обеспечивать пропуск воды без вреда для дорожных сооружений. Обеспечение выполнения этих требований при обязательном соблюдении принципа экономичности сооружений – сложная задача, решаемая методами вариантного проектирования или математической оптимизации.

С точки зрения требований автомобильного транспорта наилучшим считают такое водопропускное сооружение, которое не меняет условий движения автомобилей, не требует изломов в плане и продольном профиле дороги, не стесняет проезжую часть и обочины, а также не нуждается в изменении типа дорожного покрытия. В этом отношении оптимальным типом малых водопропускных сооружений считают трубы.

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:

- *гидрологического* (определение расходов воды);
- *гидравлического* (определение размера отверстия трубы или моста, уровней воды);
- *морфометрического* (определение скорости течения в зависимости от шероховатости и размеров русел для оценки распределения расходов воды в живом сечении русел);

- *руслового* (прогнозирование опасных деформаций русел (размывы, наносы), расчет искусственного уширения русла и назначение укрепительных сооружений);

- *специального* (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, постоянно действующим водотоком при температуре воздуха в январе не ниже $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при отсутствии ледохода, карчехода, наледей, селевых потоков. Среднее количество труб на 1 км дороги составляет в пустынях 0,3 шт., горах – 2 шт., 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 трубы в сравнении с мостом:

- низкая стоимость (8 – 15 % стоимости дороги);
- неизменяемость условий движения автомобиля по дороге.

Трубы можно располагать:

- при любых сочетаниях плана и продольного профиля автомобильной дороги, подчиняя направлению трассы;
- любых высотах насыпи;
- любых углах пересечения водотока с дорогой.

Трубы не требуют изменения конструкции дорожной одежды на автомобильной дороге.

В учебном пособии рассмотрено 12 примеров проектирования водопропускной трубы на автомобильной дороге. Трубу проектируют, начиная с вычерчивания водосборного бассейна на карте, гидрологического расчета и заканчивая расчетом объемов строительных работ и вычерчиванием чертежа трубы по фасаду, в плане и разрезе.

1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Алгоритм проектирования трубы

1. На карте местности очертить бассейн водопропускной трубы автомобильной дороги и определить площадь и характеристики водосбора.
2. Рассчитать максимальный расход ливневого стока и талых вод.
3. Учесть аккумуляцию при расчете максимального расхода ливневого стока графоаналитическим методом.
4. Назначить несколько вариантов водопропускной трубы с разными размерами отверстия по наибольшему из максимальных расходов.
5. Определить минимально допустимую высоту насыпи, длину трубы, осуществить компоновку трубы из типовых блоков.
6. Запроектировать укрепление русла водопропускной трубы, рассчитать площадь укрепления и объемы работ на устройство трубы.
7. Выполнить чертеж водопропускной трубы.
8. Сравнить варианты водопропускной трубы по стоимости приведенных затрат и выбрать оптимальный с учетом схемы поставки железобетонных изделий, дальности транспортирования, влияния на окружающую среду.

1.1. Водосбор и его характеристика

Водосбором (бассейном) называют территорию, с которой притекает поверхностная вода от снеготаяния, ливней, дождей к рассматриваемому участку дороги и водопропускному сооружению (рис. 1 – 3) с верховой стороны от дороги.

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

Тальвег – долинный путь, или главный лог – линия, соединяющая низшие точки рельефа местности (дна долины) в бассейне.

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

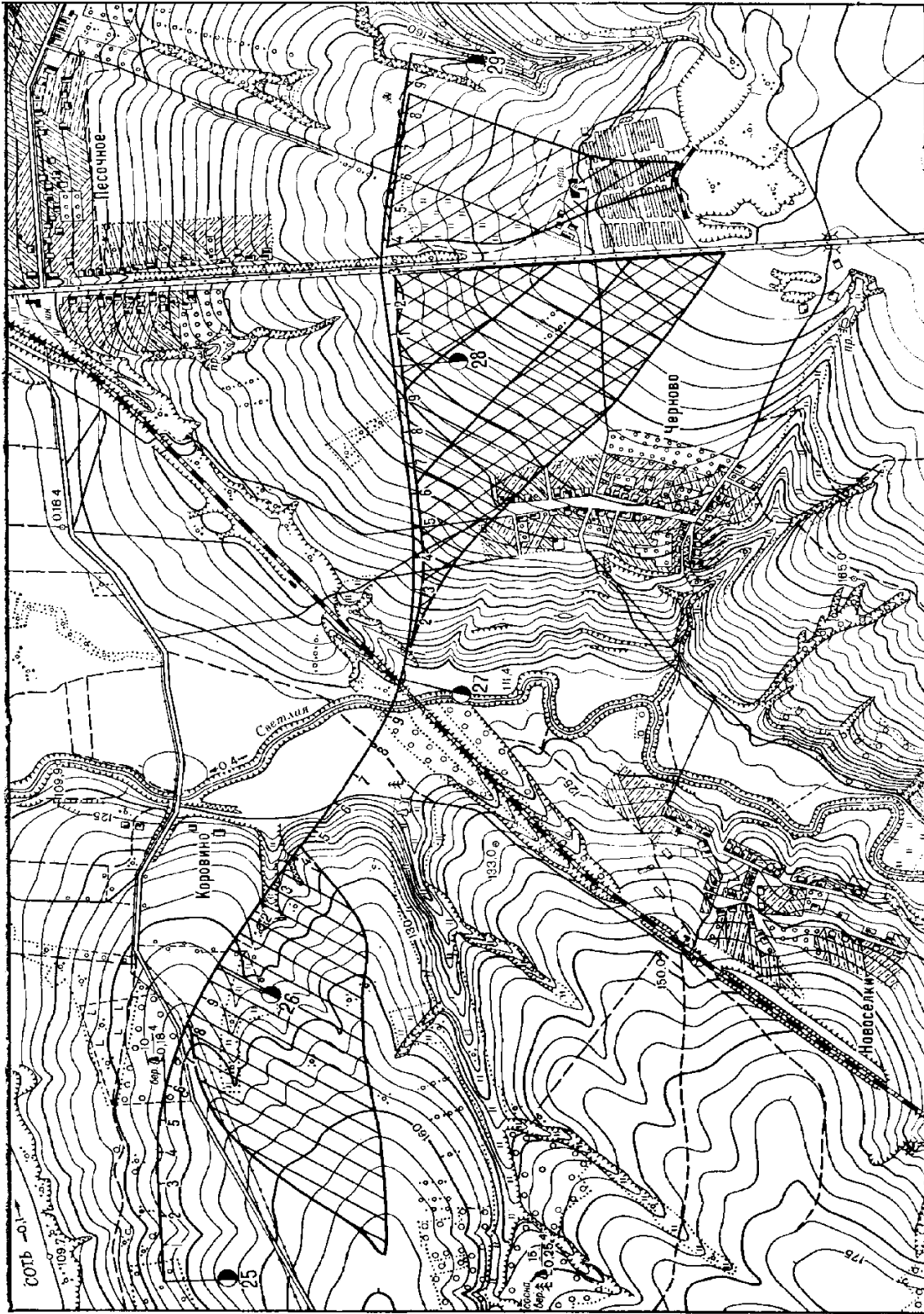


Рис. 1. Карта автодороги, труб и водосборных бассейнов

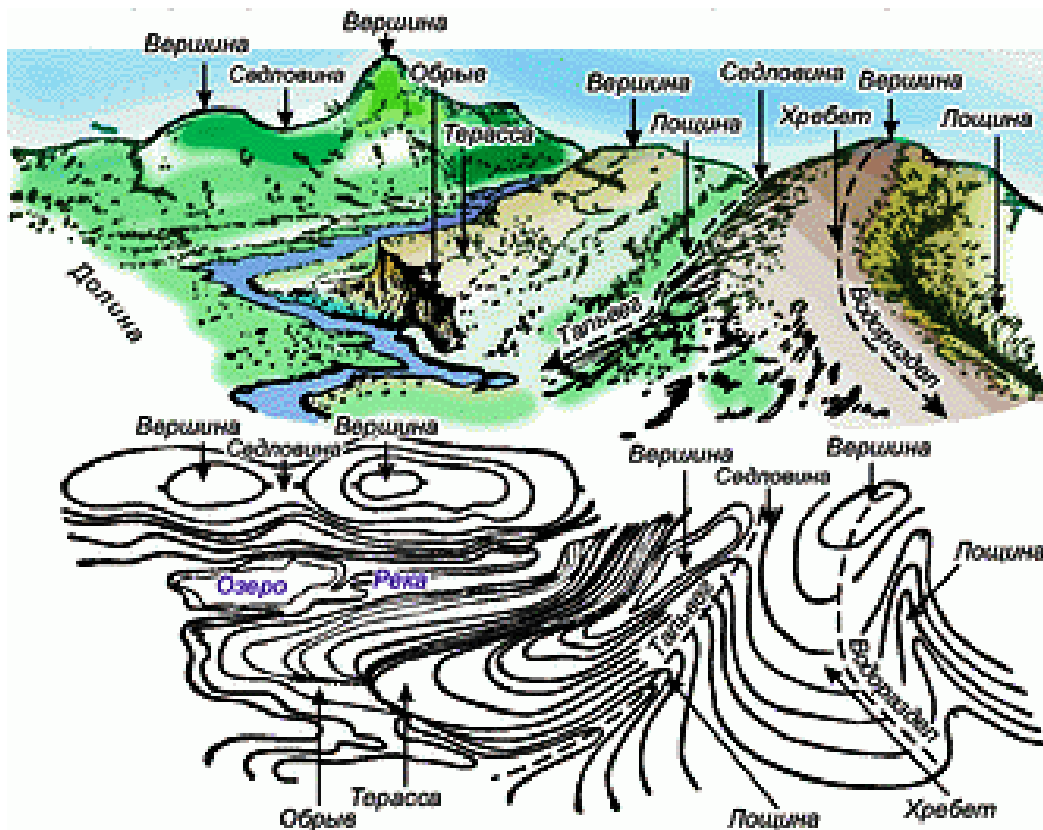


Рис. 2. Схема рельефа и карта местности

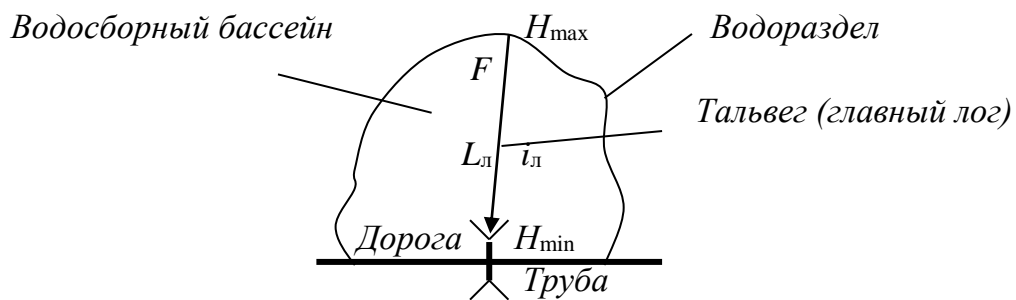


Рис. 3. План водосборного бассейна

- По карте определяют следующие характеристики бассейна:
- пикетажное положение трубы;
 - площадь водосборного бассейна F , км²;
 - площадь леса $F_{л}$ и площадь болота $F_{б}$ на поверхности водосбора, км²;
 - длина главного лога (тальвега) $L_{л}$, м;

- средний уклон главного лога (тальвега) $i_{л}$, ‰;
- уклон лотка трубы $i_{тр}$, ‰;
- уклоны склонов у трубы i_1, i_2 , ‰;
- коэффициент формы лога k ;
- вид грунта на поверхности водосборного бассейна.

Площади водосбора, леса или болота, длину главного лога (тальвега) определяют по карте в горизонталях при помощи программного комплекса AutoCAD.

Средний уклон главного лога $i_{л}$ определяют по формуле, используя карту в горизонталях участка местности:

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

где H_{\max}, H_{\min} – максимальная и минимальная отметки главного лога, м;
 $L_{л}$ – длина главного лога, м.

Уклон лотка трубы $i_{тр}$ определяют по карте на участке между точками, расположенными на 200 м выше и 100 м ниже пересечения трубы с дорогой, по формуле

$$i_{тр} = (H_{200} - H_{100}) / 300, \quad (2)$$

где H_{200}, H_{100} – отметки у трубы на расстоянии выше 200 м и ниже 100 м соответственно, м.

Средние уклоны левого и правого склонов лога у трубы i_1, i_2 определяют по формуле

$$i_1 (i_2) = (H_{в} - H_{\min}) / L_{с}, \quad (3)$$

где $H_{в}$ – отметки верха склона лога, м; $L_{с}$ – длина склона, м.

Коэффициент формы лога k определяют по формуле

$$k = (1/i_1 + 1/i_2) / (6 i_{л}), \quad (4)$$

где i_1, i_2 – уклоны левого и правого склонов тальвега; $i_{л}$ – уклон главного лога (тальвега).

Исходные данные

Автомобильная дорога – категория II.

Район строительства – Калужская область.

Карта местности с горизонталями через 2,5 м в масштабе 1:10000.

Высота насыпи над трубой – 4,5 м.

Толщина дорожной одежды – 0,5 м.

Грунт поверхности водосборного бассейна – скальный.

Вид основания под трубу – лекальный блок.

Пример 1

Труба расположена на ПК 20 + 00.

Площадь водосборного бассейна определена по карте в горизонталях при помощи программного комплекса AutoCAD. Площадь составила $F = 17\,000\text{ мм}^2$, в масштабе М 1:10 000 $F = 1,7\text{ км}^2$.

Длина лога, измеренная по карте по линии главного тальвега, составляет $L_{\text{л}} = 260\text{ мм}$, в масштабе М 1:10 000 $L_{\text{л}} = 2\,600\text{ м} = 2,6\text{ км}$.

Данные по водосборному бассейну заносят в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика водосборного бассейна

Параметр	Местоположение трубы
	ПК 20 + 00
Площадь водосборного бассейна, км ²	1,7
Площадь леса, км ²	0,2
Площадь болота, км ²	–
Длина главного лога (тальвега), км	2,6
Средний уклон главного лога (тальвега), ‰	15
Уклон лотка трубы, ‰	10
Уклон правого склона, ‰	40
Уклон левого склона, ‰	25
Коэффициент формы лога	722
Вид грунта	Скальный

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):

$$i_{\text{л}} = (H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) / L_{\text{л}} = (199 - 160) / 2\,600 = 0,015 = 15\text{ ‰}.$$

Уклон лотка трубы определяют по формуле (2):

$$i_{\text{тр}} = (H_{200} - H_{100}) / 300 = (162 - 159) / 300 = 0,010 = 10\text{ ‰}.$$

Средние уклоны склонов лога определяют по формуле (3):

$$i_1 = (H_B - H_{\min}) / L_c = (190 - 160) / 750 = 0,040 = 40 \text{ ‰},$$

$$i_2 = (H_B - H_{\min}) / L_c = (210 - 160) / 2\,000 = 0,025 = 25 \text{ ‰}.$$

Коэффициент формы лога определяют по формуле (4):

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

1.2. Максимальный расход воды

Труба напряженно работает на пропуск воды несколько часов в год. На основе изучения режима дождевого и талого стоков с бассейна определяют максимальный расход воды, притекающей к сооружению:

- мгновенный расход *ливневого стока* $Q_{\text{л}}$, период стояния уровня воды менее суток;

- среднесуточный расход *талого стока* $Q_{\text{т}}$, период стояния уровня воды более суток.

Гидрограф стока – график изменения расхода воды во времени:

- *треугольный* от ливней (рис. 4, а);

- *трапецидальный* от снеготаяния (рис. 4, б).

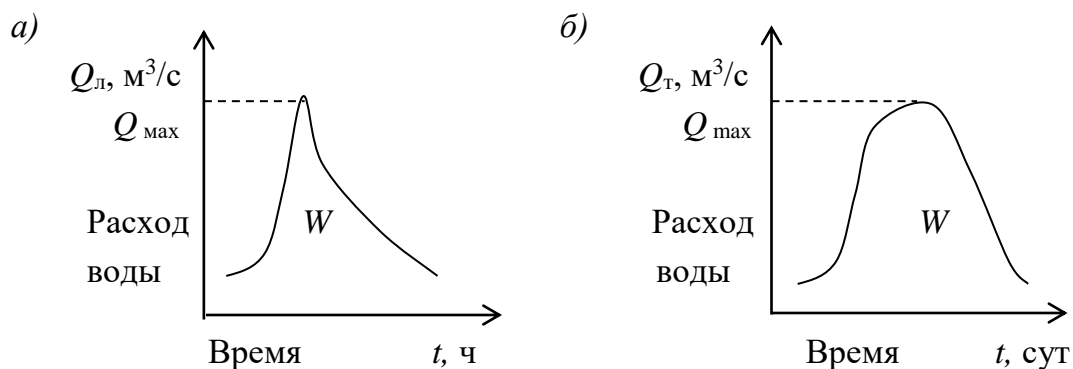


Рис. 4. Гидрограф стока: а – треугольный; б – трапецидальный;

$Q_{\text{л}}$ – расход ливневого стока; $Q_{\text{т}}$ – расход талого стока воды;

Q_{max} – максимальный расход воды; W – объем стока воды (площадь фигуры)

Трудно учесть ход дождя во времени, ход снеготаяния, впитывание воды в почву. При определении расхода воды используют теоретико-эмпирические зависимости с учетом гидрометрических фак-

торов, в которых неизбежны различные условности и значительные погрешности. Приток воды к трубе происходит с больших площадей.

1.3. Расход ливневых вод

Для треугольного гидрографа (см. рис. 4, а), когда максимальный расход наблюдают короткое время, т. е. менее суток, максимальный расход ливневых вод $Q_{л}$, м³/с, определяют по формуле МАДИ/Союздорпроекта

$$Q_{л} = 16,7 a_{расч} F \alpha \varphi = 16,7 K_t a_{час} F \alpha \varphi, \quad (5)$$

где $a_{расч}$ – расчетная интенсивность ливня, мм/мин; F – площадь водосбора, км²; α – коэффициент потерь стока, зависящий от вида грунта на поверхности водосбора (принимают по табл. 2); φ – коэффициент редукации, учитывающий неполноту водоотдачи при больших площадях, который вычисляют по формуле

$$\varphi = 1 / \sqrt[4]{10 F}. \quad (6)$$

Таблица 2

Коэффициент потерь стока α

Вид грунта	Песок	Дерн	Супесь	Суглинок	Глина	Скальный грунт
Коэффициент α	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1

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 (рис. 5, табл. 3), по которой устанавливают номер ливневого района.

Расчетную интенсивность ливня вычисляют по формуле

$$a_{расч} = K_t a_{час},$$

где $a_{час}$ – средняя интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин; K_t – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной (принимают по табл. 5).

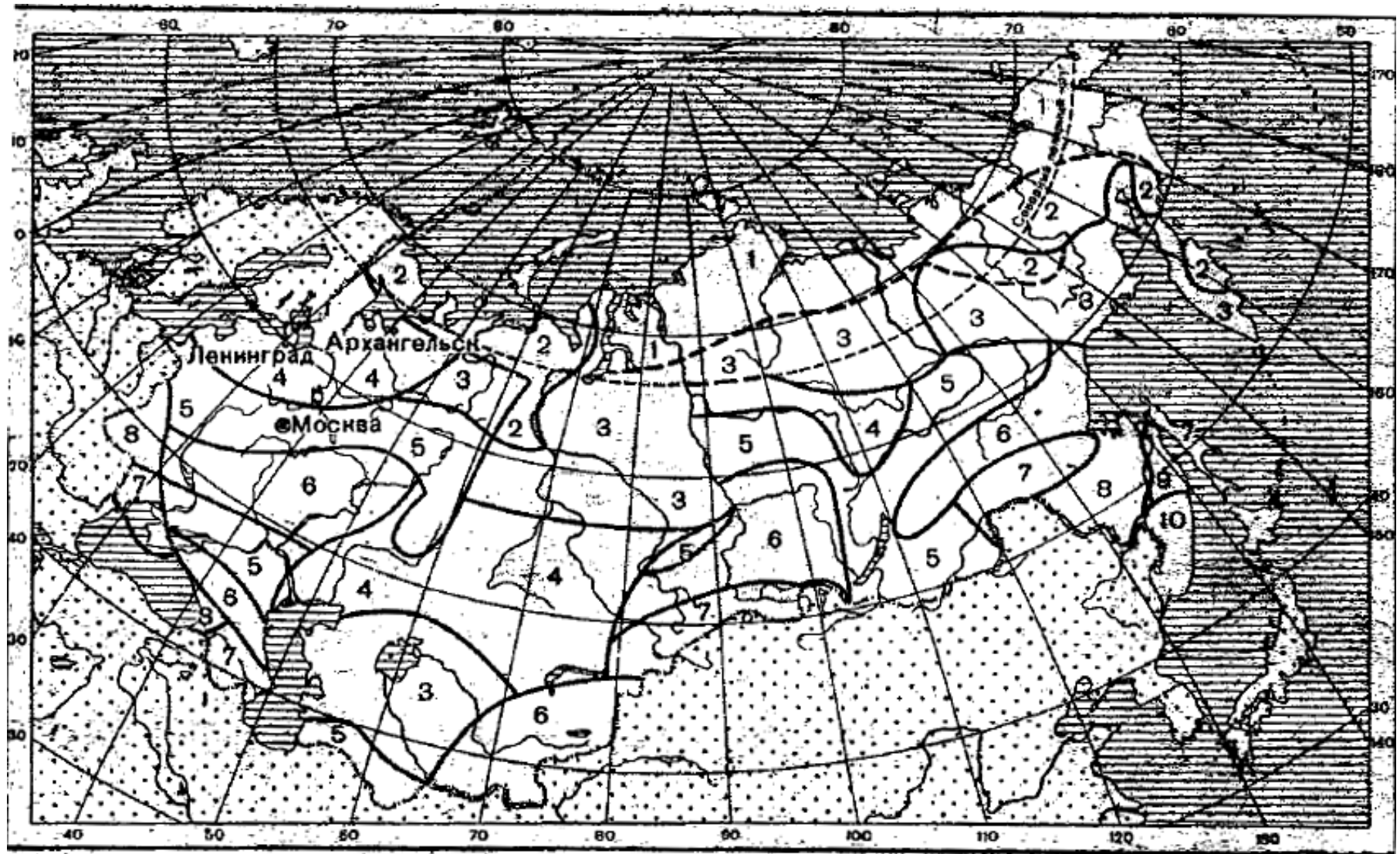


Рис. 5. Карта ливневого районирования

Таблица 3

Определение ливневого района

Ливневой район	Город
1	Ямал, Таймыр
2	Мурманск, Ненецкий округ
3	Салехард, Норильск, Верхоянск
4	Архангельск, С.-Петербург, Омск
5	Москва, Киров, Вологда, Якутск
6	Самара, Воронеж, Красноярск
7	Тбилиси, Ереван, Баку
8	Благовещенск, Хабаровск
9	Комсомольск-на-Амуре
10	Владивосток

По табл. 4 определяют интенсивность ливня часовой продолжительности в зависимости от вероятности превышения.

Таблица 4

Определение часовой интенсивности ливня

Ливневой район	Интенсивность ливня часовой продолжительности, %, при вероятности превышения $a_{\text{час}}$, мм/мин		
	$p = 1$ категория I	$p = 2$ категории II – III	$p = 3$ категории IV – V
1	0,40	0,34	0,32
2	0,50	0,45	0,42
3	0,70	0,58	0,52
4	0,90	0,74	0,69
5	0,97	0,82	0,75
6	1,01	0,89	0,81
7	1,15	0,97	0,89
8	1,41	1,24	1,15
9	1,48	1,28	1,20
10	1,74	1,46	1,35

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



Рис. 6. Функция распределения расхода воды

Вероятность превышения p (рис. 6) определяют по формуле

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

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

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

Способ определения расчетной

интенсивности ливня основан на *принципе предельных интенсивностей*, разработанном МАДИ, и использовании гидрометрических характеристик, установленных Союздорпроектом.

За расчетную, самую опасную, продолжительность ливня t принимают время добега воды, выпавшей в начале ливня, от наиболее удаленной точки бассейна до дороги или трубы:

$$t = L_{\text{л}} / v ,$$

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

Коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной зависит от длины и среднего уклона главного лога, и его определяют по следующей формуле или табл. 5:

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

Таблица 5

Определение значения коэффициента K_t перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной

Длина лога L , км	Значение K_t перехода при уклоне бассейна		
	0,001 = 1 ‰	0,01 = 10 ‰	0,1 = 100 ‰
0,15	5,24	5,24	5,24
0,30	3,86	5,24	5,24
0,50	2,76	3,93	5,24
0,75	2,08	2,97	4,50
1,0	1,71	2,53	3,74
1,25	1,49	2,20	3,24

Длина лога L , км	Значение K_t перехода при уклоне бассейна		
	0,001 = 1 ‰	0,01 = 10 ‰	0,1 = 100 ‰
1,50	1,30	1,93	2,82
1,75	1,18	1,75	2,58
2,0	1,07	1,59	2,35
2,5	0,92	1,37	2,02
3,0	0,82	1,21	1,79
3,5	0,74	1,10	1,62
4,0	0,68	1,00	1,48
4,5	0,62	0,93	1,37
5,0	0,58	0,86	1,27
6,0	0,52	0,76	1,13
6,5	0,49	0,73	1,07
7,0	0,47	0,69	1,02
8,0	0,43	0,63	0,93
9,0	0,39	0,58	0,86

При продолжительности ливня менее 5 мин коэффициент K_t достигает максимального значения $K_t = 5,24$, чему соответствует полный сток.

Объем ливневого стока $W_{л}$, м³, определяют по формуле

$$W_{л} = F h_{л} = 60\,000 a_{\text{час}} \alpha \varphi F / \sqrt{K_t}, \quad (7)$$

где $h_{л}$ – толщина слоя ливневого стока, мм.

Пример 2

Для Калужской области по карте ливневого районирования (см. рис. 5) устанавливают номер ливневого района – № 6.

Вероятность превышения расчетного паводка для труб на дорогах категории II принимают равной $p = 2\%$. По табл. 4 определяют интенсивность ливня часовой продолжительности $a_{\text{час}} = 0,89$.

Коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной определяют интерполяцией по табл. 5, $K_t = 1,34$. Коэффициент потерь стока принимают как $\alpha = 1$. Коэффициент редукции, учитывающий неполноту водоотдачи при больших площадях, вычисляют по формуле (6):

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

Максимальный расход ливневых вод определяют по формуле (5):

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

Объем ливневого стока определяют по формуле (7):

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

1.4. Расход талых вод

Согласно СП 33.101 на водосборах площадью менее 20 тыс. км² для трапецеидального гидрографа (см. рис. 4, б), когда максимальный расход наблюдается длительное время, т. е. более суток, максимальный расход талых вод $Q_{\text{т}}$, м³/с, определяют по формуле

$$Q_{\text{т}} = k h_{\text{т}} K_p F \delta_1 \delta_2 / (F + 1)^n, \quad (8)$$

где k – коэффициент дружности половодья: $k = 0,01$ для лесных районов, $k = 0,02$ для лесостепей, $k = 0,03$ для степей, $k = 0,06$ для пустынь, $k = 0,001 - 0,004$ для рек; $h_{\text{т}}$ – средняя толщина слоя стока талых вод, мм; K_p – коэффициент перехода к расчетной толщине слоя стока с вероятностью p в зависимости от коэффициента вариации C_v ; δ_1, δ_2 – коэффициенты, учитывающие потери стока при наличии леса или заболоченности на поверхности водосборного бассейна; n – показатель степени редукции: $n = 0,17$ для Сибири и северных регионов, $n = 0,25$ для средней полосы России, $n = 0,35$ для южных районов, $n = 0,15$ для гор.

Среднюю толщину слоя стока талых вод принимают по карте (рис. 7). Коэффициент вариации C_v слоя стока половодий определяют по карте (рис. 8).

Коэффициент перехода K_p к расчетной толщине слоя стока находят по номограмме (рис. 9) в зависимости от вероятности превышения p : для средней полосы России – $C_s = 2C_v$, для Сибири и северных регионов – $C_s = 3C_v$, для гор – $C_s = 4C_v$.

Коэффициенты залесенности или заболоченности поверхности водосборного бассейна определяют по формулам

$$\delta_1 = 1 / (1 + F_{\text{л}} / F), \quad \delta_2 = 1 - 0,7 \lg (1 + 0,1 F_{\text{б}} / F), \quad (9)$$

где $F_{\text{л}}$, $F_{\text{б}}$ – площадь лесов и болот на поверхности водосборного бассейна соответственно.

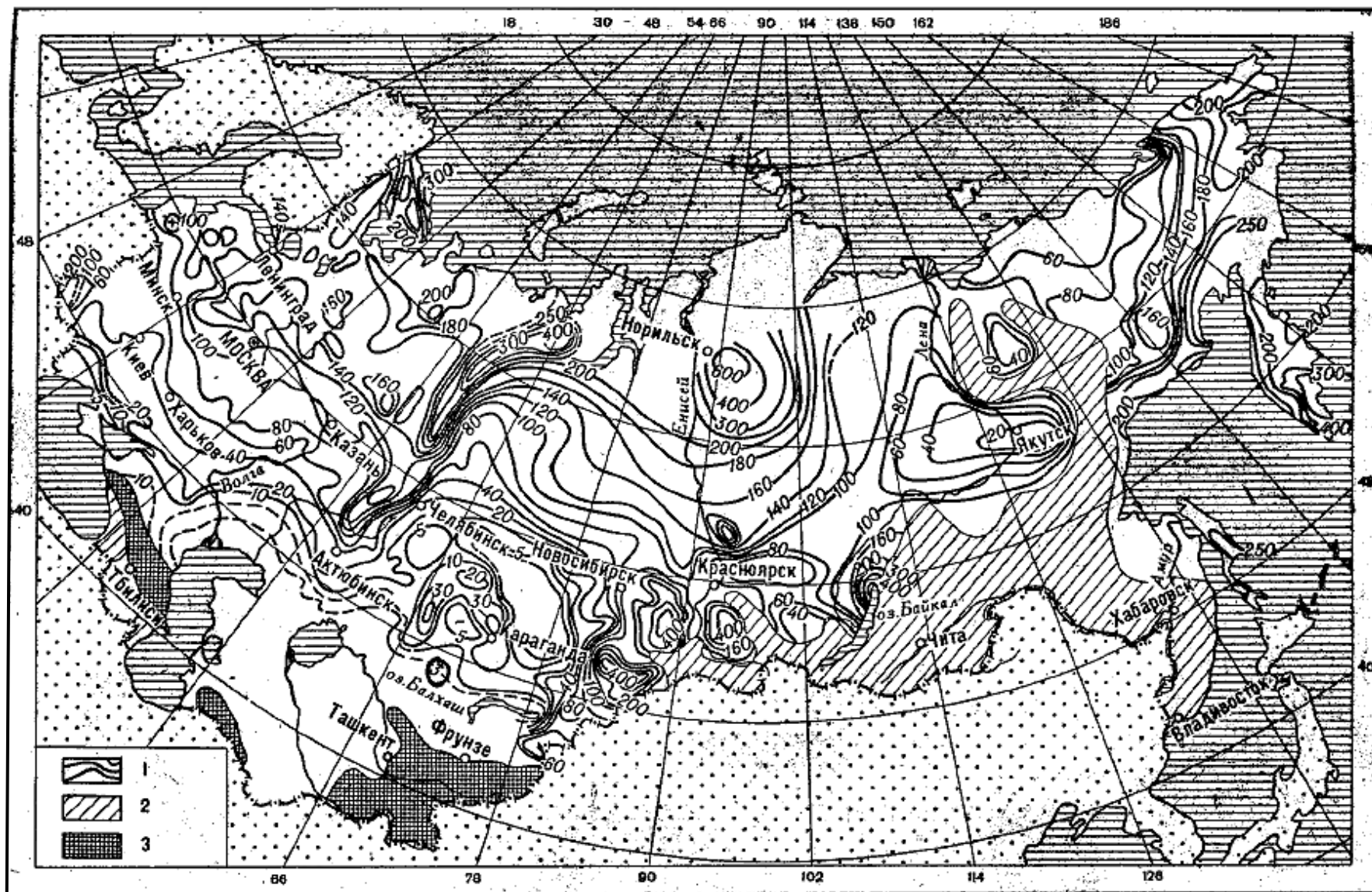


Рис. 7. Карта определения средней толщины h , среднего многолетнего слоя стока талых вод

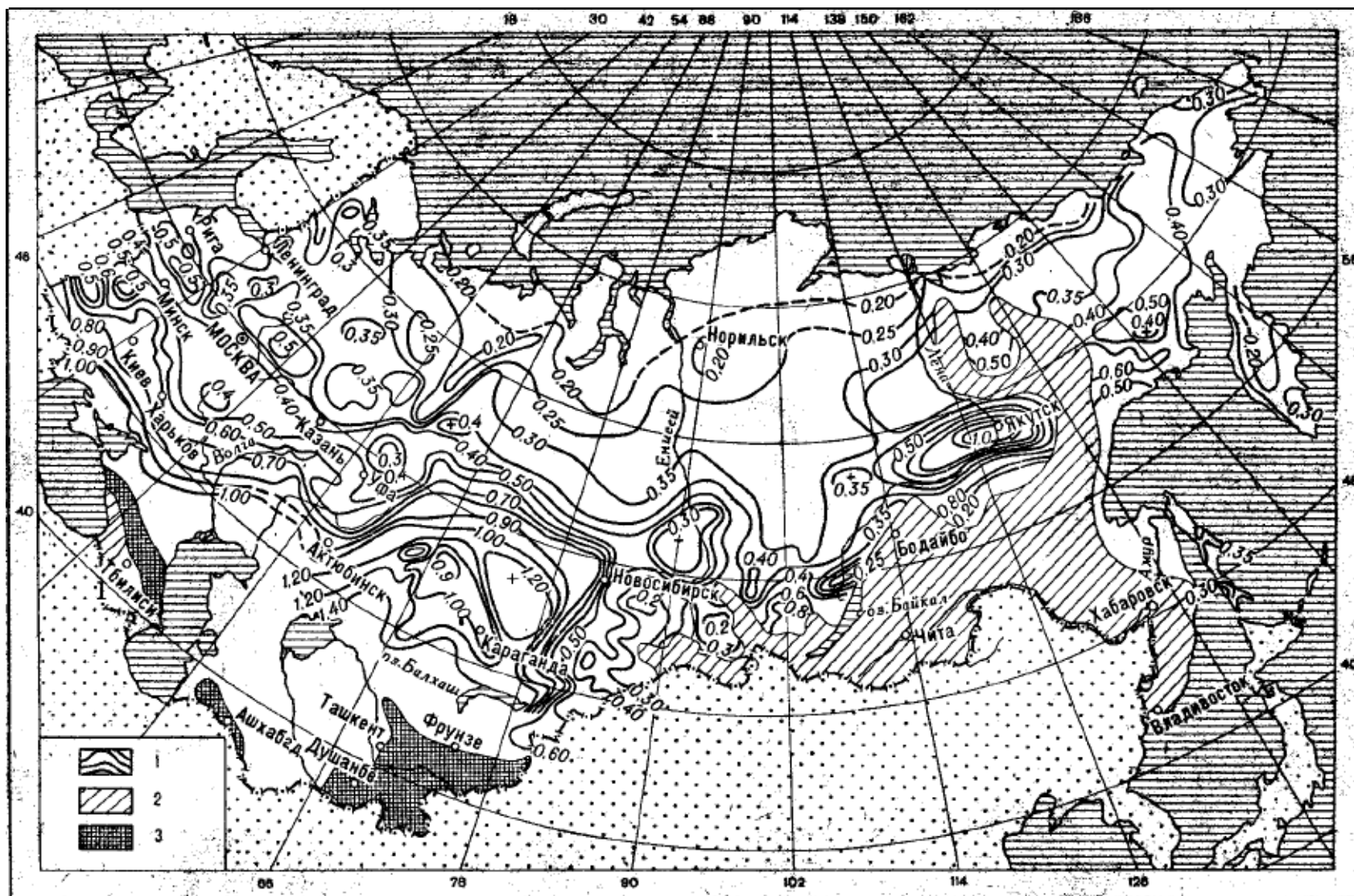


Рис. 8. Карта определения коэффициента вариации C_v слоя стока паводий

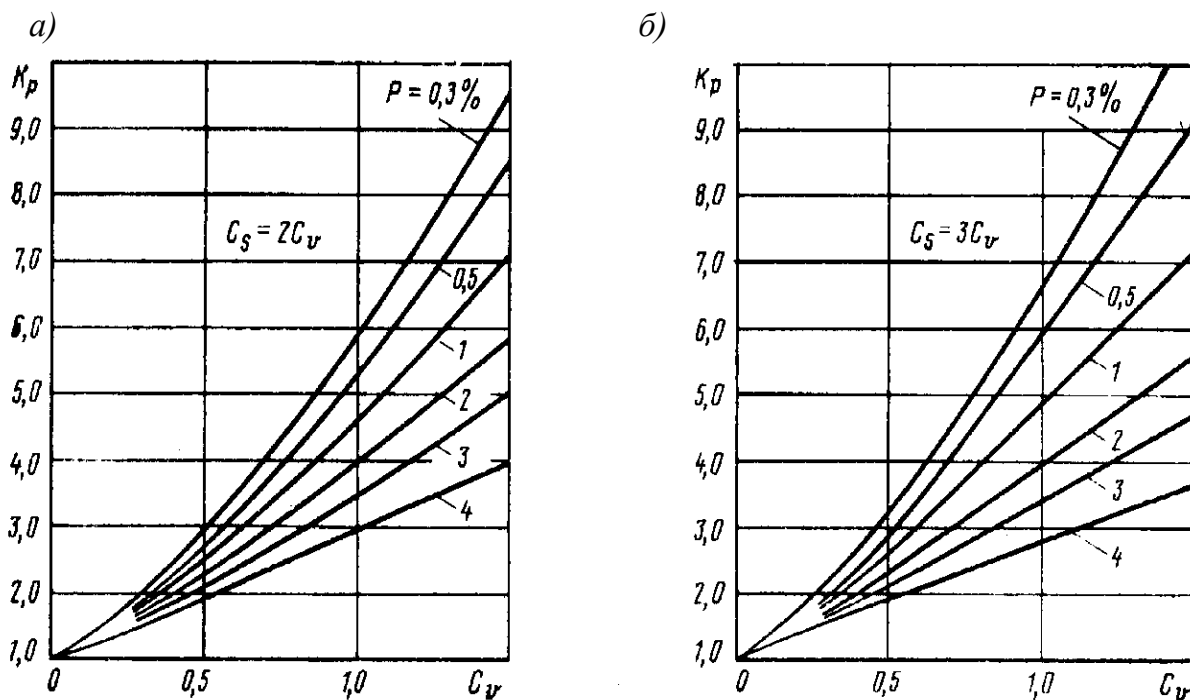


Рис. 9. Номограмма определения коэффициента K_p перехода к расчетной толщине слоя стока с вероятностью превышения: $p = 1\%$ для категории дорог I, $p = 2\%$ для категорий II, III, $p = 3\%$ для категорий IV, V: а – средняя полоса России; б – Сибирь и северные регионы

Пример 3

Коэффициент дружности половодья принимают как $k = 0,01$ для лесных районов.

Среднюю толщину слоя стока талых вод для Калужской области принимают по карте (см. рис. 7), $h_T = 100$ мм.

Коэффициент вариации слоя стока половодий определяют по карте (см. рис. 8), $C_v = 0,4$.

По номограмме (см. рис. 9) для вероятности превышения $p = 2\%$ и для средней полосы России ($2C_v$) находят $K_p = 2,0$. Показатель степени для средней полосы России принимают как $n = 0,25$.

Коэффициент, учитывающий наличие леса на поверхности водосборного бассейна, определяют по формуле (9):

$$\delta_1 = 1 / (1 + F_{л} / F) = 1 / (1 + 0,2 / 1,7) = 0,9.$$

Максимальный расход талых вод определяют по формуле (8):

$$Q_T = k h_T K_p F \delta_1 \delta_2 / (F + 1)^n = \\ = 0,01 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 0,9 \cdot 1 / \sqrt[4]{(1,7 + 1)} = 2,38 \text{ м}^3/\text{с}.$$

1.5. Расчет в программе CREDO Грис С

Программный комплекс CREDO разрабатывается в научно-производственном объединении КРЕДО-ДИАЛОГ (г. Минск) с 1989 г. (официальный сайт – www.credo-dialogue.com).

Программный комплекс CREDO предназначен для проектирования генпланов и автомобильных дорог, начиная с обработки инженерных изысканий, цифрового моделирования местности и заканчивая разработкой проектной документации. В настоящее время комплекс CREDO используют в 35 странах мира десятки тысяч специалистов из более чем 8 000 организаций различных отраслей производства, а также при подготовке инженеров-изыскателей и проектировщиков в 180 учебных заведениях стран СНГ и зарубежья.

К системе CREDO 3-го поколения (2006 г.) относят программы:

CREDO Топоплан – создание цифровой модели местности.

CREDO Генплан – разработка генерального плана объектов промышленного и гражданского строительства.

CREDO Ситуационный план – создание цифровой модели ситуации, проектирование планов.

CREDO Объемы – подсчет объемов земляных работ, формирование календарных планов учета количества строительных материалов на складе.

CREDO Дороги – проектирование автомобильных дорог.

CREDO Линейные изыскания – создание цифровой модели местности, проектирование плана и профилей трубопроводов.

Проектирование водопропускной трубы выполняют в программном комплексе CREDO с использованием программ Грис С и Грис Т. Разработку чертежа трубы осуществляют в программе «Трубы».

Пример 4

Ниже приведен расчет в программе CREDO Грис С для определения расхода дождевых вод по формуле МАДИ/Союздорпроекта (см. исходные данные для расчета и табл. 6, 7).

Исходные данные для расчета расхода ливневых вод

Ливневой район, №	6
Водосбор сооружения на ПК+	20 + 00
Площадь водосбора, км ²	1,7
Длина водосбора, км	2,6
Уклон водосбора, ‰	15
Форма бассейна	Двускатный с руслами
Поверхность бассейна/почвы	Скальный грунт

Таблица 6

Промежуточные расчеты

Вероятность превышения, %	Интенсивность ливня, мм/мин	Коэффициенты			
		перехода от часовой к расчетной K_t	редукции ϕ	склонового стока α	формы лога (бассейна) κ
2	0,89	1,34	0,49	0,57	0,77

Таблица 7

Результаты расчета расхода ливневых вод

Вероятность превышения, %	Расход стока, м ³ /с	Объем стока, тыс. м ³	Толщина слоя стока, мм
1	8,17	25,59	15
2	7,20	22,55	13
3	6,55	20,52	12

Ниже приведен расчет в программе CREDO Грис С для определения расхода талых вод по формуле СП 33-101-2003 (см. исходные данные для расчета и табл. 8).

Исходные данные для расчета расхода талых вод

Местоположение бассейна	20 + 00
Природная зона	Лесная
Тип водотока	Равнинный
Площадь бассейна, км ²	1,7
Уклон лога или водотока, ‰	15
Параметр дружности половодья	0,01
Средний слой весеннего стока, мм	100,0
Коэффициент к слою стока с карты	0,63
Коэффициент вариации C_v	0,4
Поправочный коэффициент к коэффициенту вариации C_v	1,25
Отношение C_s к C_v	$C_s = 2C_v$
Площадь снижения редукции, км ²	2,0
Показатель степени редукции	0,25
Площадь леса, км ²	0,2
Расположение леса на бассейне	Равномерное
Тип почвогрунтов под лесом	3
Зональная лесистость, %	22,0
Залесенность бассейна, %	11,76
Коэффициент снижения расхода δ_1	0,72

Таблица 8

Результаты расчета расхода талых вод

Вероятность превышения, %	Расход стока, м³/с	Толщина слоя стока, мм	Объем стока, тыс. м³
1	2,99	188	320,23
2	2,55	164	278,73
3	2,36	155	263,20

2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

2.1. Пропускная способность трубы

Режимы протекания воды в трубах зависят от подпора воды перед трубой и типа звена трубы на входе (рис. 10). Различают следующие режимы протекания воды в трубах:

1. *Безнапорный* режим при оголовках с нормальным звеном на входе (рис. 10, а). Труба работает на входе как водослив с широким порогом. Подпор воды на входе меньше высоты трубы или превышает ее не более чем на 30 %. На всем протяжении трубы уровень воды не превосходит $0,75h$, где h – высота трубы. Поток воды имеет свободную поверхность соприкосновения с воздухом на всем протяжении сооружения. На входе в трубу в сжатом сечении возникает гидравлический прыжок. Безнапорный – самый благоприятный режим, так как не дает размыва грунта русла на выходе. При проектировании трубы следует отдавать предпочтение данному режиму протекания воды в трубе.

2. *Полунапорный* режим при оголовках с нормальным звеном (рис. 10, а). Аналог – течение воды из-под щита. На входе труба затоплена и работает полным сечением. Подпор воды на входе превышает высоту трубы 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 при условии принятия конструктивных мер по обеспечению устойчивости трубы и против фильтрации воды через земляное полотно.

3. *Напорный* режим при оголовках с коническим звеном обтекаемой формы (рис. 10, б). Аналог – течение воды в трубопроводе. На входе и всем протяжении труба работает полным сечением. Подпор воды на входе превышает высоту трубы более чем на 40 %, и поток воды не имеет свободной поверхности соприкосновения с воздухом. У выхода из трубы поток воды может иметь свободную поверхность. Рекомендуется применять напорный режим трубы при пересечении глубоких логов с крутыми склонами и высокими насыпями.

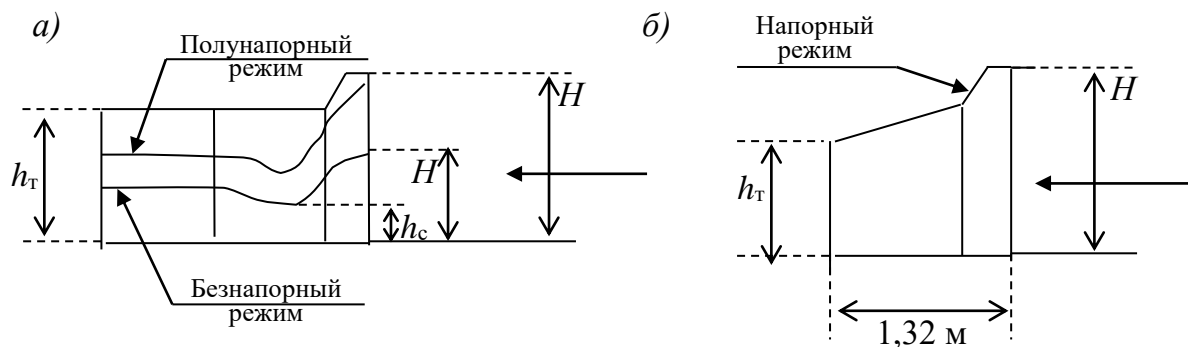


Рис. 10. Схема протекания воды в трубе:
 а – с нормальным звеном на входе; б – с коническим звеном;
 H – подпор воды на входе; h_m – высота (диаметр) трубы;
 h_c – глубина в сжатом сечении

Участок водотока до сооружения называют 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.

Используя уравнение равномерного течения жидкости, можно рассчитать пропускную способность трубы, 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), $\varphi_1 = 0,85$ для оголовка с нормальным звеном на входе; H – глубина подпора воды перед трубой; h_c – глубина в сжатом сечении; Δh – перепад высот;

б) полунапорный режим

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

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

где $h_{вх}$ – высота полного сечения на входе в трубу; $w_{вх}$ – 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 – высота сечения внутри трубы; w_t – площадь сечения внутри трубы; φ – коэффициент скорости (сопротивления), $\varphi_2 = 0,95$ для оголовка с коническим звеном на входе.

Данные расчета по приведенным выше формулам сведены в типовой проект на водопропускные круглые железобетонные трубы для железных и автомобильных дорог (табл. 9) и могут быть представлены в виде номограммы (рис. 11).

Таблица 9

Гидравлическая характеристика круглых труб

Диаметр трубы, м	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с
Безнапорный режим			Полунапорный режим			Напорный режим			
0,75	0,35	0,4	1,68	0,74	1	2,79	1,10	1,1	2,49
	0,39	0,5	1,88	0,80	1,1	3,04	1,25	1,2	2,82
	0,44	0,6	2,06	0,86	1,2	3,26	1,38	1,3	3,12
	0,49	0,7	2,23	0,92	1,3	3,47	1,50	1,4	3,39
	0,53	0,8	2,38	0,97	1,4	3,67	1,61	1,5	3,64
	0,58	0,9	2,53	1,02	1,5	3,86	1,71	1,6	3,88
	0,62	1	2,66	1,07	1,6	4,04	1,81	1,7	4,10
1,0	0,68	0,5	1,88	1,48	1,3	3,15	2,09	1,4	2,66
	0,76	0,6	2,06	1,59	1,4	3,37	2,34	1,5	2,98
	0,84	0,7	2,23	1,68	1,5	3,57	2,56	1,6	3,26
	0,91	0,8	2,38	1,77	1,6	3,77	2,76	1,7	3,52
	0,98	0,9	2,53	1,86	1,7	3,95	2,95	1,8	3,76
	1,05	1	2,66	1,94	1,8	4,12	3,13	1,9	3,99
	1,12	1,1	2,79	2,02	1,9	4,29	3,30	2	4,21
	1,19	1,2	2,92	2,10	2	4,45	3,46	2,1	4,41
1,25	1,05	0,5	1,88	2,70	1,7	3,67	3,83	1,8	3,12
	1,16	0,6	2,06	2,84	1,8	4,30	4,16	1,9	3,39
	1,27	0,7	2,23	2,97	1,9	4,44	4,47	2	3,64
	1,38	0,8	2,38	3,10	2	4,58	4,76	2,1	3,88
	1,49	0,9	2,53	3,22	2,1	4,70	5,03	2,2	4,10
	1,59	1	2,66	3,34	2,2	4,81	5,29	2,3	4,31
	1,69	1,1	2,79	3,45	2,3	4,92	5,53	2,4	4,51
	1,79	1,2	2,92	3,56	2,4	5,02	5,77	2,5	4,70
	1,88	1,3	3,04	3,67	2,5	5,11	6,00	2,6	4,89
	1,98	1,4	3,15				6,22	2,7	5,07

Продолжение табл. 9

Диаметр трубы, м	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с
	Безнапорный режим			Полунапорный режим			Напорный режим		
1,25	2,08	1,5	3,26						
	2,17	1,6	3,37						
	2,27	1,7	3,47						
1,5	1,49	0,5	1,88	4,18	2	3,95	5,76	2,1	3,26
	1,65	0,6	2,06	4,37	2,1	4,12	6,22	2,2	3,52
	1,80	0,7	2,23	4,55	2,2	4,29	6,65	2,3	3,76
	1,95	0,8	2,38	4,72	2,3	4,45	7,05	2,4	3,99
	2,10	0,9	2,53	4,89	2,4	4,61	7,43	2,5	4,21
	2,23	1	2,66	5,05	2,5	4,76	7,80	2,6	4,41
	2,37	1,1	2,79	5,20	2,6	4,91	8,14	2,7	4,61
	2,50	1,2	2,92	5,35	2,7	5,05	8,47	2,8	4,80
	2,64	1,3	3,04	5,50	2,8	5,19	8,79	2,9	4,98
	2,77	1,4	3,15				9,10	3	5,15
	2,89	1,5	3,26				9,40	3,1	5,32
	3,02	1,6	3,37				9,69	3,2	5,49
	3,15	1,7	3,47						
	3,27	1,8	3,57						
	3,40	1,9	3,67						
3,52	2	3,77							
2,0	2,61	0,5	1,88	8,39	2,6	4,45	11,82	2,8	3,76
	2,88	0,6	2,06	8,69	2,7	4,61	12,53	2,9	3,99
	3,14	0,7	2,23	8,97	2,8	4,76	13,21	3	4,21
	3,39	0,8	2,38	9,25	2,9	4,91	13,86	3,1	4,41
	3,63	0,9	2,53	9,52	3	5,05	14,47	3,2	4,61
	3,86	1	2,66	9,78	3,1	5,19	15,07	3,3	4,80
	4,08	1,1	2,79	10,03	3,2	5,32	15,63	3,4	4,98
	4,30	1,2	2,92	10,28	3,3	5,46	16,18	3,5	5,15
	4,52	1,3	3,04	10,52	3,4	5,58	16,71	3,6	5,32
	4,73	1,4	3,15	10,76	3,5	5,71	17,23	3,7	5,49
	4,93	1,5	3,26				17,73	3,8	5,65
	5,14	1,6	3,37				18,21	3,9	5,80
	5,34	1,7	3,47				18,69	4	5,95
	5,54	1,8	3,57				19,15	4,1	6,10
	5,74	1,9	3,67				19,60	4,2	6,24
5,94	2	3,77							

Диаметр трубы, м	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с
	Безнапорный режим			Полунапорный режим			Напорный режим		
2,0	6,14	2,1	3,86						
	6,33	2,2	3,95						
	6,53	2,3	4,04						
	6,72	2,4	4,12						
	6,91	2,5	4,21						
	7,10	2,6	4,29						

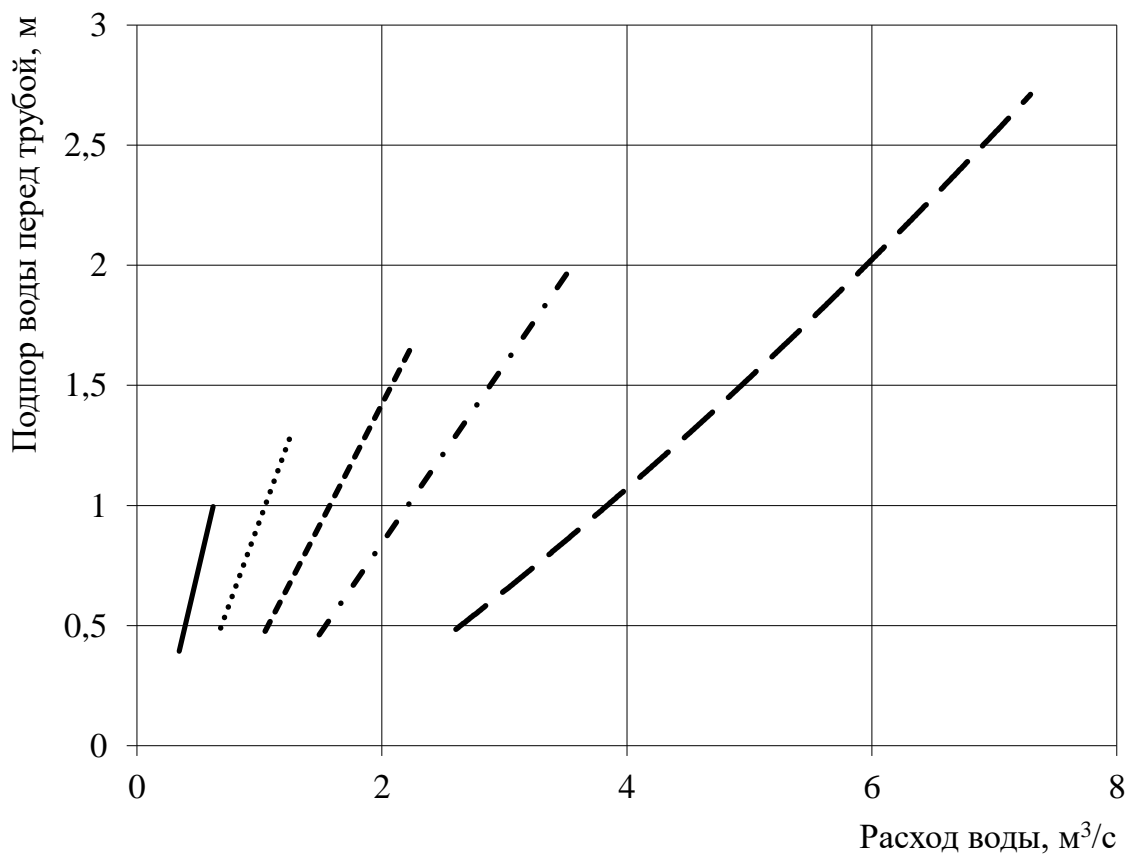


Рис. 11. График пропускной способности трубы:

- — — — — линейная ($d = 0,75$ м);
- — линейная ($d = 1$ м);
- - - - - линейная ($d = 1,25$ м);
- . - — — — — — линейная ($d = 1,5$ м);
- - - — — — — — полиномиальная ($d = 2$ м);

Для определения размера отверстия трубы за расчетный расход принимают большее из найденных значений максимального расхода ливневого и талого стоков воды. Для средней полосы России обычно это расход ливневого стока, так как расход талого стока воды всегда меньше.

Для повышения пропускной способности трубы без увеличения высоты насыпи устраивают уложенные рядом многоочковые трубы небольшого диаметра. Наблюдения показали, что в этих случаях расход равномерно распределяется между ними. Действующие нормы проектирования допускают устраивать трубы, состоящие не более чем из трех отверстий круглого и двух отверстий прямоугольного поперечного сечения. Такие трубы укладывают параллельно по две или три.

Конструктивно назначают отверстие трубы:

- 0,5 м на съезде;
- 0,75 м при длине менее 15 м для дорог ниже категории III;
- 1,0 м при длине менее 20 м для дорог ниже категории II.

При малом диаметре и большой длине трубы затруднены работы по ремонту и содержанию.

Пример 5

По максимальному расходу талых вод (см. п. 1.4) и максимальному расходу ливневых вод (см. п. 1.3) назначить по табл. 9 варианты отверстия трубы и заполнить табл. 10.

Таблица 10

Варианты круглых железобетонных труб

№ п/п	Вид воды	Режим протекания воды	Оголовок трубы	Диаметр трубы, м	Расход воды, м ³ /с	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с
1	Талая	Безнапорный	Раструбный с нормальным звеном	1,5	2,37	1,1	2,79
2	Талая	Безнапорный		2,0	2,61	0,5	1,88
3	Ливневая	Полунапорный		2 × 2,0	2 · 8,39 = = 16,78	2,6	4,45
4	Ливневая	Напорный	Раструбный с коническим звеном	2,0	16,71	3,6	5,32

Вывод

Расчетное отверстие трубы принимают по наибольшему из расходов воды: талых вод или ливневого стока.

Из предложенных вариантов по наибольшему расходу ливневого стока из экономических соображений назначаем трубу отверстием 2,0 м в напорном режиме с раструбным оголовком и коническим звеном на входе.

2.2. Расчет в программе CREDO Грис Т

Пример 6

Ниже приведен расчет в программе CREDO Грис Т определения отверстия трубы для пропуска талых вод с вероятностью превышения 2 % (см. исходные данные и табл. 12, 13). Коэффициент шероховатости приведен в табл. 11.

Таблица 11

Коэффициент шероховатости

Вид укрепления	Коэффициент шероховатости
Грунт	0,03 – 0,05
Укрепление засеваем трав	0,025
Щебень	0,020
Бетон	0,014 – 0,017

Исходные данные для талых вод

Расположение сооружения, ПК+	20 + 00 TSP
Труба	Проектируемая
Вид стока	Талый
Расчетный расход Q , м ³ /с	2,55
Объем стока W , тыс. м ³	278,728
Средний уклон левого склона, ‰	40
Средний уклон правого склона, ‰	25
Средневзвешенный уклон лога, ‰	15
Коэффициент шероховатости русла	0,05
Угол пересечения трубы с трассой, град.	90
Бытовая глубина, м	0,37
Бытовая скорость, м/с	0,56

Таблица 12

Характеристика трубы для талых вод

Параметр	Показатель
Тип оголовка трубы	Раструбный
Количество очков трубы, шт.	1
Диаметр очка трубы, м	1,25
Ширина земполотна, м	15
Уклон трубы, ‰	10
Коэффициент шероховатости лотка трубы	0,014

Таблица 13

Результаты расчета для талых вод

Характеристика	Показатель
Режим безнапорный	–
Подпор воды перед трубой, м	1,47
Глубина воды на выходе, м	0,58
Скорость воды на выходе, м/с	4,6
Минимально допустимая высота земполотна, м	1,97

Ниже приведен расчет в программе CREDO Грис Т определения отверстия трубы для пропуска ливневых вод с вероятностью превышения 2 % и с учетом аккумуляции (см. исходные данные и табл. 14, 15).

Исходные данные для ливневых вод

Расположение сооружения, ПК+	20 + 00 МАДИ
Труба	Проектируемая
Вид стока	Ливневой
Расчетный расход Q , м ³ /с	7,2
Объем стока W , тыс. м ³	22,546
Средний уклон левого склона, ‰	40
Средний уклон правого склона, ‰	25
Средневзвешенный уклон лога, ‰	15
Коэффициент шероховатости русла	0,05
Допустимая глубина пруда, м	1,8
Угол пересечения трубы с трассой, град.	90
Бытовая глубина, м	0,54
Бытовая скорость, м/с	0,77

Таблица 14

Характеристика трубы для ливневых вод

Параметр	Показатель
Тип оголовка трубы	Раструбный
Количество очков трубы, шт.	2
Диаметр очка трубы, м	1,5
Ширина земполотна, м	15
Уклон трубы, ‰	10
Коэффициент шероховатости лотка трубы	0,014

Таблица 15

Результаты расчета для ливневых вод

Характеристика	Показатель
Коэффициент аккумуляции	0,85
Расход воды в сооружении, м ³ /с	3,06
Режим безнапорный	–
Подпор воды перед трубой, м	1,49
Глубина воды на выходе, м	0,58
Скорость воды на выходе, м/с	4,85
Минимально допустимая высота земполотна, м	2,3

По результатам расчета в программе CREDO Грис Т заполнить табл. 16.

Таблица 16

Варианты круглых железобетонных труб

№ п/п	Вид воды	Режим протекания воды	Оголовок трубы	Диаметр трубы, м	Расход воды, м ³ /с	Коэффициент аккумуляции	Подпор воды, м	Скорость, м/с
1	Талая	Безнапорный	Раструбный	1,25	2,55	–	1,47	4,6
2	Ливневая	Безнапорный	с нормальным звеном	2 × 1,5	2·3,06 = 6,12	0,85	1,49	4,85

Вывод

Расчетное отверстие трубы принимают по наибольшему из расходов воды – талых вод или ливневого стока – с учетом аккумуляции.

Из предложенных вариантов по наибольшему расходу ливневого стока с учетом аккумуляции назначаем двухочковую трубу отверстием 2 × 1,5 м в безнапорном режиме с раструбным оголовком и нормальным звеном на входе.

2.3. Учет аккумуляции воды

Расчет пропускной способности трубы с учетом аккумуляции ведут для ливневых вод.

Труба почти всегда сильно стесняет поток воды и изменяет 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, которую необходимо учитывать при гидрологическом расчете. При определении размера отверстия сооружения в этом случае нужно производить *учет аккумуляции* – снижение расчетного расхода, а значит и уменьшение размера необходимого отверстия трубы в связи с накоплением воды перед сооружением.

Какая будет глубина воды пруда – временного водоема – перед сооружением, пока неизвестно, так как она зависит от рельефа местности, размера отверстия сооружения.

Расчет пропускной способности трубы без учета аккумуляции ведут в следующих условиях:

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

- в случае если имеют место паводковые воды, образовавшиеся 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. 12).

Объем пруда перед сооружением $W_{пр}$ (рис. 13) определяют по формуле

$$W_{пр} = (m_1 + m_2) H^3 / 6 i_{л} = k H^3,$$

где m_1, m_2 – средние коэффициенты откоса поперечных склонов у сооружения; H^3 – подпор воды; $i_{л}$ – уклон главного лога (талвега); k – коэффициент формы лога.

Для треугольного гидрографа расход стока ливневых вод снизится, и его определяют по формуле

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

где $W_{\text{пр}} / W_{\text{л}}$ – степень изменения паводка, показатель регулирующей способности лога; λ – коэффициент аккумуляции (снижение расчетного расхода воды), учитывающий рельеф местности, отверстие сооружения (принимают по табл. 17). По СП 35.13330 уменьшение расхода воды не допускается более чем в три раза, т. е. $0,33 \leq \lambda < 1$.

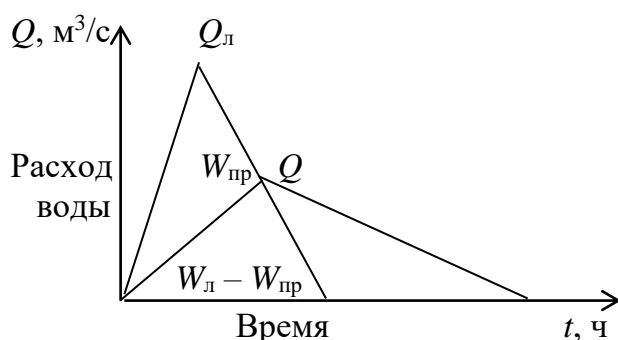


Рис. 12. Гидрограф стока с учетом аккумуляции

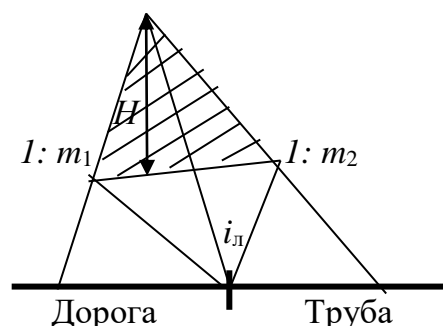


Рис. 13. Схема к расчету объема пруда

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

Таблица 17

Коэффициент аккумуляции λ

Степень изменения паводка, $W_{\text{пр}} / W_{\text{л}}$	Коэффициент аккумуляции λ	Степень изменения паводка, $W_{\text{пр}} / W_{\text{л}}$	Коэффициент аккумуляции λ	Степень изменения паводка, $W_{\text{пр}} / W_{\text{л}}$	Коэффициент аккумуляции 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		

Метод подбора при определении отверстия с учетом аккумуляции пригоден для малых мостов. Для водопропускных труб применяют графоаналитический метод определения размера отверстия с учетом аккумуляции.

Алгоритм расчета отверстия трубы с учетом аккумуляции графоаналитическим методом приведен ниже.

Уравнение $Q = \lambda Q_{\text{л}}$ отражают на графике (рис. 14) в виде прямой линии, соединив точку $Q_{\text{л}}$ (расход ливневых вод) и $W_{\text{л}}/k$ (объем ливневых вод / коэффициент формы лога).

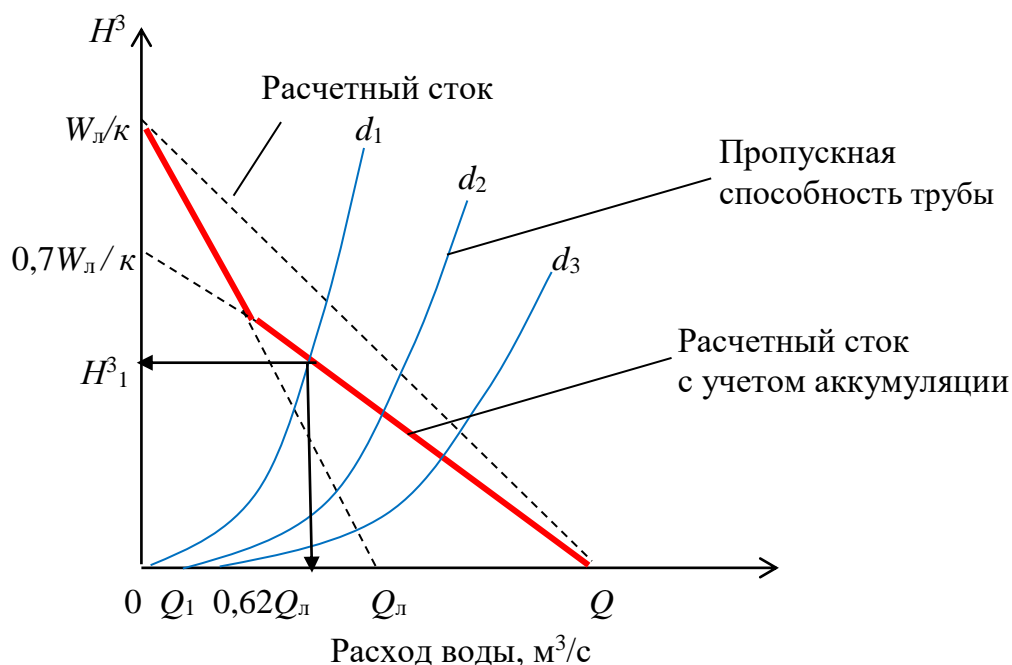


Рис. 14. Графоаналитический метод учета аккумуляции:

$d_1 \dots d_3$ – отверстия трубы; Q – расход стока воды;

H – подпор воды; W – объем стока воды

По уточненному расчету, где гидрограф стока выражен криволинейно – более сложной формулой, строим ломаную линию (см. рис. 14), состоящую из двух отрезков, которая охватывает всю допустимую по СП 35.13330 зону снижения расходов и приводит к большему уменьшению расхода воды:

1-й отрезок: $Q = 0,62 Q_{\text{л}}(1 - \kappa H^3 / W_{\text{л}})$ при $H^3 = 0$, $Q = 0,62 Q_{\text{л}}$;

2-й отрезок: $Q = Q_{\text{л}}(1 - \kappa H^3 / 0,7 W_{\text{л}})$ при $Q = 0$, $H^3 = 0,7 W_{\text{л}} / \kappa$,

где 0,7 – коэффициент, учитывающий форму гидрографа; 0,62 – коэффициент, учитывающий требования СП 35.13330.

График пропускной способности трубы перестраивают в новую систему координат для различных отверстий труб $H^3 = f(Q_c)$. Данные для построения берут из гидравлических характеристик круглых труб (см. табл. 9).

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

Пример 7

Расчет отверстия трубы с учетом аккумуляции ливневых вод произведен в программе Microsoft Office Excel графоаналитическим методом.

Исходные данные берем из пп. 1.1 и 1.3:

Расход ливневого стока $Q_{\text{л}} = 16,6 \text{ м}^3/\text{с}$.

Объем ливневого стока $W_{\text{л}} = 38\,413 \text{ м}^3$.

Коэффициент формы лога $\kappa = 722$.

Рассчитать:

$W_{\text{л}} / \kappa = 38\,413 / 722 = 53,2 \text{ м}^3$.

$Q = 0,62 Q_{\text{л}} = 16,6 \cdot 0,62 = 10,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

$H^3 = 0,7 W_{\text{л}} / \kappa = 0,7 \cdot 53,2 = 37,1 \text{ м}^3$.

В новом файле программы Microsoft Office Excel оформить табл. 22 и построить график (см. рис. 14).

График пропускной способности трубы (см. табл. 9, рис. 11) перестроить в новую систему координат $H^3 = f(Q_c)$ (табл. 19, рис. 15).

Для двухочковых труб по оси абсцисс отложить расход, приходящийся на два очка, т. е. вдвое больший, чем на одно.

Исходные данные

Расход ливневого стока, м ³ /с		Подпор воды, м ³	
Условное обозначение	Ось абсцисс X	Условное обозначение	Ось ординат Y
	0	$H^3 = W_{л} / \kappa$	53
$Q = Q_{л}$	16,6		0
Учет формы гидрографа			
	0	$H^3 = 0,7 W_{л} / \kappa$	37,1
$Q = Q_{л}$	16,6		0
Учет требований СП 35.13330.2011			
	0	$H^3 = W_{л} / \kappa$	53
$Q = 0,62 Q_{л}$	10,3		0

Определить точку пересечения ломаной линии аккумуляции с кривой пропускной способности трубы по вариантам:

- $d = 1,5$ м в напорном режиме: $Q_1 = 7,9$ м³/с, $H^3_1 = 19,8$ м³,
 $H_1 = 2,71$ м;
- $d = 2,0$ м в полунанпорном режиме: $Q_2 = 8,5$ м³/с, $H^3_2 = 18,0$ м³,
 $H_2 = 2,62$ м.

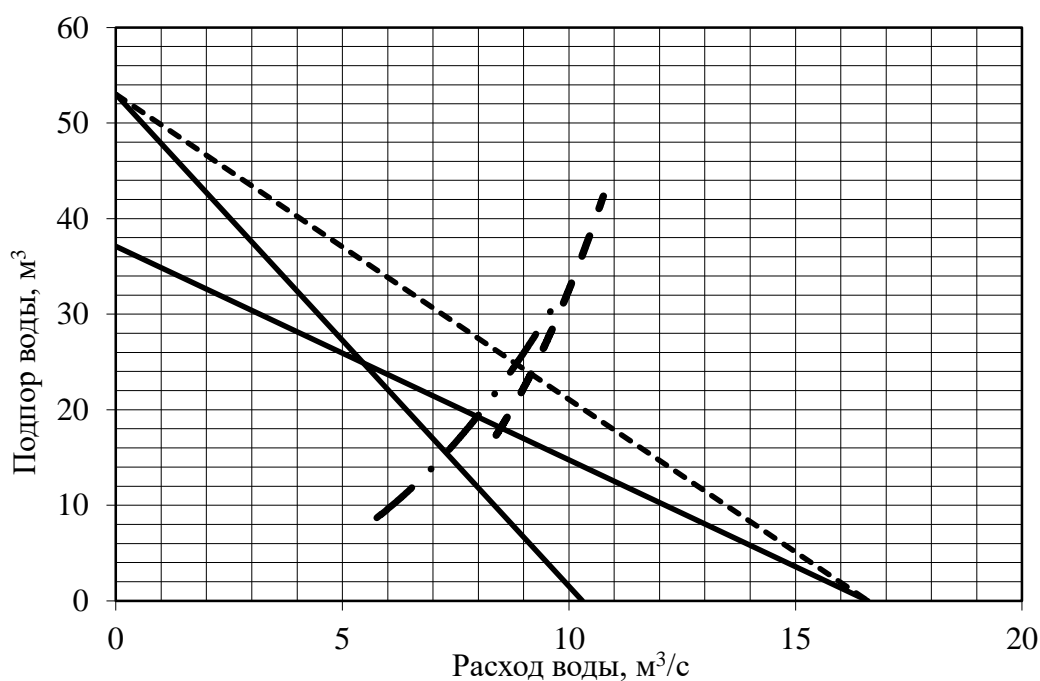


Рис. 15. Графоаналитический метод учета аккумуляции:
 ···· $d = 1,5$ м напорный; --- $d = 2,0$ м полунанпорный;
 ---- расчетный сток; — учет формы гидрографа
 и требований СП 35.13330

Для $d = 1,5$ м в напорном режиме коэффициент аккумуляции составит $\lambda = Q_1/Q_{л} = 7,9/16,59 = 0,48$.

Степень изменения паводка, или показатель регулирующей способности лога, определяют как $W_{пр}/W_{л} = 0,34$ по табл. 21.

Объем пруда составит $W_{пр} = 0,34 \cdot 38413 = 13\ 060$ м³.

Для $d = 2,0$ м в полупапорном режиме коэффициент аккумуляции составит $\lambda = Q_2/Q_{л} = 8,5/16,59 = 0,51$.

Степень изменения паводка, или показатель регулирующей способности лога, определяют как $W_{пр}/W_{л} = 0,32$ по табл. 21.

Объем пруда составит $W_{пр} = 0,32 \cdot 38413 = 12\ 292$ м³.

Результаты расчета занести в табл. 20.

Таблица 19

*Данные для построения графика пропускной способности
трубы по вариантам*

Диаметр трубы d , м	Расход Q , м ³ /с	Подпор воды		Диаметр трубы d , м	Расход Q , м ³ /с	Подпор воды	
		H , м	H^3 , м ³			H , м	H^3 , м ³
1-й вариант $d = 1,5$ м Напорный режим Коническое звено на входе	5,76	2,1	9,26	2-й вариант $d = 2$ м Полупапорный режим Нормальное звено на входе	8,39	2,6	17,58
	6,22	2,2	10,65		8,69	2,7	19,68
	6,65	2,3	12,17		8,97	2,8	21,95
	7,05	2,4	13,82		9,25	2,9	24,39
	7,43	2,5	15,63		9,52	3	27,00
	7,80	2,6	17,58		9,78	3,1	29,79
	8,14	2,7	19,68		10,03	3,2	32,77
	8,47	2,8	21,95		10,28	3,3	35,94
	8,79	2,9	24,39		10,52	3,4	39,30
	9,10	3	27,00		10,76	3,5	42,88
	9,40	3,1	29,79	—	—	—	
	9,69	3,2	32,77	—	—	—	

Таблица 20

Результат расчета

Номер варианта п/п	Диаметр трубы d , м	Расход воды Q , м ³ /с	Подпор воды H^3 , м ³	Подпор воды H , м	Коэффициент аккумуляции λ	Степень изменения паводка $W_{пр} / W_{л}$	Объем ливня $W_{л}$, м ³	Объем пруда $W_{пр}$, м ³
1	1,5	7,9	19,80	2,71	0,48	0,34	38413	13 060
2	2	8,5	18,00	2,62	0,51	0,32		12 292

Данные – диаметр трубы, режим протекания, расход воды, величину подпора воды перед трубой, тип оголовка трубы на входе, коэффициент аккумуляции, скорость воды – занести в табл. 21.

Таблица 21

Варианты круглых железобетонных труб

№ п/п	Вид воды	Режим протекания воды	Оголовок трубы	Диаметр трубы, м	Расход воды, м ³ /с	Коэффициент аккумуляции	Подпор воды, м	Скорость воды, м/с
1	Ливневая с аккумуляцией	Напорный	Раструбный с коническим звеном	1,5	7,9	0,48	2,71	4,52
2	Ливневая с аккумуляцией	Полунапорный	Раструбный с нормальным звеном	2,0	8,5	0,51	2,62	4,45

Вывод

Расчетное отверстие трубы принимают по наибольшему из расходов воды – талых вод или ливневого стока – с учетом аккумуляции.

Из предложенных вариантов по максимальному расходу ливневого стока с учетом аккумуляции из экономических соображений назначаем трубу отверстием 1,5 м в напорном режиме с раструбным оголовком и коническим звеном на входе.

3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ

3.1. Минимальная высота насыпи над трубой

При безнапорном режиме протекания воды в трубе минимальную высоту насыпи над трубой h_{\min} , м, определяют по формуле

$$h_{\min} = d_T + \delta_T + h_{\text{п}} + h_{\text{до}}, \quad (10)$$

где d_T – высота (диаметр) трубы, м; δ_T – толщина стенки трубы, м (табл. 22); $h_{\text{п}}$ – засыпка песком, грунтом, $h_{\text{п}} = 0,5$ м; $h_{\text{до}}$ – толщина дорожной одежды, $h_{\text{до}} = 0,4 - 0,6$ м.

Таблица 22

Звено средней части трубы

Диаметр трубы, м	Толщина стенки, см	Бетонный блок			Одно звено	Расход на 1 пог. м трубы					
		Марка	Длина, м	Масса, т		Бетон В30, м ³	Конопатка швов паклей, кг	Гидроизоляция, м ²		Рытье котлована, м ³	Основание из щебеночно-песчаной смеси, м ³
								Оклеечная	Обмазочная		
0,50	8	ЗК1.100	1,0	0,4	0,15	0,18	0,17	2,1	0,2	0,2	
0,75	8	ЗК2.100	1,0	0,5	0,21	0,26	0,20	2,9	0,4	0,4	
0,75	8	ЗК2.300	3,0	1,6	0,63	0,26	0,20	2,9	0,4	0,4	
1,00	10	ЗК3.200	2,0	1,8	0,70	0,50	0,22	3,8	0,5	0,5	
1,00	10	ЗК3.300	3,0	2,7	1,05	0,50	0,22	3,8	0,5	0,5	
1,25	12	ЗК5.200	2,0	2,6	1,04	0,80	0,30	4,7	0,7	0,7	
1,25	12	ЗК5.300	3,0	3,9	1,56	0,80	0,30	4,7	0,7	0,7	
1,50	14	ЗК8.200	2,0	3,6	1,44	1,16	0,35	5,2	0,9	0,9	
1,50	14	ЗК8.300	3,0	5,4	2,16	1,16	0,35	5,2	0,9	0,9	
2,00	20	ЗК11.200	2,0	7,0	1,90	2,23	0,48	5,6	1,2	1,2	
2,00	20	ЗК11.300	3,0	10,5	3,28	2,23	0,48	5,6	1,2	1,2	

При полупонапорном и напорном режиме протекания воды в трубе минимальную высоту насыпи над трубой определяют по формуле

$$h_{\min} = H + 1, \quad (11)$$

где H – отметка уровня высоких вод (УВВ), или подпор воды перед трубой, м.

Пример 8

При напорном режиме протекания воды в трубе минимальную высоту насыпи над трубой определяют по формуле (11):

$$h_{\min} = H + 1 = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ м.}$$

Высоту насыпи над трубой принимают по наибольшей:

- по проекту (задание) – 4,5 м;
- минимально допустимая – 2,2 м.

Вывод: Для дальнейших расчетов принимаем наибольшую высоту насыпи над трубой, равной 4,5 м.

3.2. Конструирование трубы

Требуемая длина трубы определяется как расстояние между точками пересечения проектной линии трубы с откосами насыпи.

Требуемую длину средней части трубы по лотку $L_{\text{тр}}$ определяют по формуле

$$L_{\text{тр}} = B_{\text{зп}} + 2m(h_{\text{н}} - d_{\text{т}} - \delta_{\text{т}}), \quad (12)$$

где $B_{\text{зп}}$ – ширина земляного полотна, м; m – заложение откосов насыпи, $m = 1,5$; $h_{\text{н}}$ – высота насыпи над трубой, м; $d_{\text{т}}$ – высота, или диаметр, трубы, м; $\delta_{\text{т}}$ – толщина стенки трубы, м (см. табл. 22).

При конструировании трубы необходимо, чтобы разница между требуемой и принятой длиной трубы была минимальной.

После конструирования трубы длина средней части по лотку $L_{\text{ср}}$ составит

$$L_{\text{ср}} = NL_{\text{зв}} + (N - 1)h_{\text{ш}}, \quad (13)$$

Для трубы напорного режима протекания воды длина средней части рассчитывается по формуле (14):

$$L_{\text{ср}} = NL_{\text{зв}} + L_{\text{ог}} + Nh_{\text{ш}}, \quad (14)$$

где N – количество звеньев средней части трубы; $L_{\text{зв}}$ – количество и длина звеньев средней части трубы, $L_{\text{зв}} = 1 \dots 5$ м; $h_{\text{ш}}$ – толщина шва, для стыковочного омоноличиваемого шва $h_{\text{ш}} = 1 \dots 3$ см, для деформационного шва без омоноличивания $h_{\text{ш}} = 4 \dots 5$ см; $L_{\text{ог}}$ – длина конического звена входного оголовка, $L_{\text{ог}} = 1,32$ м (табл. 23).

Таблица 23

Расчет основания под трубу из лекальных блоков

Диаметр трубы, м	Лекальный блок					На один блок
	Марка	Ширина, м	Длина, м	Толщина, м	Масса, т	Бетон В15, м ³
1,0	4	1,19	2,01	0,43	1,9	0,76
	4а	1,19	0,99	0,43	1,0	0,38
	5	1,19	1,50	0,43	1,4	0,57
1,25	6	1,39	2,01	0,48	2,4	0,96
	6а	1,39	0,99	0,48	1,2	0,48
	7	1,39	1,50	0,48	1,8	0,72
1,5	8	1,60	2,01	0,52	2,9	1,15
	8а	1,60	0,99	0,52	1,4	0,57
	9	1,60	1,50	0,52	2,2	0,86
2,0	64	1,95	2,01	0,59	3,7	1,48
	64а	1,95	0,99	0,59	1,9	0,74
	65	1,95	1,50	0,59	2,8	1,11

После конструирования трубы полная длина с оголовком $L_{\text{п}}$ составит

$$L_{\text{п}} = L_{\text{ср}} + 2b_{\text{п}} + 2h_{\text{ш}} + 2a\cos\beta, \quad (15)$$

где $b_{\text{п}}$ – ширина портала, $b_{\text{п}} = 0,35$ м; a – длина откосных стенок, $a = 1,85 \dots 3,22$ м (см. табл. 23); β – угол растекания, $\beta = 20^\circ$ для рас-
трубного оголовка.

Пример 9

Требуемую длину средней части трубы по лотку определяют по формуле (12):

$$L_{\text{тр}} = B_{\text{зп}} + 2m(h_{\text{н}} - d_{\text{т}} - \delta_{\text{т}}) = 15 + 2 \cdot 1,5(4,5 - 1,5 - 0,14) = 23,58 \text{ м.}$$

Конструирование осуществляют для трубы, которая работает в напорном режиме. По формуле (14) в конструкцию трубы включают одно входное коническое звено длиной 1,32 м и 11 звеньев средней части трубы длиной по 2,0 м:

$$L_{\text{ср}} = NL_{\text{зв}} + L_{\text{ог}} + Nh_{\text{ш}} = 11 \cdot 2,0 + 1,32 + 11 \cdot 0,03 = 23,65 \text{ м.}$$

Разница между требуемой и принятой длиной трубы при конструировании оказалась минимальной.

Полную длину трубы с оголовком определяют по формуле (15):

$$L_{\text{п}} = 23,65 + 2 \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,03 + 2 \cdot 2,70 \cdot \cos 20^\circ = 29,48 \text{ м.}$$

3.3. Укрепление русла трубы

Скорость потока воды на выходе из трубы может достигать 5 – 6 м/с, а допускаемая скорость для грунтов без их размыва составляет 1 м/с.

Наибольшие скорости течения наблюдают в отводящем русле ниже сооружения вследствие растекания потока и уменьшения глубины. Ширина потока на выходе за трубой 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 три схемы истечения, или сопряжения бурного потока, вытекающего из сооружения, со спокойным (бытовым) потоком в русле (рис. 16):

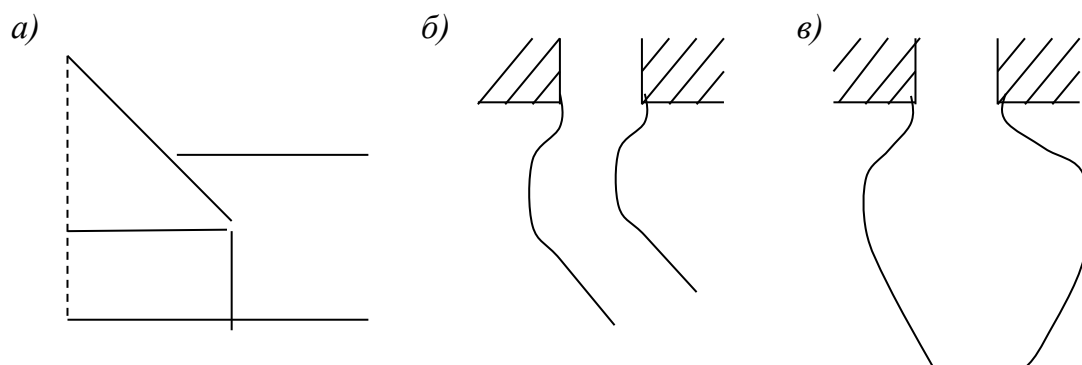


Рис. 16 . Схемы истечения потока из трубы:

а – затопления; б – сбойного течения; в – свободного растекания

1. *Затопление* – растекание струи в массе воды с уменьшением скорости течения.

2. *Сбойное течение* (с гидравлическим прыжком и без него) – поток не затоплен и движется вначале без растекания в стороны, по бокам его образуются водоворотные зоны, сжимающие поток. Уменьшение скорости течения происходит очень медленно на значительном протяжении. Это наиболее неблагоприятные условия для размыва русла.

3. *Свободное растекание* – 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. при-

менять на выходе оголовок с откосными стенками, что приведет к свободному растеканию струи воды на выходе из трубы (рис. 17).

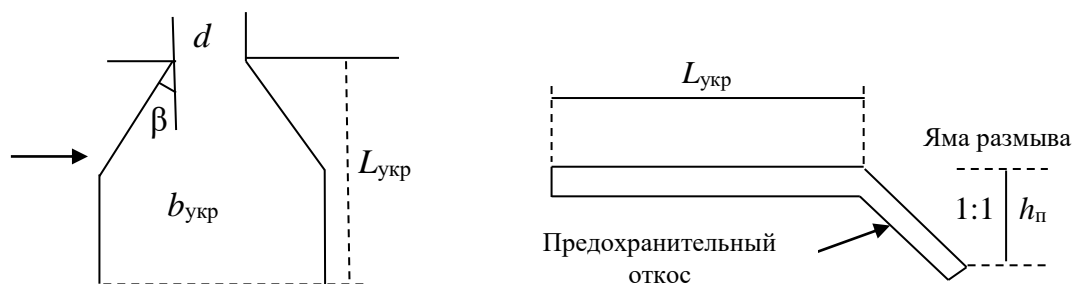


Рис. 17. Схема укрепления русла трубы на выходе:
 d – размер отверстия трубы; β – угол растекания, $\beta = 20^\circ$;
 $L_{укр}$ – длина укрепления; $b_{укр}$ – ширина укрепления;
 $h_{п}$ – глубина заложения предохранительного откоса

Для обеспечения долговечности сооружения и предотвращения размыва за трубой необходимо предусмотреть 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 можно назначать из условий:

- отсутствия размыва;
- безопасного размыва.

Экономически нецелесообразно устраивать длинное укрепление за трубой, используя условие отсутствия размыва. Экономичнее допустить безопасный размыв, т. е. устроить короткое укрепление, которое заканчивается предохранительным откосом, где и располагается яма размыва, чтобы исключить подмыв концевой части (см. рис. 17).

Гидравлический прыжок обычно размещается в конце укрепления, т. е. над ямой размыва. Благодаря значительной глубине заложения предохранительного откоса размыв оказывается безопасным для укрепления, отодвинутым от откоса насыпи и трубы.

Длину укрепления принимают как

$$L_{укр} \leq (3 \dots 4) d, \quad (16)$$

где d – ширина потока на выходе, т. е. размер отверстия (диаметр) трубы, м.

Ширину укрепления принимают как $b_{\text{укр}} \approx L_{\text{укр}} + d$.

Глубину заложения $h_{\text{п}}$ предохранительного откоса (см. рис. 17) определяют по формуле

$$h_{\text{п}} = \alpha H + 0,5, \quad (17)$$

где αH – глубина ямы размыва, м; H – подпор воды перед трубой, м; α – коэффициент, принимаемый по табл. 22.

Для табл. 22 определяют $L_{\text{укр}} \operatorname{tg}\beta/d$, где $L_{\text{укр}}$ – длина укрепления на выходе из трубы, м; β – угол растекания, $\beta = 20^\circ$, d – размер отверстия трубы, м.

Таблица 24

Коэффициент α

$L_{\text{укр}} \operatorname{tg}\beta/d$	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. 24 следует, что при отсутствии укрепления за трубой развивается размыв глубиной $1,55H$.

Пример 10

Схему истечения принимают в виде свободного растекания, когда под действием силы тяжести поток растекается в стороны. Это наиболее часто встречающийся тип сопряжения.

Длину укрепления входного русла рассчитывают по формуле (16): $L_{\text{укр}} = 3d = 3 \cdot 1,5 = 4,5$ м. Ширину укрепления входного русла назначают $b_{\text{укр}} = L_{\text{укр}} + d = 4,5 + 1,5 = 6$ м. Площадь плоского укрепления верхнего бьефа составит $S_1 = L_{\text{укр}} b_{\text{укр}} = 4,5 \cdot 6 = 27$ м².

Длину укрепления выходного русла рассчитывают по формуле (16): $L_{\text{укр}} = 4d = 4 \cdot 1,5 = 6$ м. Ширину укрепления выходного русла назначают $b_{\text{укр}} = L_{\text{укр}} + d = 6 + 1,5 = 7,5$ м.

Площадь плоского укрепления нижнего бьефа составит $S_2 = L_{\text{укр}} b_{\text{укр}} = 6 \cdot 7,5 = 45$ м². Общая площадь укрепления русла у трубы составит $S = S_1 + S_2 = 45 + 27 = 72$ м².

На конце выходного русла устраивают укрепление, которое заканчивается предохранительным откосом, где и расположена яма размыва.

Рассчитывают $L_{\text{укр}} \operatorname{tg} \beta/d = 6 \cdot 0,36/1,5 = 1,44$.

По табл. 24 назначают коэффициент $\alpha = 0,88$ при $\beta = 20^\circ$.

Глубина ямы размыва составит $\alpha H = 0,88 \cdot 2,71 = 2,38$ м.

Глубину заложения $h_{\text{п}}$ предохранительного откоса определяют по формуле (17): $h_{\text{п}} = \alpha H + 0,5 = 0,88 \cdot 2,71 + 0,5 = 2,88$ м.

3.4. Материал для укрепления русла

Скорость потока воды $v_{\text{вых}}$ на выходе из трубы увеличивается в 1,5 раза по сравнению со скоростью потока $v_{\text{тр}}$ в трубе:

$$v_{\text{вых}} = 1,5 v_{\text{тр}}. \quad (18)$$

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

Ориентировочно можно принять неразмывающую скорость потока воды на выходе из трубы:

- для песка $v \approx 0,2 - 0,3$ м/с;
- для связных грунтов и укрепления засевом трав $v \approx 1 - 1,5$ м/с;
- для щебня М600 фр. 20 – 40 мм $v \approx 2 - 4$ м/с;
- для плит из сборного или монолитного бетона $v \approx 5 - 9$ м/с.

Пример 11

Скорость воды в нижнем бьефе в зоне растекания потока составит по формуле (18)

$$v_{\text{вых}} = 1,5v_{\text{тр}} = 1,5 \cdot 4,52 = 6,78 \text{ м/с.}$$

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

3.5. Расчет объемов работ

Расчеты объемов работ выполняют согласно типовым проектам на трубы: 3.501.1-144 – круглые на плоском опирании (см. табл. 23 – 25); 3.501.3-183 – круглые металлические гофрированные трубы; 3.503.1-112 – круглые длиномерные раструбные трубы, разработанные проектным институтом Ленгипротрансост Санкт-Петербурга.

Расчет размеров оголовка трубы

Элемент	Диаметр трубы, м	Бетонный блок					На один блок				
		Марка	Длина, м	Высота, м	Толщина, м	Масса, т	Бетон В20, м ³	Площадь обмазочной гидроизоляции, м ²	Объем щебеночно-песчаной смеси, м ³	Объем щебня М600, м ³	Объем работ по рытью котлована, м ³
Коническое звено	1,00	ЗК14.132	1,32	–	–	1,3	0,50	–	–	–	–
	1,25	ЗК15.132	1,32	–	–	1,9	0,74	–	–	–	–
	1,50	ЗК16.132	1,32	–	–	2,6	1,03	–	–	–	–
	2,00	ЗК17.132	1,32	–	–	3,9	1,56	–	–	–	–
Портальная стенка	0,75	СТ9	2,26	2,35	0,35	3,1	1,23	9	–	–	11
	1,00	СТ10	1,22	2,72	0,35	2,5	1,01	15	4,2	0,3	19
	1,25	СТ11	1,42	2,93	0,35	3,0	1,20	18	4,5	0,4	21
	1,50	СТ12	1,76	3,25	0,35	4,0	1,57	22	5,1	0,5	27
	2,00	СТ13	2,10	3,57	0,35	5,5	2,13	29	6,0	0,6	35
Откосная стенка	1,00	СТ4	1,85	2,27	0,3	2,5	0,98	–	–	–	–
	1,25	СТ5	2,20	2,47	0,3	3,1	1,24	–	–	–	–
	1,50	СТ6	2,70	2,79	0,3	4,2	1,67	–	–	–	–
	2,00	СТ7	3,22	3,11	0,3	4,8	2,03	–	–	–	–

Пример 12

Разработана спецификация блоков на трубу отверстием 1,5 м на фундаменте из лекальных блоков и выполнен расчет объемов работ на устройство трубы, которые приведены в табл. 26 – 29, 31 согласно типовым проектам на трубы 3.501.1-144, 3.501.0-46 (см. табл. 23 – 25, 30).

Таблица 26

Спецификация бетонных блоков на трубу $d = 1,5$ м

Марка	Наименование	Длина, м	Масса, т	Кол-во, шт.
ЗК8.200	Звено средней части	2,0	3,6	11
ЗК16.132	Коническое звено на входе	1,32	2,6	1
СТ12	Портальная стенка	1,76	4,0	2
СТ6	Откосная стенка	2,70	4,2	4
8	Лекальный блок	2,01	2,9	3
8а	Лекальный блок	0,99	1,4	5
9	Лекальный блок	1,5	2,2	8

СРЕДНЯЯ ЧАСТЬ ТРУБЫ

Таблица 27

Объем работ на среднюю часть трубы $d = 1,5$ м

Марка	Кол-во, шт./пог. м	Объем бетона В30, м ³		Копатка швов паклей, кг		Объем гидроизоляции, м ²				Объем работ по рытью котлована, м ³	
						оклеечной		обмазочной			
ЗК8.200	11 / 22	1,44	15,84	1,16	25,52	0,35	7,7	5,2	114,4	0,9	19,8
ЗК16.132	1 / 1,32	1,03	1,03				1,53		0,46		6,86
Итого	–	–	16,87	–	27,05	–	8,16	–	121,26	–	20,99

ОСНОВАНИЕ ПОД ТРУБУ

Под лекальные блоки или монолитный бетон в основании трубы устраивают подготовку из щебня М600 фр. 20 – 40 мм толщиной 10 см. Объем щебня рассчитывают по формуле

$$V_{\text{щ}} = L_{\text{ср}} B_{\text{щ}} h_{\text{щ}} = 23,65 \cdot 1,8 \cdot 0,1 = 4,26 \text{ м}^3,$$

где $V_{\text{щ}}$ – объем щебня М600 фр. 20 – 40 мм, м³; $L_{\text{ср}}$ – длина средней части трубы, $L_{\text{ср}} = 23,65$ м; $B_{\text{щ}}$ – ширина слоя щебня, $B_{\text{щ}} = 1,8$ м; $h_{\text{щ}}$ – толщина слоя щебня, $h_{\text{щ}} = 0,1$ м.

Ниже приведены объемы работ на основание из лекальных блоков под трубу $d = 1,5$ м (табл. 28).

Таблица 28

Объем работ на основание под трубу $d = 1,5$ м

Лекальный блок		Количество бетона В15, м ³	
Марка	Кол-во, шт		
8	3	1,15	3,45
8а	5	0,57	2,85
9	8	0,86	6,88
Итого	16	–	13,18

РАСТРУБНЫЙ ОГОЛОВОК

Таблица 29

Объем работ на оголовок трубы $d = 1,5$ м

Марка	Кол-во, шт.	Количество бетона В20, м ³		Объем обмазочной гидроизоляции, м ²		Объем щебеночно-песчаной смеси, м ³		Объем щебня М600 фр. 20 – 40 мм, м ³		Объем работ по рытью котлована, м ³	
СТ12	2	1,57	3,14	22	44	5,1	10,2	0,5	1,0	27	54
СТ6	4	1,67	6,68	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого	–	–	9,82	44	–	10,2	–	1,0	–	54	–

УКРЕПИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Расчеты объемов работ при проектировании укрепительных сооружений у трубы выполняют согласно типовому проекту укрепления русел и откосов насыпей у водопропускных труб 3.501.0-46, разработанному проектным институтом Ленгипротрансмост Санкт-Петербурга (табл. 30).

Таблица 30

Объем работ на укрепление ямы размыва на 1 пог.м

Глубина ямы размыва, м	Площадь укрепления, м ²	Объем земляных работ, м ³	Объем щебня М600, м ³	Объем монолитного бетона В15, м ³	Бетонные блоки П-2		Объем щебеночной подготовки, м ³
					шт.	м ³	
1,0	2,8	2,2	0,45	0,34	60	0,36	0,28
1,1	3,0	2,6	0,48	0,36	65	0,39	0,30
1,2	3,2	3,0	0,51	0,38	70	0,42	0,32
1,3	3,3	3,4	0,53	0,40	70	0,42	0,33
1,4	3,5	3,8	0,56	0,42	75	0,45	0,35
1,5	3,7	4,3	0,59	0,44	80	0,48	0,37
1,6	3,9	4,8	0,62	0,47	85	0,51	0,39
1,7	4,1	5,4	0,66	0,49	90	0,54	0,41
1,8	4,2	6,0	0,67	0,50	95	0,57	0,42
1,9	4,4	6,6	0,70	0,53	100	0,60	0,44
2,0	4,6	7,2	0,74	0,55	105	0,63	0,46
2,1	4,8	7,9	0,77	0,58	110	0,65	0,48
2,2	5,0	8,6	0,80	0,60	115	0,69	0,50

Глубина ямы размыва, м	Площадь укрепления, м ²	Объем земляных работ, м ³	Объем щебня М600, м ³	Объем монолитного бетона В15, м ³	Бетонные блоки П-2		Объем щебеноч- ной подго- товки, м ³
					шт.	м ³	
2,3	5,1	9,3	0,82	0,61	115	0,69	0,51
2,4	5,3	10,0	0,85	0,64	120	0,72	0,53
2,5	5,5	10,8	0,88	0,66	125	0,75	0,55
2,8	6,0	13,4	0,96	0,72	140	0,84	0,60

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

Для укрепления русла трубы бетонными блоками П-2 или монолитным бетоном объем работ рассчитывают по формуле

$$V_b = Sh_b = 72 \cdot 0,13 = 9,36 \text{ м}^3,$$

где V_b – объем бетона, м³; S – общая площадь укрепления русла у трубы, $S = 72 \text{ м}^2$; h_b – толщина бетонных блоков П-2 или монолитного бетона, $h_b = 0,13 \text{ м}$.

Общую площадь укрепления русла у трубы берут из примера 10.

Под бетонные блоки П-2 или монолитный бетон устраивают подготовку из щебня М600 фр. 20 – 40 мм толщиной 10 см. Объем щебня рассчитывают по формуле

$$V_{\text{щ}} = Sh_{\text{щ}} = 72 \cdot 0,1 = 7,2 \text{ м}^3,$$

где $V_{\text{щ}}$ – объем щебня М600 фр. 20 – 40 мм, м³; S – общая площадь укрепления русла у трубы, $S = 72 \text{ м}^2$; $h_{\text{щ}}$ – толщина слоя щебня, $h_{\text{щ}} = 0,1 \text{ м}$.

Для расчета объема работ на устройство предохранительного откоса используют данные, полученные из табл. 34.

Для глубины ямы размыва $h_{\text{п}} = 2,38 \text{ м}$ и ширины укрепления $b_{\text{укр}} = 7,5 \text{ м}$ из табл. 33 берут объемы работ и рассчитывают с учетом ширины укрепления русла трубы на выходе ($b_{\text{укр}}$ из примера 10):

- площадь укрепления предохранительного откоса составит $5,3 \cdot 7,5 = 40 \text{ м}^2$;
- объем земляных работ составит $10 \cdot 7,5 = 75 \text{ м}^3$;
- объем щебня М600 толщиной 10 см составит $0,53 \cdot 7,5 = 4 \text{ м}^3$;
- количество бетонных блоков П-2 составит $120 \cdot 7,5 = 900 \text{ шт.}$;
- их объем $0,72 \cdot 7,5 = 5,4 \text{ м}^3$.

Площадь укрепления нижнего бьефа с предохранительным откосом равна $45 + 40 = 85 \text{ м}^2$. Общая площадь укрепления русла с предохранительным откосом составляет $72 + 40 = 112 \text{ м}^2$.

Разрабатывают сводную ведомость объемов работ на устройство трубы: ее среднюю часть, оголовки, а также земляные и укрепительные работы (табл. 31).

Таблица 31

Сводная ведомость объемов работ на устройство трубы

Наименование работ	Материал	Единицы измерения	Количество
<i>Средняя часть трубы</i>			
Рытье котлована	–	м ³	20,99
Устройство основания	Щебень М600 фр. 20 – 40 мм	м ³	4,26
	Бетон В15	м ³	13,18
Монтаж звеньев трубы	Бетон В30	м ³	16,87
Устройство оклеечной гидроизоляции	Битумная мастика, гидроизол	м ²	8,16
Устройство обмазочной гидроизоляции	Битумная мастика	м ²	121,26
Заделка швов	Пакля, пропитанная битумом	кг	27,05
	Цементный раствор М150	м ³	2,13
Обратная засыпка	–	м ³	20,99
<i>Оголовки</i>			
Рытье котлована	–	м ³	54
Устройство основания	Щебеночно-песчаная смесь	м ³	10,2
	Щебень М600 фр. 20 – 40 мм	м ³	1,0
Монтаж блоков	Бетон В20	м ³	9,82
Устройство обмазочной гидроизоляции	Битумная мастика	м ²	44
Обратная засыпка	–	м ³	54
<i>Укрепительные работы</i>			
Рытье котлована	–	м ³	75
Яма размыва и предохранительный откос	Щебень М600 фр. 20 – 40 мм	м ³	4,0
	Бетонные блоки П-2	м ³	5,4
Укрепление русла трубы	Щебень М600 фр. 20 – 40 мм	м ³	7,2
	Бетонные блоки П-2	м ³	9,36

4. ЧЕРТЕЖ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ В CREDO

Выполнить чертеж водопропускной трубы в программе CREDO в трех плоскостях (рис. 19).

1. Фасад – разрез по оси трубы. Ось X – продольная ось трубы в разрезе и соответствует длине трубы; ось Z перпендикулярна оси X и соответствует высотным отметкам (H).

2. План – вид сверху. Ось X – продольная ось трубы; ось Y – поперечный разрез трубы, перпендикулярный оси X .

3. Вид со стороны оголовка и поперечный разрез трубы. Ось Y – поперечная ось трубы; ось Z перпендикулярна оси Y .

За начало координат осей X и Y берут пересечение оси трубы с осью автомобильной дороги. Координаты в программе CREDO вводят со знаком минус, если проектируемый блок размещают слева от оси трассы и оси трубы.

4.1. Подготовка к работе

Рассчитать параметры поперечного профиля земляного полотна (рис. 18).

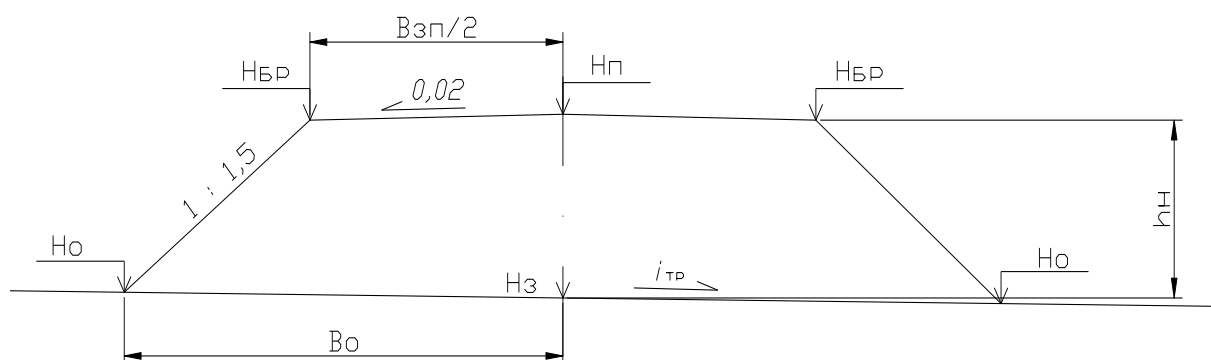


Рис. 18. Поперечный профиль земляного полотна

Параметры поперечного профиля автодороги согласно СП 34.13330 берут из табл. 32.

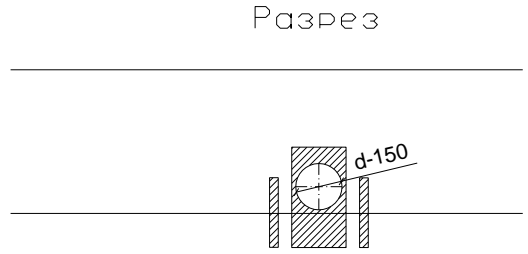
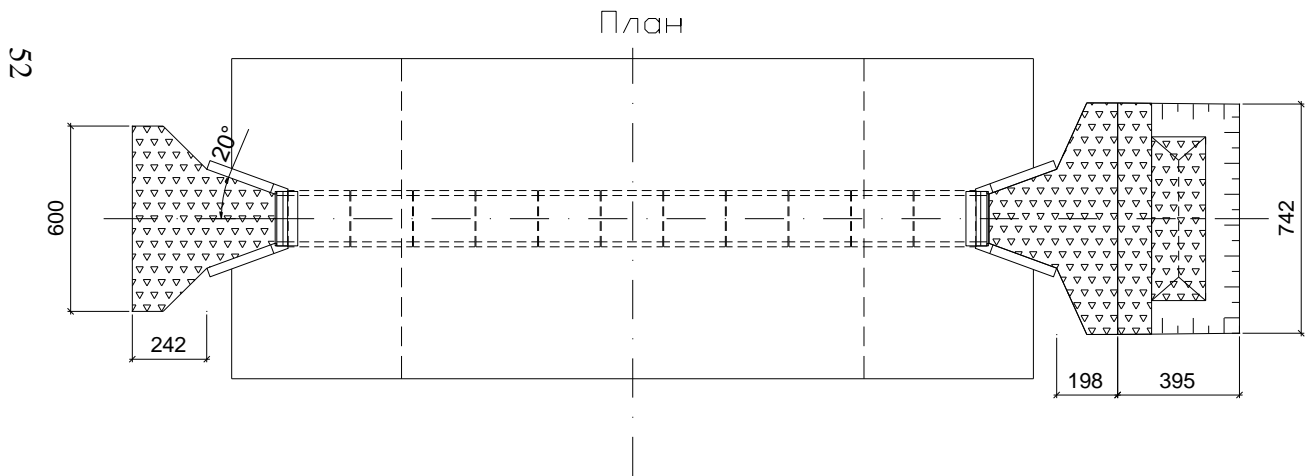
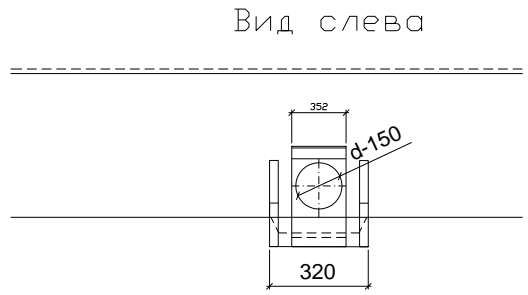
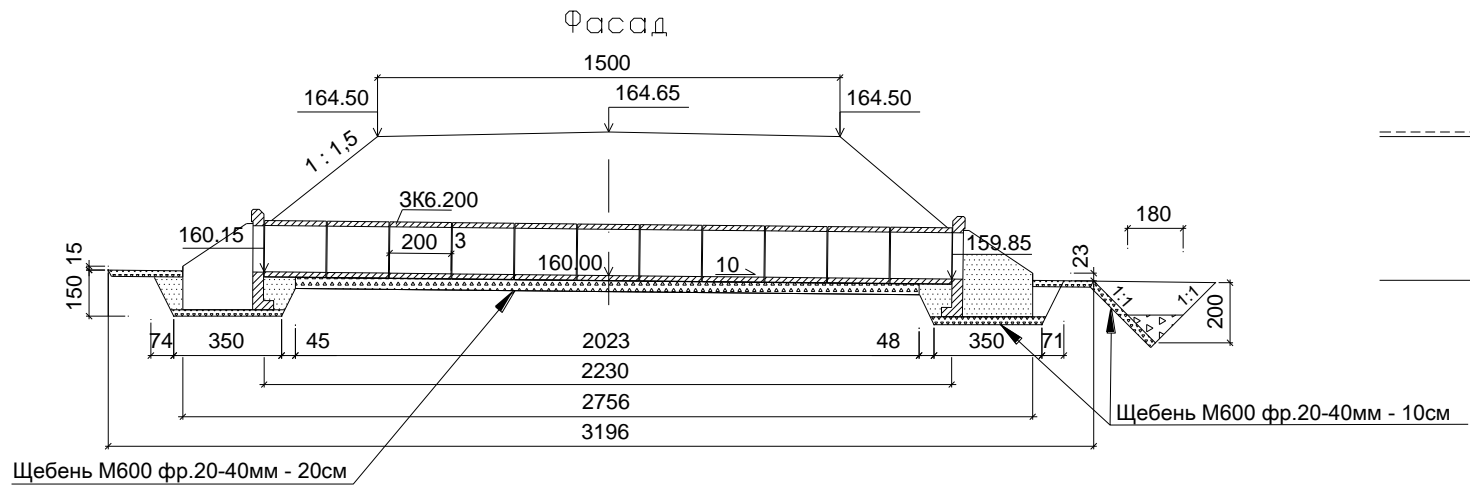


Рис. 19. Чертеж водопропускной трубы

Таблица 32

Параметры поперечного профиля автодорог

Параметры элементов дорог	Категории дорог						
	IA	IB	IV	II	III	IV	V
Число полос движения, шт.	4; 6; 8	4; 6; 8	4; 6; 8	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,5	3,75	3,5	3	4,5
Ширина проезжей части, м	2×7,5; 2×11,25; 2×15	2×7,5; 2×11,25; 2×15	2×7,0; 2×10,5; 2×14	7,5	7	6	4,5
Ширина обочины, м	3,75	3,75	1,5	3,75	2,5	2	1,75
Ширина укрепленной полосы обочины, м	0,75	0,75	0,5	0,75	0,5	0,5	–
Ширина остановочной полосы, м	2,5	2,5	2,5	2,5	–	–	–
Ширина разделительной полосы, м	6	5	4	–	–	–	–
Ширина укрепленной полосы на разделительной полосе, м	1	1	1	–	–	–	–
Ширина земляного полотна, м	28,5; 36; 43,5	27,5; 35; 42,5	21; 28; 35	15	12	10	8

Проектную отметку бровки земляного полотна $H_{бр}$ берут с продольного профиля автомобильной дороги или вычисляют следующим образом:

$$H_{бр} = H_з + h_n,$$

где $H_з$ – фактическая отметка земли по оси трассы, м; h_n – высота насыпи.

Проектную отметку покрытия по оси трассы $H_{п}$ рассчитайте с учетом поперечного уклона покрытия по формуле

$$H_{п} = H_{бр} + i_{п} \frac{B_{з.п}}{2},$$

где $i_{п}$ – поперечный уклон покрытия, $i_{п} = 0,02$; $B_{з.п}$ – проектная ширина земляного полотна, м.

Отметку низа откоса $H_о$ рассчитывают с учетом проектного заложения откоса:

$$B_о = \frac{B_{з.п}}{2} + mh_n,$$

у входного оголовка: $H_о = H_з + B_о i_{тр},$

у выходного оголовка: $H_о = H_з - B_о i_{тр},$

где $B_о$ – ширина земляного полотна по основанию насыпи; m – заложение откосов, $m = 1,5$; $i_{тр}$ – уклон лотка трубы.

4.2. Подключение базы данных

После запуска программы CREDO «Трубы» через меню **Сервис – Настройка – Пути** укажите путь к графическому редактору AutoCAD: **C:\Program Files\AutoCAD\acad.exe**.

Укажите путь к базе данных: **C:\Program Files\CREDO\Трубы\ baza.mdb**. Подключите базу данных, установив «флажок» (рис. 20).

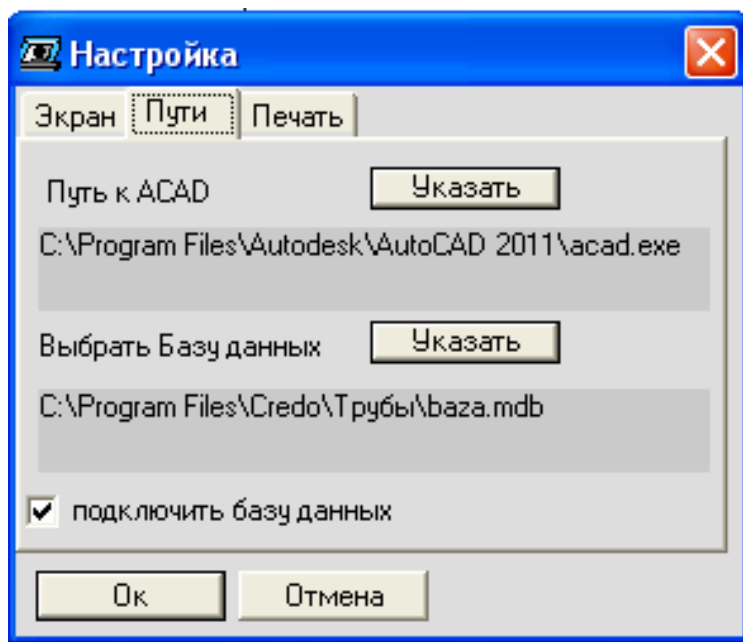


Рис. 20. Настройка базы данных

Выполните чертеж водопропускной трубы в CREDO ТРУБЫ через **Типовой проект**. База данных содержит типовые проекты труб: 3.501.1-144 – круглых на плоском опирании; 3.501.3-183 – круглых металлических гофрированных; 3.503.1-112 – круглых длинномерных раструбных. Ниже приведены элементы трубы с маркировкой по типовым проектам (табл. 33, 34).

4.3. Исходные данные

Выберите в меню **Объект – Новый – Типовой проект**. Если объект был создан ранее, указываем команду **Объект – Открыть** и открываем сохраненный файл (*.tub).

Таблица 33

Типовые проекты труб

Типовой проект круглой трубы	Номер проекта	Чертеж	Марка	Внутренний диаметр, м	Толщина стенки, м	Внешний диаметр, м
На плоском опирании	3.501.1-144	Фасад	ЗКП1	1,0	0,10	1,20
			ЗКП2	1,0	0,12	1,24
			ЗКП3	1,25	0,13	1,50
			ЗКП4	1,25	0,14	1,53
			ЗКП5	1,5	0,14	1,78
		Разрез	ЗКП6	1,5	0,16	1,82
			ЗКП7	1,5	0,22	1,94
			ЗКП8	2,0	0,16	2,32
			ЗКП9	2,0	0,20	2,40
			ЗКП10	2,0	0,24	2,48
Раструбные	3.503.1-112	Фасад	ЗД15	2,0	0,2	2,20
	Разрез					

Таблица 34

Маркировка элементов трубы

Элемент	Марка	Диаметр, м	Толщина стенки, мм	Длина, м	Высота, м	Типовой проект
Звено средней части	ЗК2.100	0,75	8	1,0	—	Звенья железобетонные круглые (отраслевой стандарт)
	ЗК2.300	0,75	8	3,0	—	
	ЗК3.200	1,00	10	2,0	—	
	ЗК3.300	1,00	10	3,0	—	
	ЗК5.200	1,25	12	2,0	—	
	ЗК5.300	1,25	12	3,0	—	
	ЗК8.200	1,50	14	2,0	—	
	ЗК8.300	1,50	14	3,0	—	
	ЗК11.200	2,00	20	2,0	—	
ЗК11.300	2,00	20	3,0	—		
Коническое звено на входе	ЗК14.132	1,00	—	1,32	—	
	ЗК15.132	1,25	—	1,32	—	
	ЗК16.132	1,50	—	1,32	—	
	ЗК17.132	2,00	—	1,32	—	

Окончание табл. 34

Элемент	Марка	Диаметр, м	Толщина стенки, мм	Длина, м	Высота, м	Типовой проект
Лекальный блок	БФ15.3	–	–	1,95	–	Трубы круглые из длинномерных звеньев
	БФ15.4	–	–	2,10	–	
	БФ15.5	–	–	1,50	–	
Портальная стенка	СТ9	0,75	0,35	2,26	2,35	Трубы круглые железобетонные сборные (выпуск 1)
	СТ10	1,00	0,35	1,22	2,72	
	СТ11	1,25	0,35	1,42	2,93	
	СТ12	1,50	0,35	1,76	3,25	
	СТ13	2,00	0,35	2,10	3,57	
Откосная стенка	СТ4 л(п)	1,00	0,3	1,85	2,27	
	СТ5 л(п)	1,25	0,3	2,20	2,47	
	СТ6 л(п)	1,50	0,3	2,70	2,79	
	СТ7 л(п)	2,00	0,3	3,22	3,11	

Примечание: л(п) – левая и правая откосные стенки по ходу пикетажа соответственно.

Через меню **Типовой проект** заполнить карточку объекта (рис. 21).

Рис. 21. Карточка объекта

Глубину промерзания грунта, температуру января определяют по СНиП 23-01 «Строительная климатология» (рис. 22, табл. 35). Строительный подъем назначают в зависимости от основания и грунтов:

$f = 1/80$ – лекальные блоки, песок;

$f = 1/50$ – лекальные блоки, суглинок;

$f = 1/40$ – щебеночно-песчаная смесь.

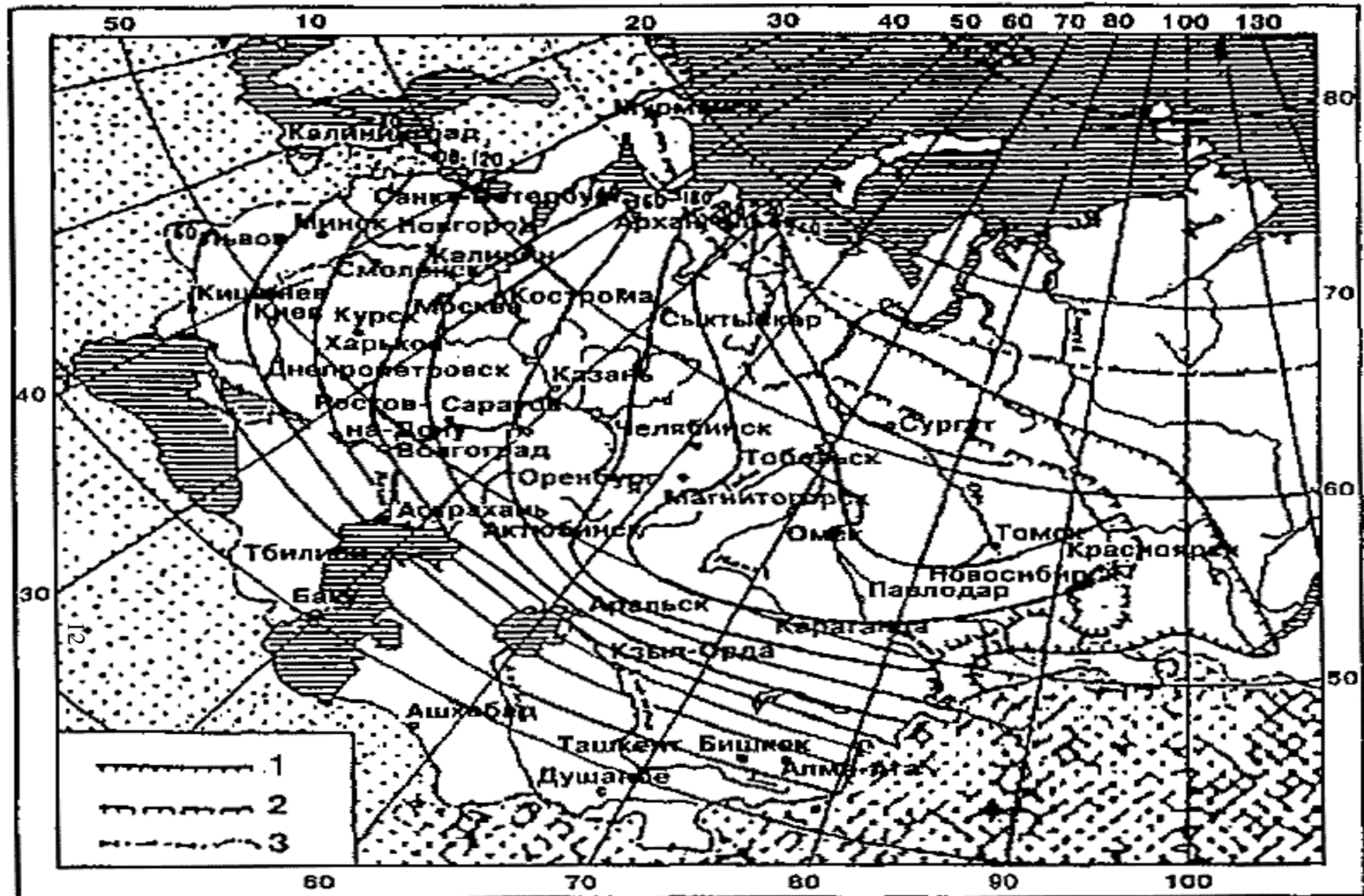


Рис. 22. Глубина промерзания суглинистых грунтов, см

*Определение глубины промерзания суглинистого грунта
в городах России*

Кри- терий	Архангельск	Астрахань	Барнаул	Благовещенск	Белгород	Волгоград	Вологда	Воронеж	Екатеринбург	Иркутск	Кемерово	Киров	Краснодар	Липецк	Мурманск	Новгород	Новосибирск	Оренбург	Пенза
Глубина промерзания, см	165	95	205	200	90	110	150	130	190	210	200	170	70	120	130	120	225	175	150
Температура января, °С	-12,5	-6,8	-17,7	-24,3	-7,6	-9,2	-11,8	-9,3	-15,3	-20,9	-19,2	-14,2	-1,8	-10,3	-10,2	-8,6	-19,0	-14,8	-12,1

Внести сведения по разрезу поперечного профиля (рис. 23). Вводим данные по черному профилю земли и проектные отметки насыпи последовательно слева направо. Расстояние слева от оси трассы заносим со знаком минус.

а)

Расст. от оси м.	Отметка точки, м.	Описание точки
-16	160.18	
0	160.00	ось трассы
16	159.82	

б)

Расст. от оси м.	Отметка точки, м.	Описание точки
-13	160.15	низ откоса
-7.5	164.50	бровка
0	164.65	ось трассы
7.5	164.50	бровка
13	159.85	низ откоса

*Рис. 23. Данные для поперечного профиля автодороги:
а – черная земля; б – проектные данные*

В описании точки для черного поперечника указать только «ось трассы»; для проектного поперечника – «низ откоса», «бровка», «ось».

По черному профилю земли расстояние от оси дороги принять с запасом: у входного оголовка 5 м от низа откоса; у выходного оголовка 10 м.

Данные типового проекта (рис. 24) – толщину стенки звена трубы, тип оголовка, тип фундамента – корректируем согласно заданию. Фундамент под трубу на щебеночной подготовке толщиной $h = 0,1$ м может быть трех типов:

тип 1-й – лекальный блок (сборный железобетон) толщиной $h = 0,2 - 0,3$ м;

тип 2-й – сборная железобетонная плита толщиной $h = 0,2$ м;

тип 3-й – монолитный бетон толщиной $h = 0,3$ м.

Бесфундаментное основание под трубу состоит из щебеночно-песчаной или гравийно-песчаной смеси толщиной $h = 0,2$ м.

Исходные данные из типового проекта 3.501.1-144 (выпуск 0-2,0-3)

Толщина звена средней части	0.16
Тип оголовка	цилиндрический
Тип фундамента под оголовком	тип 3
Тип фундамента под средней частью	тип 3
Марка бетона звеньев и оголовка	B30 W6 F300
Марка бетона фундамента	B20 W6 F300
Марка бетона омоноличивания	B10 W6 F300

Ок Отмена

Рис. 24. Данные типового проекта

4.4. Конструирование трубы

Определяем проектное положение трубы. Вводим уклон лотка трубы (рис. 25). Если входное отверстие расположено слева, то уклон трубы вводим со знаком минус.

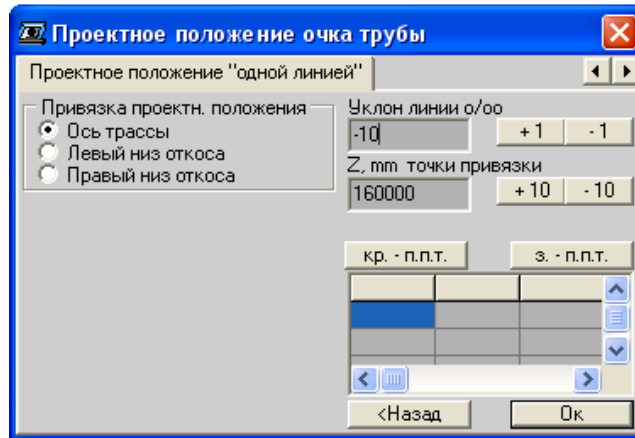


Рис. 25. Проектное положение трубы

Контролируем предложенную схему средней части трубы, которую можно редактировать с учетом данных из типового проекта (см. табл. 26, 27), например 11×2 .

После принятия схемы трубы программа CREDO автоматически собирает звенья средней части трубы и выдает чертеж (рис. 26).

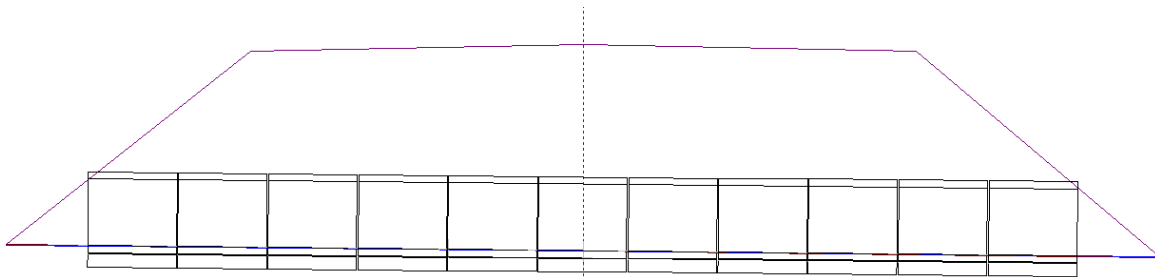


Рис. 26. Фасад при типовом проектировании

Выделить курсором вставленный блок на фасаде или плане, при этом цвет изменится на красный. Переместить блоки можно с помощью стрелок клавиатуры на 10 мм. Блок можно удалить, копировать, вставлять. Чтобы снять выделение с блока, еще раз укажите на него курсором.

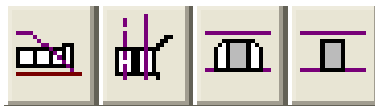


Рис. 27. Навигационные команды: фасад, план, поперечник, разрез

С помощью навигационных команд **Навигация – Вид** можно менять видовые экраны: **фасад – Продольный разрез по оси трубы**, **План – вид сверху**, **Фасад входного оголовка – вид слева**, **Поперечный разрез трубы – разрез по оси дороги** (рис. 27).

Необходимо периодически сохранять вводимую информацию, так как в программе не предусмотрено автоматическое сохранение.

Полученную конструкцию трубы редактируем, изменяя согласно заданию и дополняя чертеж коническим звеном на входе, порталным оголовком и откосными стенками.

Через меню **База блоков – Список/Поиск блоков** выполнить поиск блока (конического звена, порталной или откосных стенок) необходимой марки (см. табл. 28) в базе данных блоков конструкции (рис. 28).

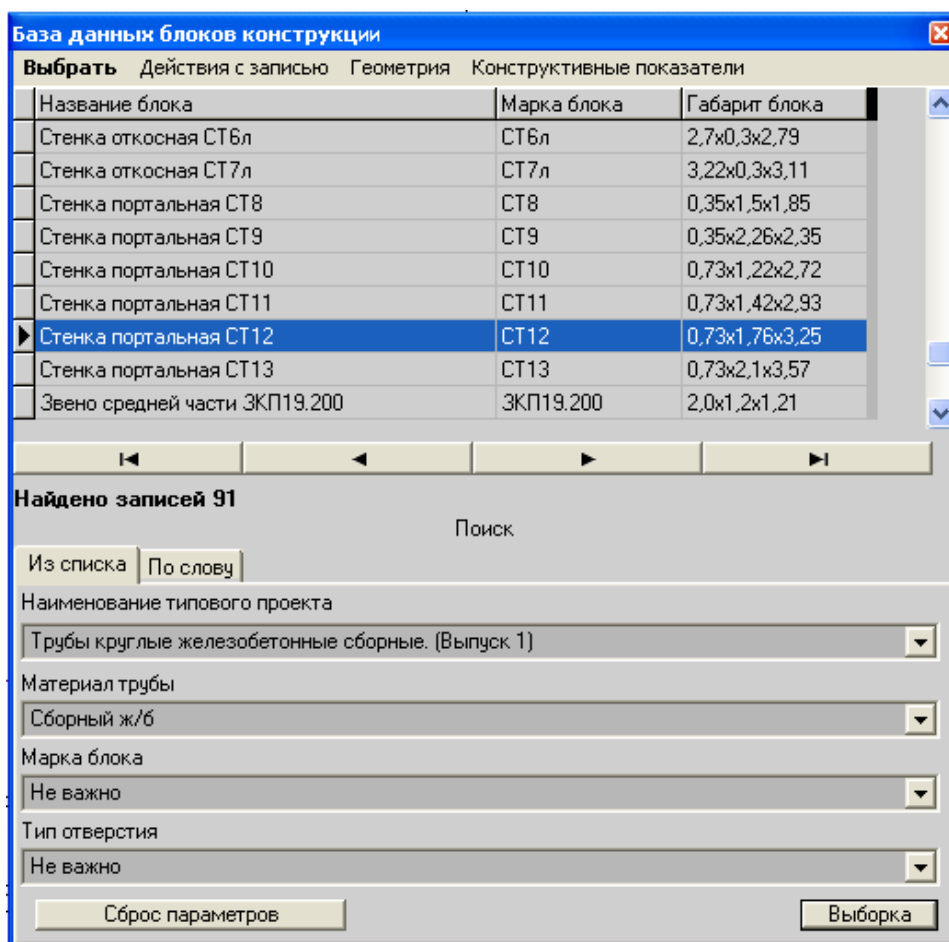


Рис. 28. Поиск блока

Поиск блока осуществляют из списка по слову или марке (**База блоков – Поиск по марке**). Через команду **Геометрия – Показать** определяют точку вставки блока в чертеж трубы (рис. 29).

Нажав кнопку **Выбрать**, выбираем **Новое очко 1**. Место вставки определяем через команду **Указать**, включив привязку **F3**.

Особые указания к вставляемому блоку: порталную стенку привязать к проектной линии. Откосные стенки не привязывать.

Для **правого** оголовка при вставке блоков порталных и откосных стенок необходимо поставить флажок **Отразить зеркально** (рис. 30).

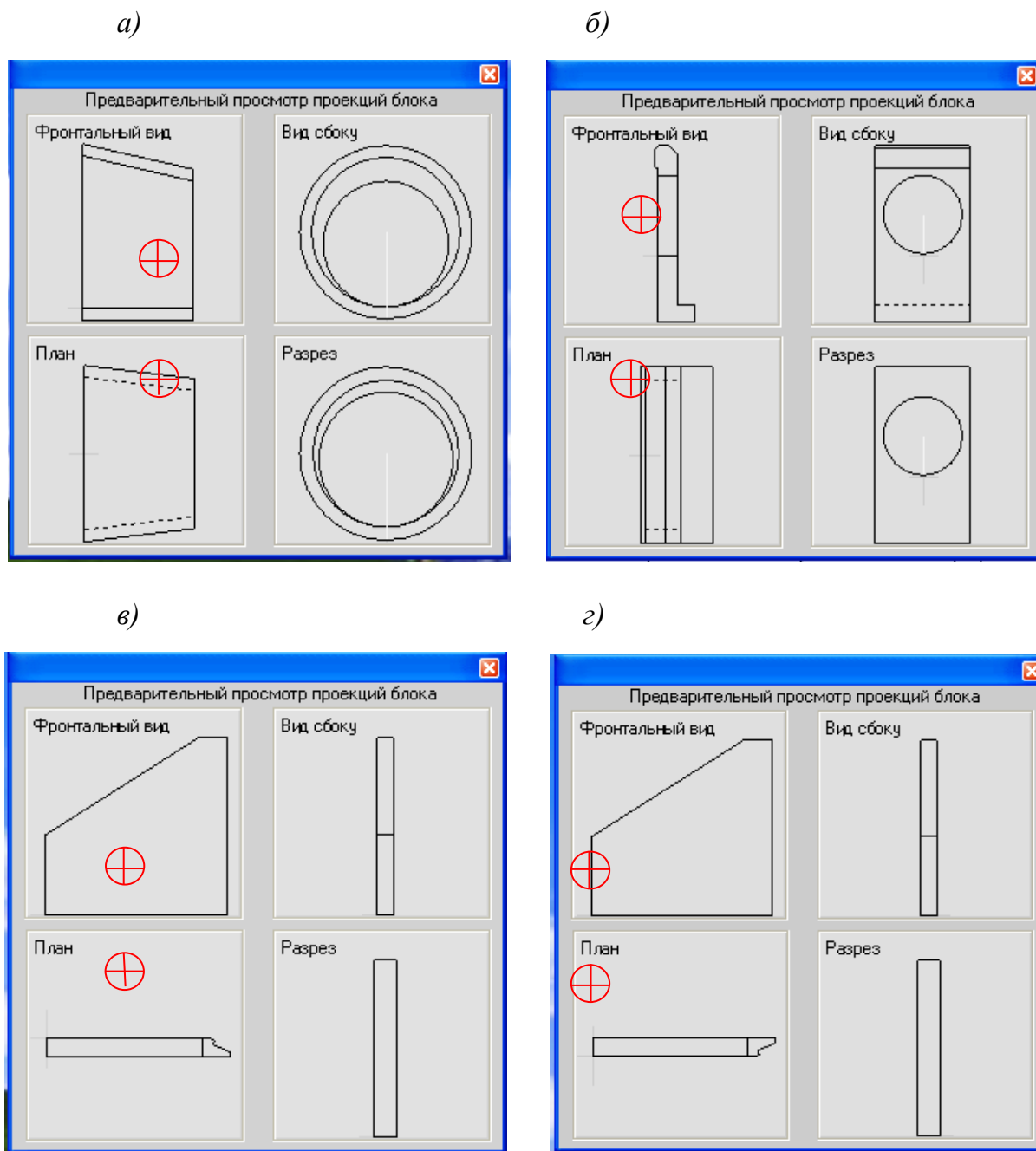


Рис. 29. Точки вставки: а – коническое звено на входе;
б – порталная стенка; в – правая откосная стенка;
г – левая откосная стенка

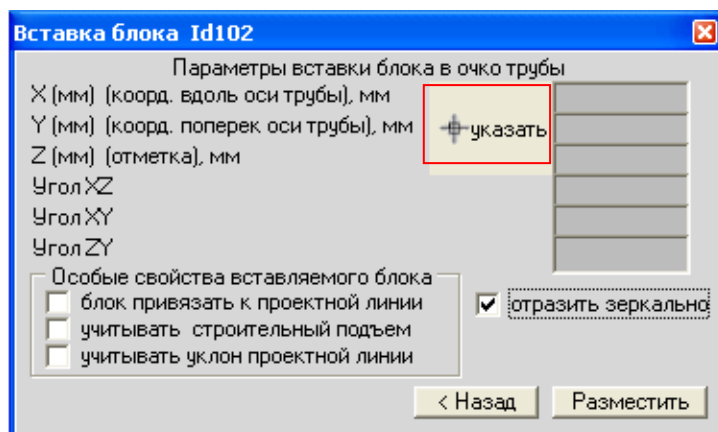


Рис. 30. Вставка на чертеже правого оголовка

При сборке откосных стенок их необходимо повернуть клавишами **PageUp** или **PageDown** на 1° (рис. 31).

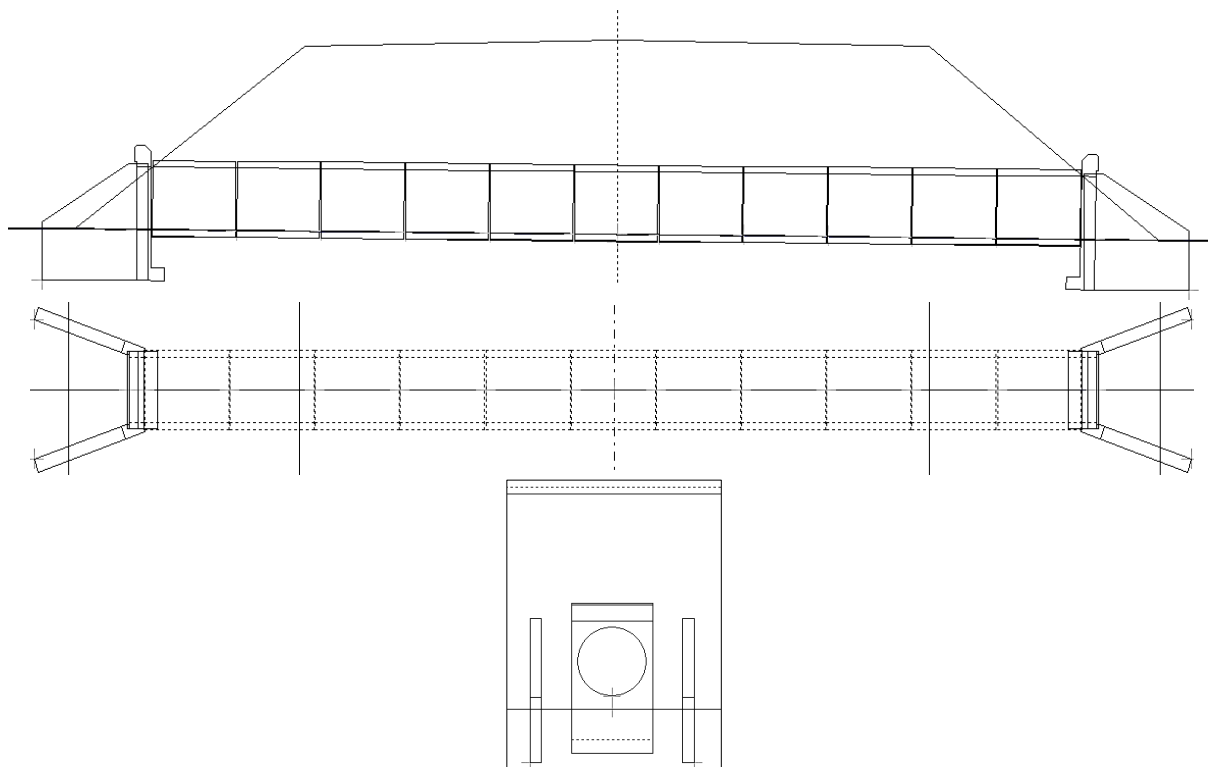
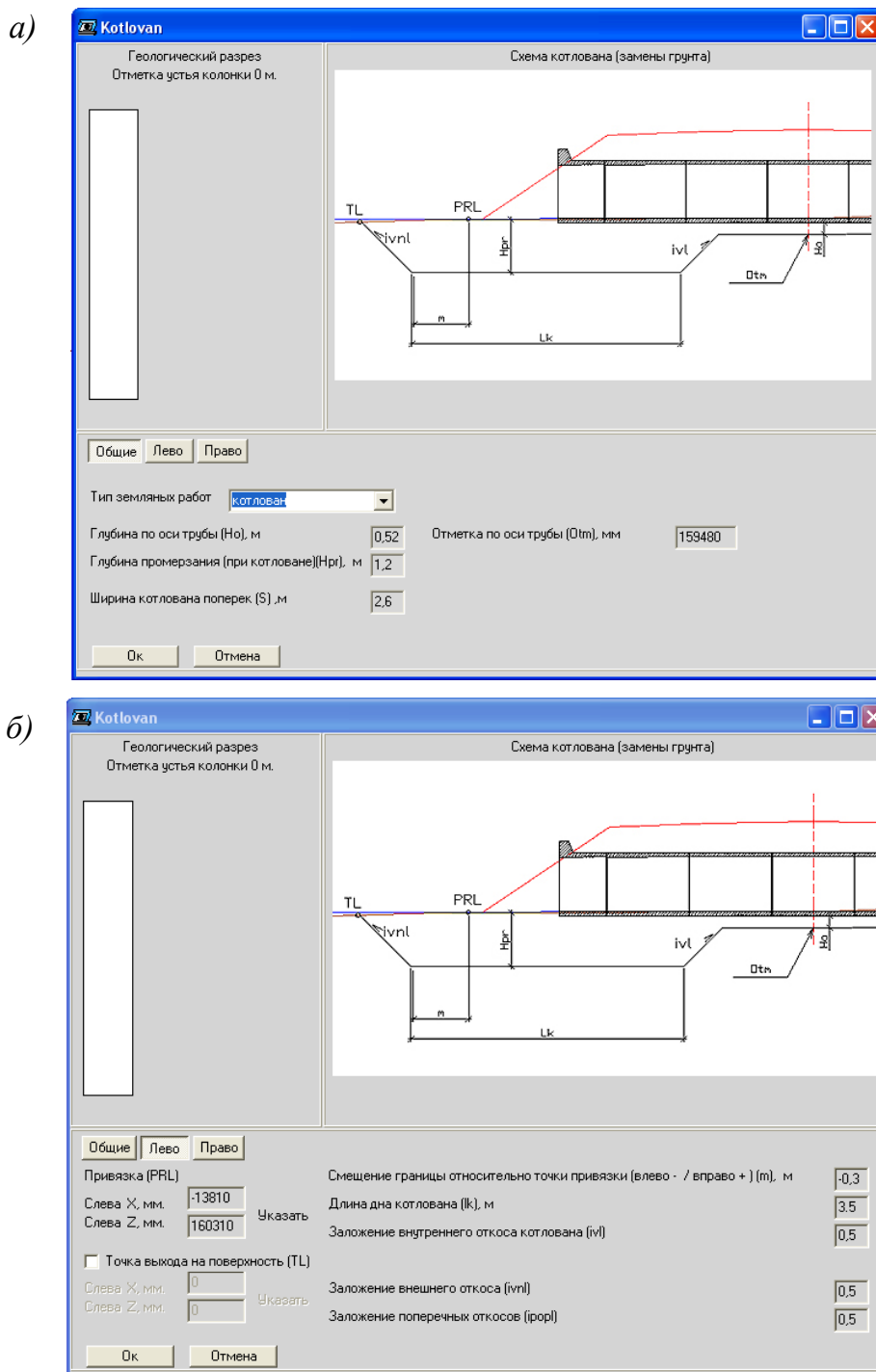


Рис. 31. Фасад, план и разрез с порталными и откосными стенками

На фасаде необходимо скрыть дальнюю откосную стенку, а на разрезе – звено на выходе. Для этого на фасаде (или разрезе) через меню **Очко – Видимость – Глубина видимости на виде** указать в плане точку на оси X , далее которой блоки будут невидимыми.

4.5. Земляные и укрепительные работы

Через меню **Утилиты – Земляные работы** вводят исходные данные для подсчета объемов земляных работ – рытья котлована: общие по оси трубы, под левым и правым оголовками (рис. 32).



Через меню **Утилиты – Укрепление** вводят исходные данные для подсчета объемов укрепительных работ русла: основные, русла на входе, русла на выходе (рис. 33).

а)

Укрепление

Основное | Откос на входе | Откос на выходе | Русло на входе | Русло на выходе

Координаты точек начала и конца трубы

Начала X, мм. -13815
 Начала Z, мм. 160135
 Конца X, мм. 13795
 Конца Z, мм. 159860
 Проектное положение трубы (уклон, промили) 10

Параметры оголовка

Высота оголовка, м 2,15
 Высота кордонного уступа оголовка, м 0,4
 Длина кордонного уступа оголовка, м 0,35
 Ширина оголовка поверху, м 1,76
 Ширина оголовка (включая откосные стенки), м 3,42
 Длина откосных стенок на фасаде, м 2,57

Ок | Отмена

б)

Укрепление

Основное | Откос на входе | Откос на выходе | Русло на входе | Русло на выходе

Тип укрепления: каменная наброска
 Толщина укрепления, м: 0,2
 Проектное положение на фасаде: по уклону трубы

Способ укрепления:
 Подсыпка
 Котлован

Заложение откосов в продольном направлении: 1: 0,5
 Заложение откосов в поперечном направлении: 1: 0,5

Рисберма

Точка вставки рисбермы X Y Z

Глубина рисбермы Н, м: 0
 Длина рисбермы по дну А, м: 0
 Расположение рисбермы X, лев.: 0
 Расположение рисбермы Y, лев.: 0

Укрепление

Основное | Откос на входе | Откос на выходе | Русло на входе | Русло на выходе

Заложение внутреннего откоса рисбермы М: 1: 0
 Заложение внешнего откоса рисбермы N: 1: 0
 Заложение поперечного сечения (лев. откос): 1: 0
 Заложение поперечного сечения (пр. откос): 1: 0

L_ук - Длина укрепления без учета откосов, м: 4,5
 B_укп - Начальная ширина укрепления, м: 3
 B_ук - Общая ширина укрепления, м: 6

Расположение рисбермы Z, лев.: 0
 Высота заполнения рисбермы камнем К, м: 0
 Привязка рисбермы: [dropdown]

Вид геометрии в плане:
 Тип1
 Тип2
 Тип3

Ок | Отмена

в)

Укрепление

Основное | Откос на входе | Откос на выходе | Русло на входе | Русло на выходе

Тип укрепления: каменная наброска
 Толщина укрепления, м: 0,2
 Проектное положение на фасаде: по уклону трубы

Способ укрепления:
 Подсыпка
 Котлован

Заложение откосов в продольном направлении: 1: 0,5
 Заложение откосов в поперечном направлении: 1: 0,5

Рисберма

Точка вставки рисбермы X Y Z

Глубина рисбермы Н, м: 2
 Расположение рисбермы X, лев.: 16000

Укрепление

Основное | Откос на входе | Откос на выходе | Русло на входе | Русло на выходе

Длина рисбермы по дну А, м: 0
 Заложение внутреннего откоса рисбермы М: 1: 1
 Заложение внешнего откоса рисбермы N: 1: 1
 Заложение поперечного сечения (лев. откос): 1: 1
 Заложение поперечного сечения (пр. откос): 1: 1

L_ук - Длина укрепления без учета откосов, м: 6
 B_укп - Начальная ширина укрепления, м: 3
 B_ук - Общая ширина укрепления, м: 7,5

Расположение рисбермы Y, лев.: 0
 Расположение рисбермы Z, лев.: 159830
 Высота заполнения рисбермы камнем К, м: 0,9
 Привязка рисбермы: к черной земле

Вид геометрии в плане:
 Тип1
 Тип2
 Тип3

Ок | Отмена

Рис. 33. Укрепление русла: а – основные данные; б – на входе; в – на выходе

Размер котлована зависит от диаметра трубы, вида и влажности грунта, глубины заложения. Ширину котлована понизу назначают в зависимости от диаметра трубы d , толщины стенки трубы $h_{ст}$ и вида соединения стыков по табл. 36, но не менее 0,7 м.

Точку привязки PRL – начало и конец трубы (откосной стенки) – необходимо указать. Крутизну откосов траншеи назначают в зависимости от вида грунта и глубины траншеи по табл. 37.

Таблица 36

Ширина котлована

Диаметр трубы d , м	Ширина котлована понизу, м	
	для стыковых соединений	для раструбных соединений
0,5 – 1,5	$d + 2h_{ст} + 0,8$	$d + 2h_{ст} + 1,0$
1,5 – 2,0	$d + 2h_{ст} + 1,4$	$d + 2h_{ст} + 1,6$

Таблица 37

Крутизна откосов котлована

Вид грунта	Крутизна откосов при глубине траншеи, м		
	менее 1,5	1,5 – 3	при переувлажненном грунте
Песок	1 : 0,5	1 : 1	1 : 1,25
Супесь	1 : 0,25	1 : 0,67	1 : 1
Суглинок	1 : 0	1 : 0,5	1 : 1
Глина	1 : 0	1 : 0,25	1 : 1

Предложено два типа укрепления русла: каменная наброска и монолитный бетон. Укрепление откоса на данном этапе можно не проектировать. Ниже приведена схема котлована под трубу и укрепления русла, выполненная в программе CREDO (рис. 34).

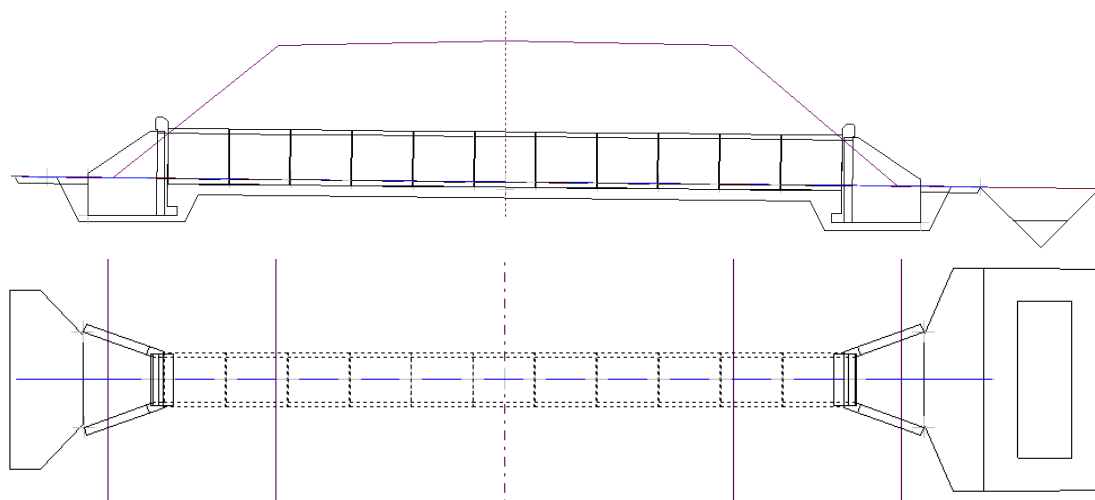


Рис. 34. Схема котлована под трубу и укрепления русла

Через меню **Утилиты – Статистика** получаем ведомость объемов работ на устройство трубы: звенья средней части, оголовки, земляные и укрепительные работы (табл. 38).

Таблица 38

*Ведомость объемов работ на строительство трубы на ПК 20 + 00
отверстием 1,5 м при высоте насыпи 4,5 м*

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Количе- ство
<i>Средняя часть трубы</i>			
1	Монтаж блоков «Звено средней части ЗК6.200»	шт.	11
2	Сборный железобетон, габаритные размеры 2,0 × 1,82 м, масса 4,8 т	м ³	20,9
3	Арматура А-I	кг	357,5
4	Арматура А-III	кг	1474
<i>Оголовки</i>			
5	Монтаж блоков «Стенка порталная СТ12»	шт.	2
6	Сборный железобетон, габаритные размеры 0,73 × 1,76 × 3,25 м, масса 4 т	м ³	3,14
7	Арматура А-I	кг	98,2
8	Арматура А-II	кг	39,6
9	Монтаж блоков «Стенка откосная СТ6п»	шт.	2
10	Сборный железобетон, габаритные размеры 2,7 × 0,3 × 2,79 м, масса 4,2 т	м ³	3,34
11	Арматура А-I	кг	137,4
12	Монтаж блоков «Стенка откосная СТ6л»	шт.	2
13	Сборный железобетон, габаритные размеры 2,70 × 0,3 × 2,79 м, масса 4,2 т	м ³	3,34
14	Арматура А-I	кг	137,4
<i>Укрепительные работы</i>			
15	Укрепление русла на входе щебнем М400 фр. 40 – 70 мм, h = 0,2 м	м ²	12,4
16	Укрепление русла на выходе щебнем М400 фр. 40 – 70 мм, h = 0,2 м	м ²	12,6
<i>Земляные работы</i>			
17	Разработка грунта экскаватором	м ³	64,58

4.6. Чертеж в AutoCAD

Через меню **Сервис – Настройка – Печать** выбрать масштаб 1 : 100 и виды чертежа: фасад, план, вид слева, разрез, поперечник (рис. 35).

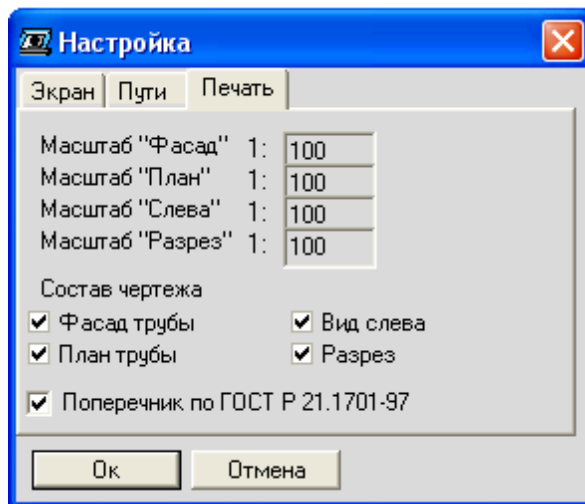


Рис. 35. Настройка для AutoCAD

Через меню **Объект – Чертеж** сохраняем файл (*.ach) (рис. 36). Затем автоматически переходим в программу AutoCAD с экспортом конструкции трубы.

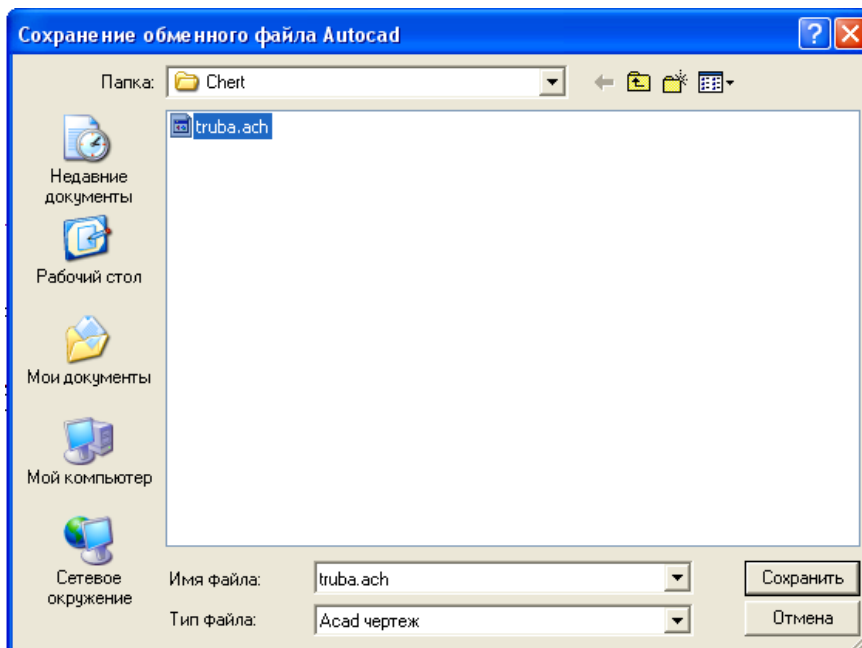


Рис. 36. Сохранение в файл (*.ach)

Идет запрос на выбор таблиц с установкой флажка (рис. 37) и выбор формата чертежа (рис. 38). Формат чертежа для прорисовки рамки можно выбрать равным А1 (594 × 841 мм).

Для вычерчивания штампа необходимо заполнить бланк данных (рис. 39).

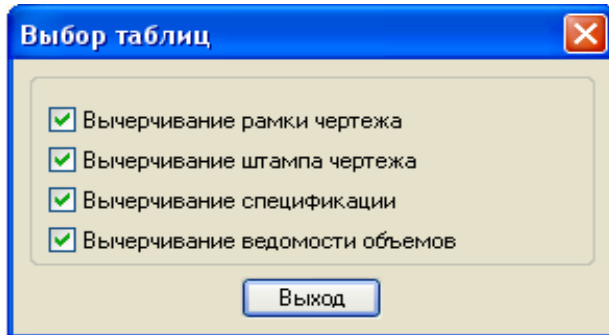


Рис. 37. Вспомогательные таблицы

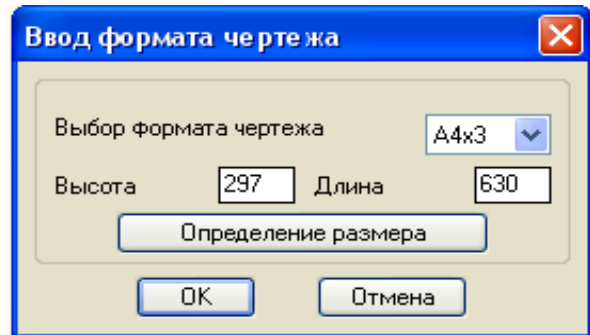


Рис. 38. Выбор формата чертежа

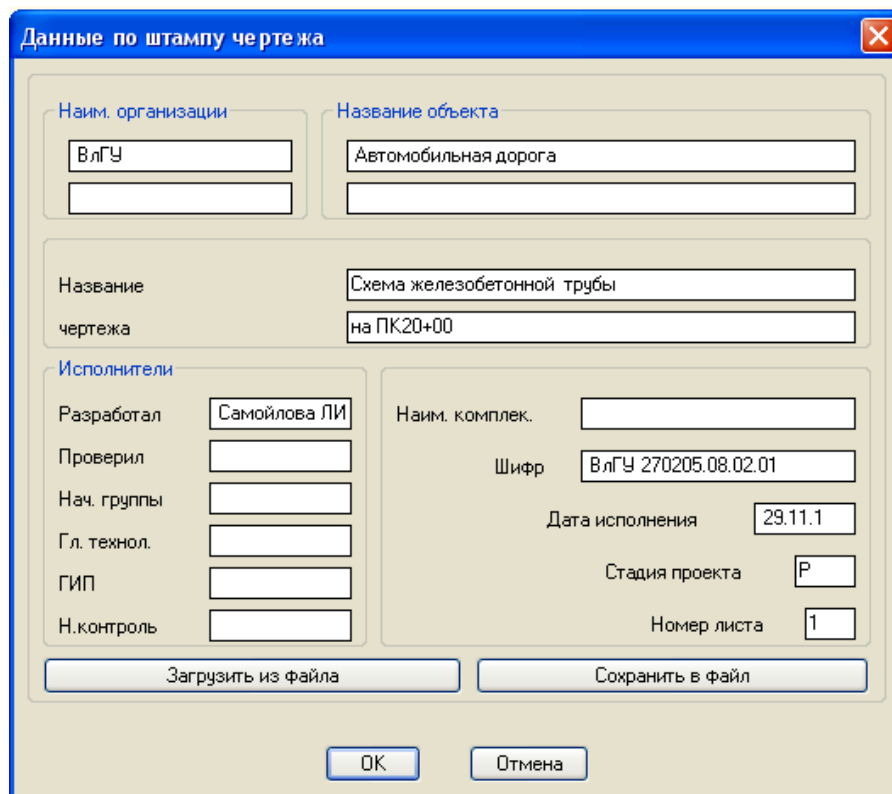


Рис. 39. Бланк данных для штампа

При заполнении данных для спецификации и ведомости объемов нажать кнопку **ОК**. В ведомости объемов добавить количество строк в таблице и занести данные из табл. 38.

Автоматически вычерчиваются таблицы **Спецификация** и **Основные объемы работ**, для которых необходимо курсором указать точку расположения на чертеже (рис. 40, 41).

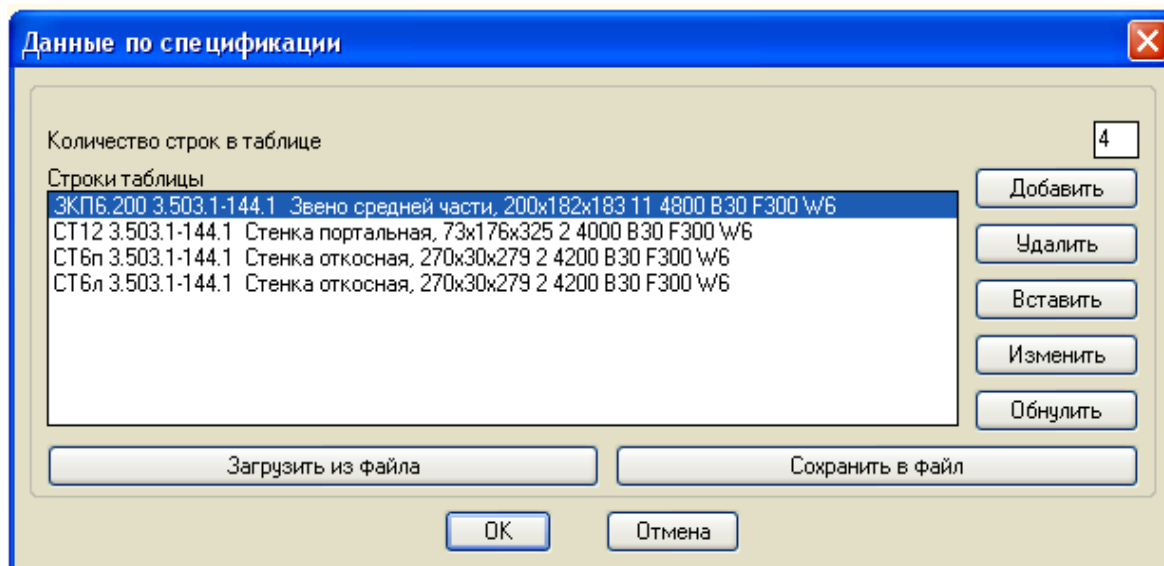


Рис. 40. Спецификация

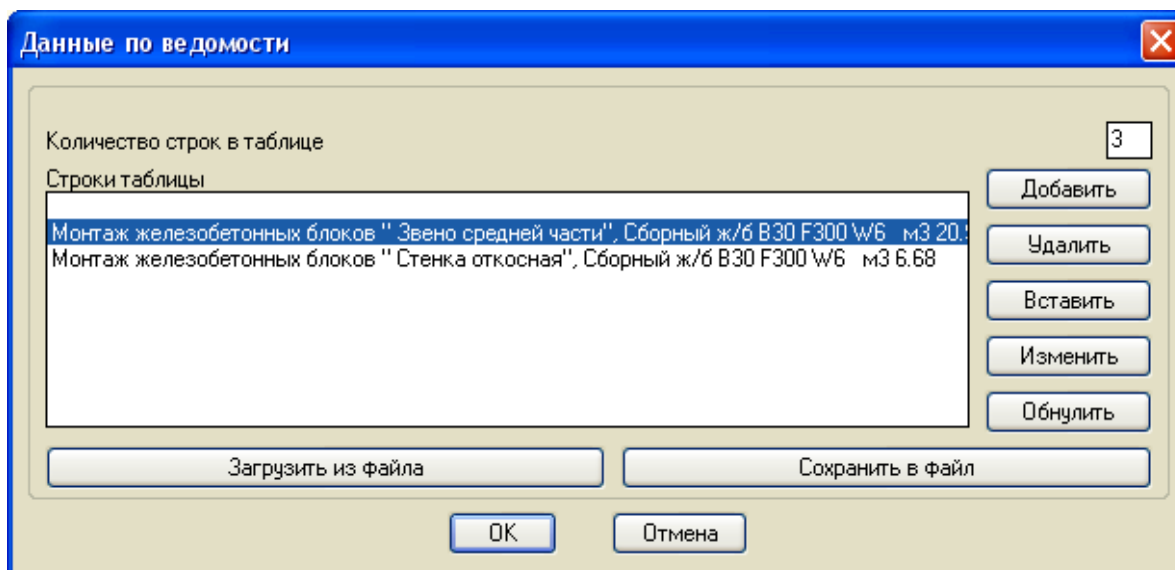


Рис. 41. Основные объемы работ

Далее необходимо оформить чертеж трубы согласно СПДС (см. рис. 19). Ниже приведены чертежи (рис. 42 – 44) и размеры элементов трубы (табл. 39 – 41) согласно типовому проекту на трубы 3.501.1-144 для порталного оголовка, раструбного оголовка с цилиндрическим и коническим звеньями на входе.

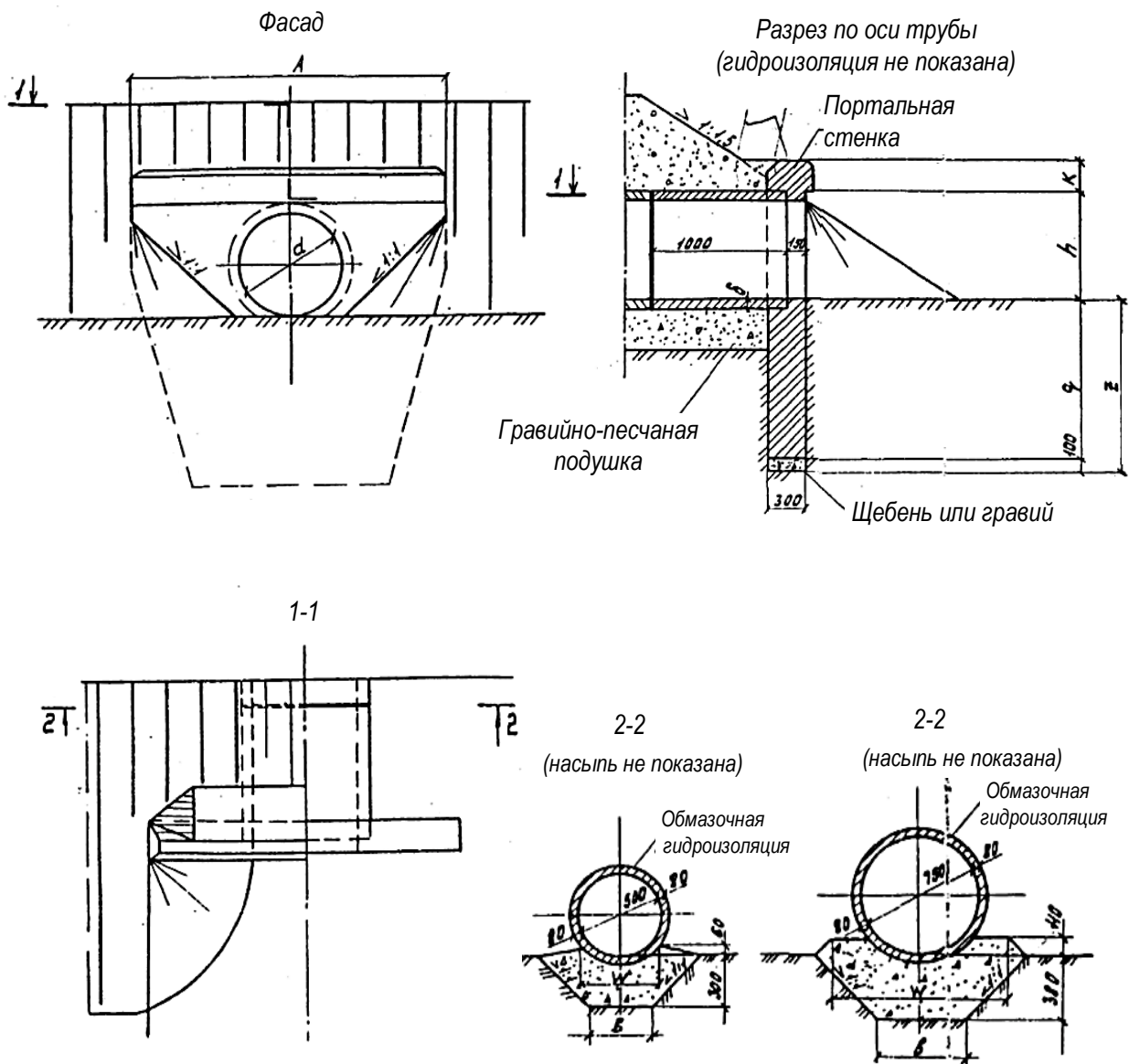


Рис. 42. Конструкция портального оголовка трубы

Таблица 39

Параметры портального оголовка трубы (по рис. 42)

Размер, см								
Отверстие d	Толщина стенки δ	A	$в$	h	$к$	q	W	z
0,50	8	150	40	60	25	100	55	110
0,75	8	226	55	85	25	125	115	135

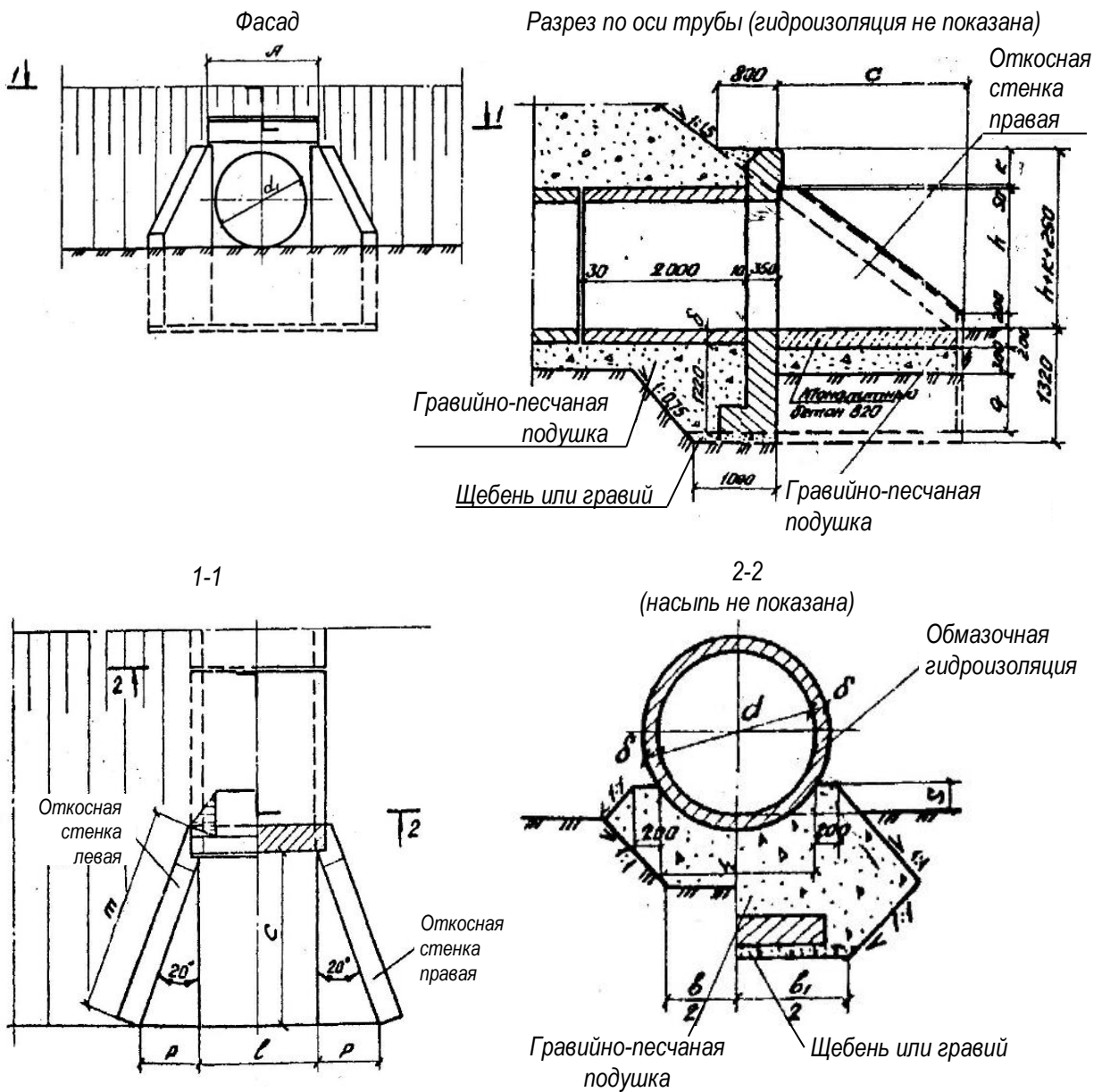


Рис. 43. Конструкция раструбного оголовка трубы с цилиндрическим звеном

Таблица 40

Параметры раструбного оголовка трубы с цилиндрическим звеном (по рис. 43)

Размер, см														
d	d_1	δ	A	v	v_1	c	h	κ	ℓ	t	p	q	W	S
100	100	10	122	90	150	147	85	40	106	185	51	72	98	16
120	120	12	142	120	170	180	106	40	126	220	62	71	122	20
150	150	14	176	150	180	226	138	40	160	270	80	71	146	24

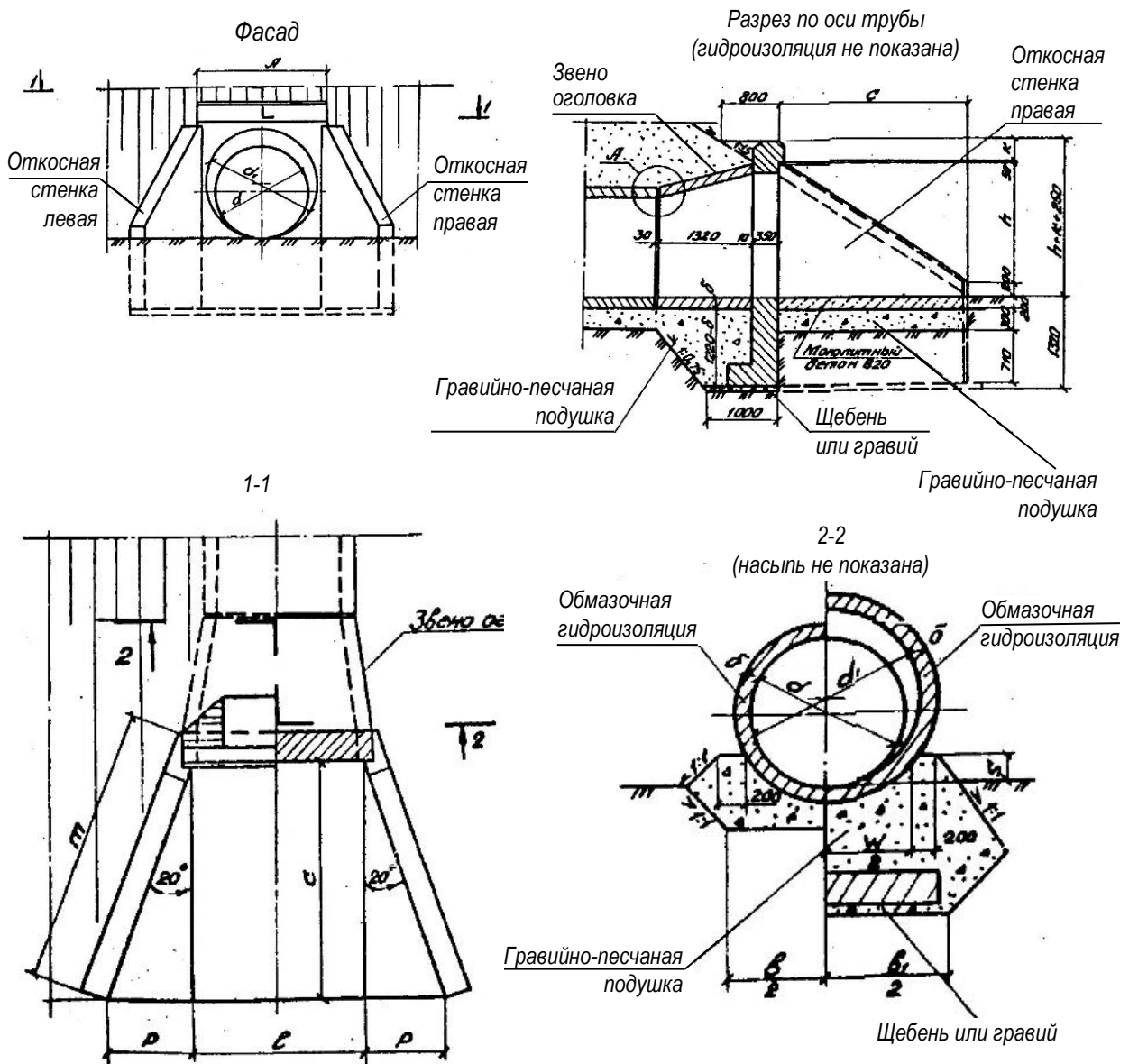


Рис. 44. Конструкция раструбного оголовка трубы с коническим звеном

Таблица 41

Параметры раструбного оголовка трубы с коническим звеном
(по рис. 44)

Размер, см													
d	d_1	δ	A	v	v_1	c	h	k	l	m	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

МНОГООЧКОВАЯ ТРУБА

Чертеж для многоочковой водопропускной трубы, полученный в CREDO, необходимо откорректировать согласно типовому проекту на трубы 3.501.1-144, уложив параллельно две или три трубы.

Чертеж фасада многоочковой трубы остается без изменения (см. рис. 19).

Доработать чертеж разреза трубы (рис. 45). Пространство между трубами заполняют строительным материалом, который предусмотрен для основания трубы: щебеночно-песчаной смесью или монолитным бетоном класса В20.

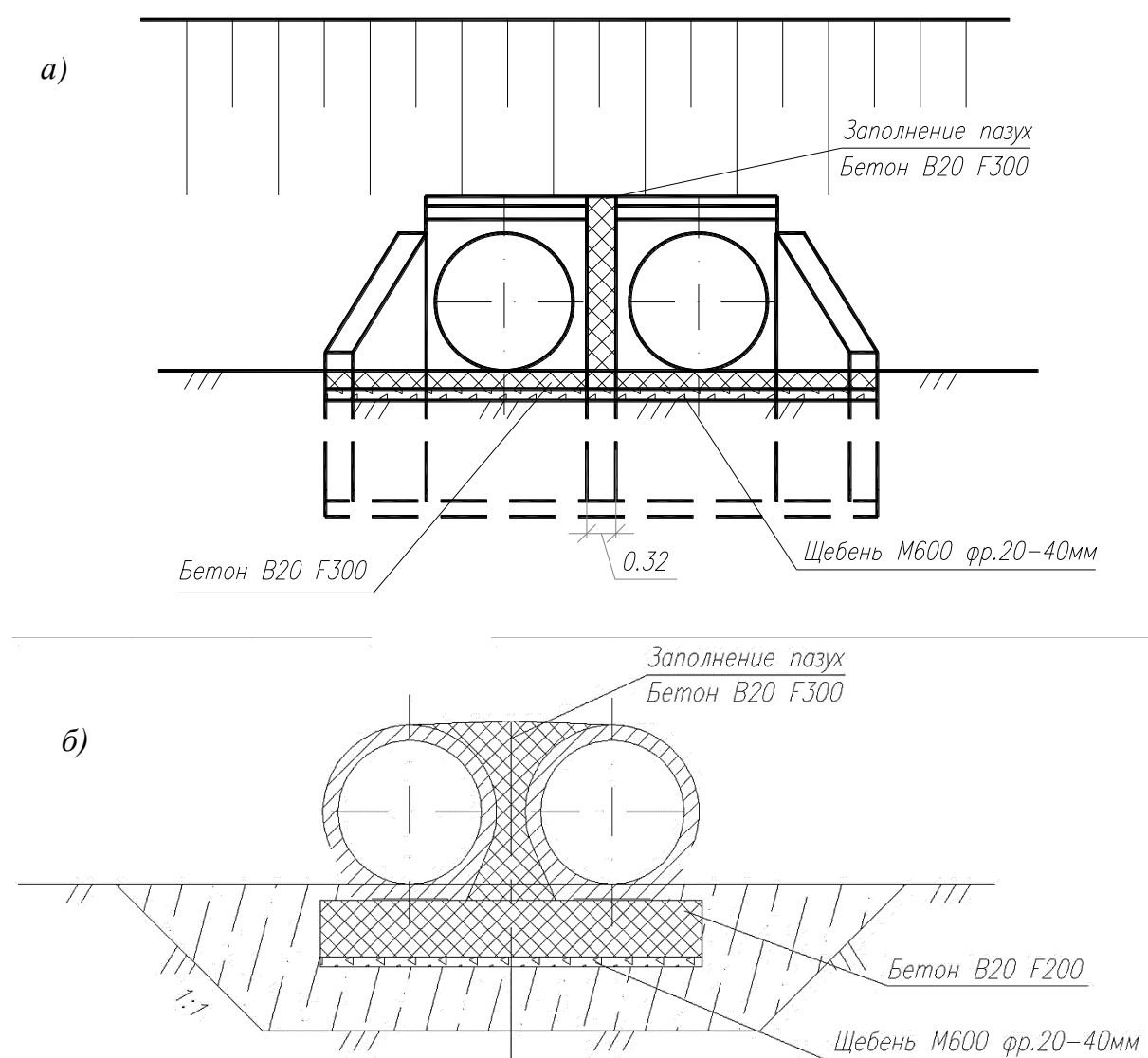


Рис. 45. Двухочковая водопропускная труба:
а – вид слева от дороги; б – разрез трубы по оси дороги

План водопропускной трубы необходимо доработать (рис. 46), уточнить спецификацию (табл. 42) и пересчитать объемы работ на трубу с учетом увеличения количества очков трубы.

Таблица 42

Спецификация бетонных блоков на трубу $d - 2 \times 1,5$ м

Марка	Наименование	Длина, м	Масса, т	Кол-во, шт.
ЗК8.200	Звено средней части	2,0	3,6	22
ЗК16.132	Коническое звено на входе	1,32	2,6	2
СТ12	Портальная стенка	1,76	4,0	4
СТ6	Откосная стенка	2,70	4,2	4
8	Лекальный блок	2,01	2,9	6
8а	Лекальный блок	0,99	1,4	10
9	Лекальный блок	1,5	2,2	16

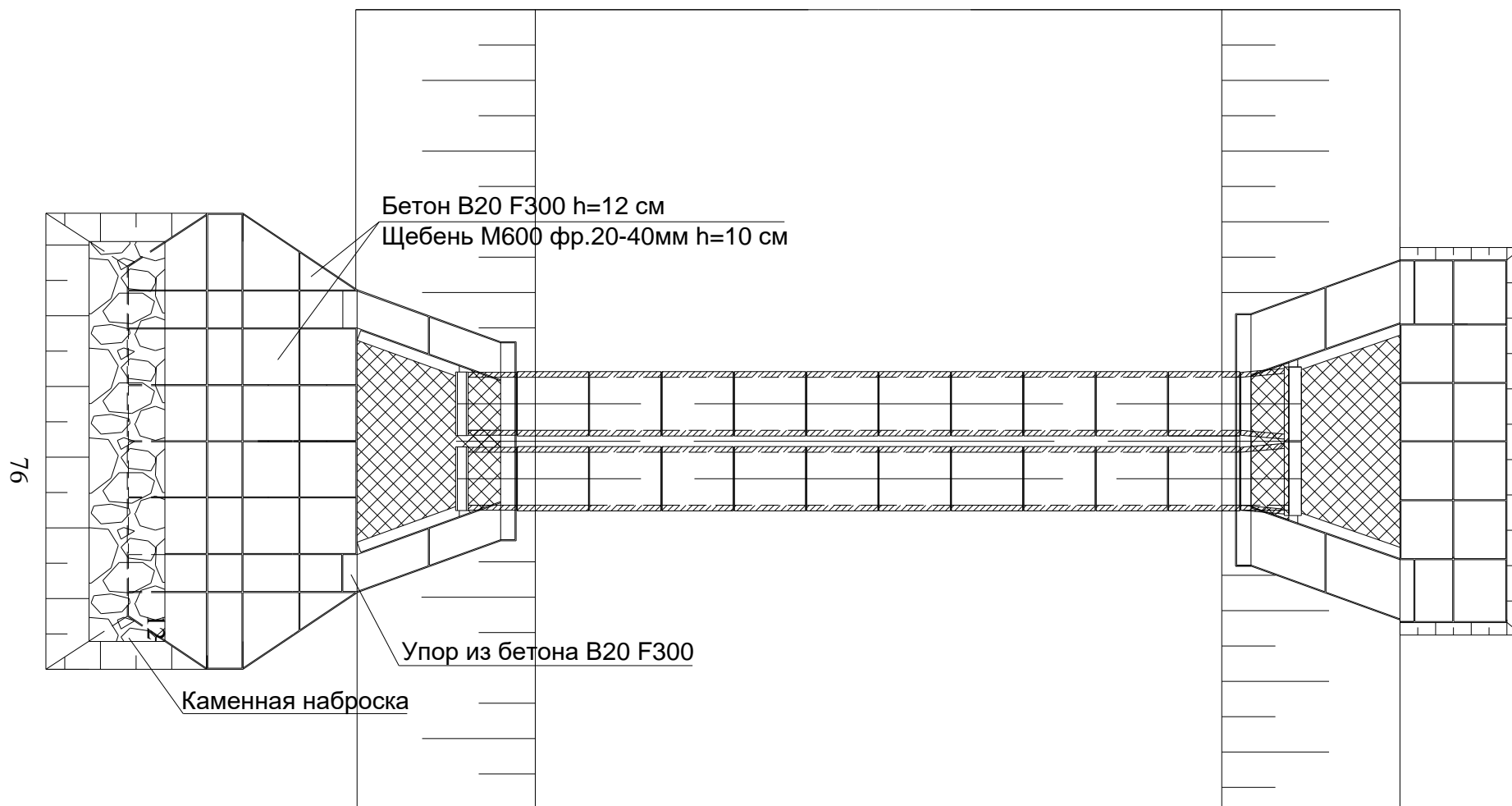


Рис. 46. План двухочковой водопропускной трубы с коническим звеном на входе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии в качестве примера запроектирована водопропускная труба на автомобильной дороге технической категории II в Калужской области при высоте насыпи 4,5 м. Грунт поверхности водосборного бассейна – скальный. Вид основания под трубу – ленточный блок на щебеночной подготовке.

Выполнены гидрологический, гидравлический и специальные расчеты. При проектировании применен программный комплекс CREDO.

Расчетное отверстие трубы принято по наибольшему из расходов воды, т. е. ливневому стоку с учетом аккумуляции.

Из предложенных вариантов назначена круглая труба отверстием 1,5 м в напорном режиме с раструбным оголовком и коническим звеном на входе из экономических соображений.

При конструировании трубы назначено 11 звеньев средней части длиной по 2 м. Полная длина трубы с оголовками составила 27,56 м. Русло трубы на входе и выходе укрепляют из плит П-2 сборного бетона.

ТЕМЫ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

1. Водосбор и водораздел.
2. Характеристики бассейна.
3. Гидрограф стока: трапецеидальный и треугольный.
4. Расход ливневых и талых вод.
5. Номер ливневого района.
6. Вероятность превышения расчетного паводка для труб.
7. Вероятность превышения расчетного паводка для больших мостов.
8. Наиболее предпочтительный для проектирования, самый благоприятный режим протекания воды в трубах.
9. Полунапорный и напорный режимы протекания воды в трубах.
10. Пропускная способность трубы при безнапорном режиме.
11. Пропускная способность трубы при напорном режиме.
12. Гидравлический прыжок.
13. Аккумуляция.
14. Верхний бьеф.
15. Объем пруда перед сооружением.
16. Коэффициент аккумуляции.
17. Методы учета аккумуляции для труб.
18. Типы сопряжения потока воды из трубы с бытовым потоком в русле.
19. Схема сбойного истечения потока воды из трубы.
20. Наибольшая неразмывающая скорость потока воды на выходе из трубы.
21. Преимущества проектирования трубы перед мостом.
22. Вид расчетов для определения расхода воды.
23. Вид расчетов для определения размеров отверстий искусственных сооружений и уровней воды.

24. Вид расчетов для прогнозирования опасных деформаций русел.
25. Зона эрозии, где вода интенсивно размывает дно и берега.
26. Зона транзита наносов.
27. Зона аккумуляции наносов.
28. Гидрометрические характеристики реки.
29. Водомерные посты.
30. Вышки для измерения на реке.
31. Гидрометрические кривые.
32. Последовательность наступления максимальных значений характеристик паводка.
33. Паводочная петля на кривой расходов.
34. Наибольшая скорость течения в речном потоке.
35. Стеснение речного потока мостовым переходом в паводки.
36. Кривая подпора у насыпи.
37. Максимальное значение подпора.
38. Природные деформации русел рек.
39. Классификация по типам руслового процесса участка реки.
40. Показатель формы русла.
41. Искусственное уширение русла под мостом – срезка.
42. Виды размывов.
43. Расчет общего размыва русла.
44. Глубина воронки местного размыва.
45. Виды регуляционных сооружений на реках.
46. Струенаправляющие дамбы.
47. Запруды.
48. Заилители.

49. Поперечные струеотбойные траверсы.
50. Уравнение равномерного течения жидкости А. Шези.
51. Уравнение неразрывности установившегося потока.
52. Основные свойства рек.
53. Распределение расхода воды в створе моста между руслом и поймами.
54. Целесообразность устройства срезки.
55. Ширина русла с учетом срезки.
56. Дифференциальное уравнение баланса наносов Экснера – закон сохранения материи твердой фазы руслового потока.
57. Дифференциальное уравнение неразрывности неустановившегося течения жидкости Сен-Венана – закон сохранения материи жидкой фазы руслового потока.
58. Дифференциальное уравнение плавно изменяющегося неустановившегося течения потока в открытых непризматических руслах Сен-Венана – законы сохранения энергии и количества движения жидкой фазы руслового потока.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
Кафедра автомобильных дорог

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

Э. Ф. Семехин

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по дисциплине
«Инженерная гидрология»
на тему «Проект водопропускной трубы»

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

Основная литература

1. *Самойлова, Л. И.* Инженерный проект автомобильной дороги : Вариантное проектирование в CREDO : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / Л. И. Самойлова, Э. Ф. Семехин, Е. И. Варзин ; под ред. Л. И. Самойловой. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – 88 с. – ISBN 978-5-9984-0566-2.

2. *Федотов, Г. А.* Изыскания и проектирование автомобильных дорог : учебник : в 2 кн. / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов. – М. : Абрис, 2012. – 519 с. – ISBN 978-5-4372-0076-6.

Дополнительная литература

1. СП 46.13330. Мосты и трубы. – М. : ЦПП, 2013. – 147 с.

2. СП 35.13330. Мосты и трубы. – М. : ЦПП, 2011. – 664 с.

3. Справочная энциклопедия дорожника. В 5 т. Т. 5. Проектирование автомобильных дорог / под ред. Г. А. Федотова, П. И. Поспелова. – М. : Информавтодор, 2007. – 668 с. – ISBN 5-900121-27-5.

4. *Федотов, Г. А.* Изыскание и проектирование мостовых переходов : учеб. пособие / Г. А. Федотов. – М. : Академия, 2009. – 299 с.

5. СТО НОСТРОЙ 2.25.99. Автомобильные дороги. Устройство, реконструкция и капитальный ремонт водопропускных труб. В 3 ч. Ч. 1. Трубы бетонные и железобетонные. Устройство и реконструкция. – М., 2013. – 92 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	5
1.1. Водосбор и его характеристика	5
1.2. Максимальный расход воды	10
1.3. Расход ливневых вод	11
1.4. Расход талых вод	16
1.5. Расчет в программе CREDO Грис С	20
2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	23
2.1. Пропускная способность трубы	23
2.2. Расчет в программе CREDO Грис Т	29
2.3. Учет аккумуляции воды	32
3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ	39
3.1. Минимальная высота насыпи над трубой	39
3.2. Конструирование трубы	40
3.3. Укрепление русла трубы	42
3.4. Материал для укрепления русла	45
3.5. Расчет объемов работ	45
4. ЧЕРТЕЖ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ В CREDO	51
4.1. Подготовка к работе	51
4.2. Подключение базы данных	54
4.3. Исходные данные	54
4.4. Конструирование трубы	59
4.5. Земляные и укрепительные работы	64
4.6. Чертеж в AutoCAD	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
ТЕМЫ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ	78
ПРИЛОЖЕНИЕ	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	82

Учебное издание

САМОЙЛОВА Любовь Ивановна

ПРОЕКТ ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

Учебное пособие

к курсовому и дипломному проектированию

Редактор Е. С. Глазкова

Технический редактор С. Ш. Абдуллаева

Корректоры О. В. Балашова, Е. П. Викулова

Компьютерная верстка Е. А. Герасиной

Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 25.12.17.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 4,88. Тираж 80 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.