

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

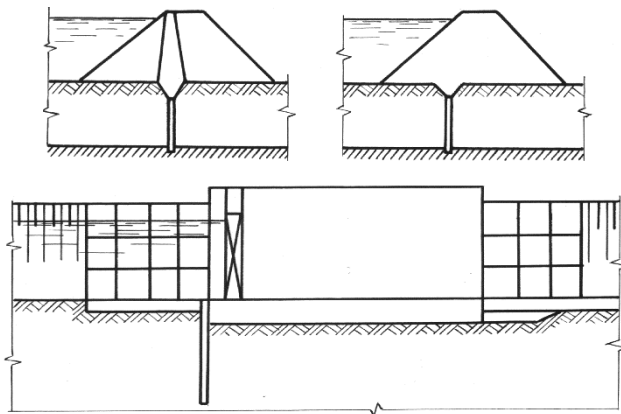
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра гидротехнических сооружений
и водоснабжения

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
и исходные данные
по выполнению курсового проекта

Для студентов специальности
6-05-0811-03 Мелиорация и водное хозяйство



Горки 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Исходные данные	3
2. Содержание курсового проекта	15
3. Порядок выполнения курсового проект.....	19
Литература	57

ВВЕДЕНИЕ

Воду, драгоценный дар природы, академик А. Н. Карпинский назвал живой кровью, которая создает жизнь там, где ее не было. Вода – основа развития земледелия, энергетики и рыбного хозяйства, без нее немислим быт и досуг человека.

Общее количество водных ресурсов в гидросфере Земли достигает 1500 млн. км³. Из них более 96 % – горько-соленая вода морей и океанов, покрывающая почти 71 % всей поверхности планеты. На долю пресной воды приходится около 90 млн.км³ (менее 3 %), причем основной ее запас – это подземные «моря» и ледники.

Республика Беларусь по своим природным условиям относится к средней по водообеспеченности зоне СНГ и одной из богатейших стран Европы по запасам внутренних водных ресурсов. Около 5 процентов ее территория находится по водой.

Значительный объем воды находится в построенных прудах и водохранилищах. Сейчас на территории Беларуси имеется 960 прудов и водохранилищ. Их полезный объем составляет 762,8 млн. м³ с общей площадью зеркала при НПУ 39,8 тыс. га.

В последние годы в Республике Беларусь реконструируются и восстанавливаются, в основном, средние и малые гидроузлы чаще для целей рыбоводства и использования водной энергии.

В данной работе даются краткие методические указания по выполнению курсового проекта в составе: грунтовой плотины, водосбросного и водоспускного сооружений, а также различные варианты исходных данных, состав курсового проекта и рекомендуемая литература. Выполнение указанного курсового проекта позволит будущим специалистам получить основы современных методов проектирования и расчета гидротехнических сооружений, крайне необходимых для реконструкции и восстановления гидроузлов Республики Беларусь.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Район строительства _____
2. Топографический план района строительства, планшет № _____
3. Геология по створу плотины (табл. 1), вариант _____
4. Характерные глубины воды (табл. 2), вариант _____
5. Наибольшая расчетная длина водоема по направлению господствующих ветров (табл. 3), вариант _____
6. Угол подхода фронта волны к плотине (табл. 3), вариант _____
7. Категория дороги по гребню плотины (табл. 4), вариант _____
8. Наличие строительных материалов в районе строительства гидроузла (табл. 5), вариант _____
9. Класс сооружений гидроузла – III, IV.

10. Глубина залегания грунтовых вод (табл. 6), вариант _____
 11. Назначение гидроузла и состав сооружений (табл. 7), вариант ____
 12. Характерные расходы воды (табл. 8), вариант _____
 13. Тип водосборного сооружения (табл. 9), вариант _____
 14. Расчетные скорости ветра на территории РБ (табл. 10).
 15. Гранулометрический состав грунтов – таблица 11.
 16. Физико-механические характеристики грунтов _____ табл. 12.
 17. Данные компрессионных испытаний грунтов _____ табл. 13.

Т а б л и ц а 1. **Исходные геологические данные**

Вариант	Скважина			
	в пойме		в бортах	
	Грунт	Мощность слоя, м	Грунт	Мощность слоя, м
1	2	3	4	5
1	5	4,20	1	0,35
	10	5,00	3	4,00
	12	16,00	9	3,00
			10	4,00
			12	8,00
2	5	4,00	1	0,25
	14	5,00	14	4,50
	11	На всю рзвед. толщу	11	На всю рзвед. толщу
3	6	3,50	1	0,30
	10	5,50	8	4,00
	11	18,00 и более	11	18,00
4	5	3,40	1	0,15
	10	10,50	12	5,15
	12	17,00	10	8,50
			12	12,00
5	1	0,200	1	0,25
	2	5,00	4	3,00
	9	7,00	10	7,00
	11	12,00	11	15,00
6	2	3,00	1	0,50
	10	5,00	13	2,50
	13	12,00	10	5,00
			13	На всю рзвед. толщу
7	7	3,00	1	0,30
	10	8,00	14	3,50
	14	17,00	10	7,00
			14	11,00
8	5	4,0	1	0,35
	8	3,0	8	8,65
	9	7,0	10	18,00
	10	На всю рзвед. толщу		

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5
9	4	5,00	1	0,15
	2	3,00	10	3,50
	9	6,00	9	6,00 и более
	13	18,00 и более	13	
10	2	2,00	1	0,30
	8	6,00	9	5,00
	10	18,00	8	4,00
			10	12,00
11	3	4,0	1	0,10
	2	2,0	3	4,0
	14	8,0 и более	2	5,0
			14	9,0
12	2	1,0	1	0,15
	5	3,4	2	6,0
	11	4,0 и более	5	3,4
			11	10,0
13	14	3,8	1	0,20
	8	4,2	5	3,8
	12	3,1	4	4,3
			12	7,5
14	7	2,3	1	0,15
	2	3,0	14	5,4
	10	6,0 и более	10	4,3
			13	8,0
15	14	3,6	1	0,25
	8	4,0	14	6,2
	13	3,2 и более	8	7,4
			13	5,0
16	1	0,30	13	2,0
	4	1,8	11	4,5
	5	3,6	10	7,0 и более
	10	8,7		
17	14	4,6	1	0,25
	9	8,3	2	6,0
	10	7,4 и более	14	3,2
			9	7,0
18	7	0,7	1	0,20
	6	2,0	10	3,4
	2	4,0	9	5,2
	13	5,0 и более	13	2,0 и более
19	6	0,8	1	0,15
	14	3,6	8	2,5
	11	5,4	12	3,0
			11	5,6
20	5	1,2	1	0,45
	3	3,5	9	4,4
	2	7,4	14	3,0
	12	4,0 и более	12	7,8

Примечания. Нумерация грунтов следующая:

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1 – растительный слой; | 8 – суглинок твердый; |
| 2 – песок мелкий; | 9 – суглинок полутвердый; |
| 3 – песок средний; | 10 – суглинок мягко пластичный; |
| 4 – песок крупный; | 11 – глина твердая; |
| 5 – песок крупный с галькой; | 12 – глина тугопластичная; |
| 6 – торф разложившийся; | 13 – глина полутвердая; |
| 7 – торф слаборазложившийся; | 14 – супесь твердая. |

При нанесении геологических условий на продольный профиль по оси плотины, расположение пластов должно соответствовать данным по скважине и берегам.

Т а б л и ц а 2. **Характерные глубины воды (Н)**

Глубина воды, м	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H_1	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0
$H_{2 \text{ быт}}$	1,5	1,8	2,0	2,1	2,3	2,0	1,9	2,2	1,7	1,6
$H_{2 \text{ max}}$	2,5	2,7	3,0	2,9	3,1	3,4	3,6	3,0	3,5	5,40
$H_{\text{сраб}}$	2,0	3,0	3,0	4,0	4,5	5,0	5,5	5,0	5,5	6,0

Примечание: H_1 – глубина воды в верхнем бьефе (ВБ) при нормальном подпорном уровне (НПУ); $H_{2 \text{ быт}}$ – бытовая глубина воды в реке; $H_{2 \text{ max}}$ – максимальная глубина воды в реке; $h_{\text{сраб}}$ – величина сработки уровня воды в водоеме.

Т а б л и ц а 3. **Наибольшие расчетные длины водоема (L) по направлению господствующих ветров и углы подхода фронта волны к сооружению (β)**

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наибольшая расчетная длина водоема (L), км	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	0,6	0,7	0,9
Угол подхода фронта волны к сооружению (β), град.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45

Т а б л и ц а 4. **Категория дороги по гребню плотины**

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Категория дороги по гребню плотины	I-с	II-с	III-с	II	III	IV	V	I-с	III	II

Т а б л и ц а 5. Сведения о наличии строительных материалов в районе строительства гидроузла

Вариант	Камень	Щебень	Гравий	Пески различной крупности	Асфальтобетон	Железобетонные изделия	Ивовые черенки или хлысты
1	Нет	Нет	Есть	Есть	В 20 км	В 10 км	Есть
2	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет	В 40 км	Есть
3	Нет	Есть	Нет	Есть	В 80 км	В 15 км	Есть
4	Есть	Есть	Нет	Есть	Нет	В 30 км	Нет
5	Есть	Нет	Есть	Есть	Нет	В 3 км	Нет
6	Нет	Нет	На пойме	Есть	В 10 км	В 20 км	Нет
7	Есть	В 40 км	Есть	Есть	Нет	В 15 км	Есть
8	Есть	Нет	Нет	Есть	В 5 км	В 10 км	Есть
9	Нет	Есть	Нет	Есть	В 20км	В30км	Нет
10	Есть	Нет	Есть	Есть	Нет	В 3км	Есть

Т а б л и ц а 6. Глубина залегания грунтовых вод

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глубина залегания грунтовых вод, м	1,6	2,0	2,5	1,8	2,2	3,0	3,5	1,4	2,6	3,2

Т а б л и ц а 7. Назначение гидроузла и состав сооружений

Вариант	1	2	3	4	5
Назначение гидроузла	Рыбоводство	Использование водной энергии	Водоснабжение	Создание зоны отдыха	Орошение, обводнение
Состав сооружений гидроузла	1. Плотина из местных материалов	1. Плотина из местных материалов	1. Плотина из местных материалов	1. Плотина из местных материалов	1. Плотина из местных материалов
	2. Водосбросное сооружение	2. Водосбросное сооружение	2. Водосбросное сооружение	2. Водосбросное сооружение	2. Водосбросное сооружение
	3. Водоспускное сооружение	3. Водоспускное сооружение	3. Водоспускное сооружение	3. Водоспускное сооружение	3. Водоспускное сооружение
	4. Рыбоуловитель	4. Водозаборное сооружение	4. Рыбоуловитель	4. Лодочный причал, пляж	4. Водозаборное сооружение
	5. Подводящие и отводящие каналы	5. Подводящие и отводящие каналы	5. Подводящие и отводящие каналы	5. Подводящие и отводящие каналы	5. Подводящие и отводящие каналы

П р и м е ч а н и е. По указанию руководителя курсового проектирования состав сооружений в отдельных вариантах может быть изменен.

Т а б л и ц а 8. Характерные расходы воды (Q)

Рас- ходы воды, м ³ /с	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Q max	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	35,0	50,0	75,0	100, 0	150, 0
Q стр	0,5	1,0	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Q опор	0,8	1,2	1,6	1,8	1,4	2,0	2,2	3,0	3,5	4,0
Q вод	1,0	1,4	1,2	1,60	2,0	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5

П р и м е ч а н и е. Q max – величина максимального расхода воды в реке; Q стр – величина строительного расхода воды в реке; Q опор – расчетный расход опорожнения водоема; Q вод – расчетный расход водозаборного сооружения.

Т а б л и ц а 9. Типы водосбросных сооружений

Вариант	Тип водосбросного сооружения
1	2
1	Шахтный.
2	Ковшовый.
3	Открытый, управляемый затворами, с быстротоком.
4	Открытый, управляемый затворами, с перепадом.
5	Траншейный, с быстротоком.
6	Траншейный, с перепадом.
7	Водосливная плотина.

Т а б л и ц а 10. Расчетные скорости ветра на территории Республики Беларусь, м/с

№ станции	Название станции	Обеспеченность, %										
		2	4	20	30	50						
4	Витебская область	21,5	20,0	18,0	16,0	15,0						
	Полоцк											
	5						Шарковщина	19,5	18,5	16,5	15,0	14,5
	6						Витебск	22,0	21,0	19,0	18,0	17,0
	9						Лепель	19,0	18,0	16,5	15,5	14,0
	10						Сенно	20,5	19,0	17,0	15,5	14,0
12	Славное	22,0	21,0	19,0	18,0	17,0						
13	Минская область	20,0	9,0	17,5	16,0	15,0						
	Вилейка											
	14						Борисов	21,0	20,0	18,5	17,0	16,0
	16						Воложин	23,0	21,5	19,5	18,0	16,5
	17						Минск	22,0	21,0	19,0	18,0	17,0
	18						Березино	18,5	18,0	17,5	16,0	15,5

20	Марьина Горка	21,0	20,0	18,5	17,0	16,0
22	Слуцк	19,0	18,0	16,5	15,5	14,0
23	Гродненская область Лида	19,5	19,0	18,0	17,0	16,0
25	Новогрудок	17,5	17,0	16,0	15,0	14,0
26	Волковыск	20,0	19,0	17,5	16,0	15,0
27	Могилевская область Горки	19,5	19,0	18,0	17,0	16,0
28	Могилев	21,0	20,0	18,5	17,0	16,0
30	Славгород	21,0	20,0	18,5	17,0	16,0
31	Костюковичи	19,5	18,5	16,5	15,0	14,0
33	Брестская область Барановичи	23,0	22,0	20,0	18,5	18,0
35	Ивацевичи	19,5	19,0	18,0	17,0	16,0
36	Пружаны	23,0	22,0	20,0	18,5	18,0
40	Брест	20,0	19,0	17,5	16,0	15,0
43	Гомельская область Гомель	24,0	23,0	22,0	20,5	19,0
44	Василевичи	22,0	21,0	19,0	18,0	17,0
45	Житковичи	15,5	15,0	14,0	13,0	12,0

Т а б л и ц а 11. Гранулометрический состав грунтов (по массе частиц), %

№ п.п.	Грунт	Размеры частиц, мм									
		>2	2÷1	1÷0,5	0,5÷0,25	0,25÷0,1	0,1÷0,05	0,05÷0,01	0,01÷0,005	0,005÷0,001	<0,001
1	Растительный слой	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Песок мелкий	–	1,5	3,0	28,0	45,5	10,0	7,0	3,0	2,0	–
3	Песок средний	5,0	11,0	14,0	27,0	12,0	13,5	11,0	6,5	–	–
4	Песок крупный	25,0	25,0	29,5	10,5	4,0	1,2	1,2	1,4	1,2	–
5	Песок крупный с галькой	22,0	23,0	24,0	15,0	6,8	4,7	2,5	0,9	1,5	–
6	Торф разложившийся	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
7	Торф слаборазложившийся	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	Суглинок твердый	–	–	0,5	0,5	4,0	10,0	34,0	29,0	13,0	9,0
8											
9	Суглинок полутвердый	–	2,0	4,0	10,0	15,0	14,0	15,0	18,0	17,0	5,0
10	Суглинок мягкопластичный	1,0	3,0	1,5	9,5	17,0	14,0	15,0	21,0	15,0	3,0
11	Глина твердая	–	–	0,9	9,7	11,3	15,4	18,6	11,0	20,1	13,0
12	Глина тугопластичная	–	2,0	4,0	10,0	15,0	14,0	15,0	18,0	17,0	5,0
13	Глина полутвердая	–	0,8	2,1	1,0	1,3	30,5	15,4	14,8	25,2	8,0
14	Супесь твердая	–	–	0,3	0,4	6,3	28,0	26,0	18,4	10,6	10,0

Т а б л и ц а 12. Физико-механические характеристики грунтов

№ п.п.	Грунт	Плотность, т/м ³		Угол внутреннего трения, град		Удельное сцепление, кПа		Коэффициент фильтрации, Кф, м/сут
		частиц грунта, γ_s	грунты естественной влажности, γ	естественной влажности, ϕ	насыщенной водой, ϕ_w	естественной влажности, С	насыщенного водой, C_w	
1	Растительный слой	–	–	–	–	–	–	–
2	Песок мелкий	2,65	1,64	28	27	0	0	15,00
3	Песок средний	2,67	1,93	31	29	1	1	5,80
4	Песок крупный	2,65	2,02	34	33	0	0	63,50
5	Песок крупный с галькой	2,64	1,83	38	37	0	0	28,00
6	Торф разложившийся	1,60	0,25	–	–	–	–	0,01
7	Торф слабо разложившийся	1,55	0,10	–	–	–	–	0,2
8	Суглинок твердый	2,74	1,51	20	16	19	15	0,26
9	Суглинок твердый	2,69	1,95	18	15	21	18	0,02
10	Суглинок мягкопластичный	2,70	1,90	16	14	16	14	$2,1 \cdot 10^{-3}$
11	Глина твердая	2,75	1,87	19	12	54	35	$1,4 \cdot 10^{-8}$
12	Глина тугопластичная	2,69	1,94	16	11	43	28	$2,5 \cdot 10^{-3}$
13	Глина полутвердая	2,71	1,77	18	12	48	33	$3 \cdot 10^{-5}$
14	Супесь твердая	2,78	1,46	16	13	12	10	0,80

Т а б л и ц а 13. Данные компрессионных испытаний грунтов

№ п.п.	Грунт	Значения коэффициента пористости e при давлении P , Мпа					
		0,00	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
1	Растительный слой	–	–	–	–	–	–
2	Песок мелкий	0,770	0,735	0,720	0,704	0,697	0,692
3	Песок средний	0,770	0,743	0,722	0,685	0,668	0,654
4	Песок крупный	0,580	0,571	0,563	0,552	0,547	0,544
5	Песок крупный с галькой	0,700	0,677	0,655	0,621	0,597	0,588
6	Торф разложившийся	–	–	–	–	–	–
7	Торф слаборазложившийся	–	–	–	–	–	–
8	Суглинок твердый	0,965	0,957	0,946	0,936	0,930	0,927
9	Суглинок полутвердый	0,728	0,708	0,690	0,662	0,638	0,621
10	Суглинок мягкопластичный	0,830	0,790	0,763	0,724	0,703	0,691
11	Глина твердая	0,780	0,739	0,730	0,712	0,703	0,696
12	Глина тугопластичная	0,800	0,780	0,767	0,752	0,744	0,740
13	Глина полутвердая	0,860	0,833	0,805	0,781	0,768	0,761
14	Супесь твердая	1,065	1,058	1,053	1,047	1,043	1,041

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

2.1. Состав пояснительной записки

Технический паспорт гидроузла

Содержание

Введение

2.1.1. Природные условия объекта: топографические, геологические, гидрологические, гидрогеологические.

2.1.2. Назначение и состав гидроузла.

2.1.3. Грунтовая плотина: выбор створа, типа и обоснование конструкции грунтовой плотины; определение основных размеров плотины; обоснование и расчет крепления откосов плотины; обоснование и выбор типа дренажных устройств грунтовой плотины; фильтрационный расчет; статический расчет одного из откосов, экрана; расчет осадки грунтовой плотины; таблица объемов работ по плотине.

2.1.4. Водосбросное сооружение: выбор трассы и типа, обоснование и описание конструкции; гидравлический расчет; гидротехнический расчет; статический расчет; таблица объемов работ.

2.1.5. Водоспускное (водозаборное) сооружение: выбор трассы и типа, обоснование и описание конструкции; гидравлический расчет; таблица объемов работ.

Литература.

2.2. Графические приложения к записке (выполняются на миллиметровой бумаге)

2.2.1. Поперечный профиль по створу плотины, совмещенный с геологическим разрезом.

2.2.2. Грунтовая плотина: конструкция грунтовой плотины в трех характерных сечениях; схемы к фильтрационному расчету; схема к статическому расчету; схема к расчету осадки грунтовой плотины.

2.2.3. Водосбросное сооружение: продольный профиль по оси сооружения; схемы к гидравлическому расчету; схема к фильтрационному расчету; схема к статическому расчету.

2.2.4. Водоспускное (водозаборное) сооружение: продольный профиль трассы по оси сооружения; схема к гидравлическому расчету.

2.3. Чертежи

(выполняются на двух листах чертежной бумаги формата А 1)

2.3.1. Генплан гидроузла, М 1:2000: конструкция водосброса; продольный разрез по оси (М 1:200; 1:400; 1:500); план (М 1:200; 1:400; 1:500); вид с верхнего бьефа (ВБ): М 1:200; 1:400; 1:500; поперечные сложные разрезы (М 1:200; 1:400; 1:500); детали, узлы, соединения (сопряжения) элементов сооружения, М 1:20; 1:25; 1:1:40; 1:50; 1:75; 1:100.

2.3.3. Грунтовая плотина: поперечный разрез (М 1:100; 1:200); вид с ВБ, совмещенный с геологическим разрезом по створу плотины, с показом сооружений в створе и по высоте, сопряжение плотины с берегами русла и поймы реки, границы дренажных и противодиффузионных устройств (М 1:1000; 1:2000); конструкции элементов грунтовой плотины: дренажа, гребня, крепления откосов, противодиффузионных устройств (М 1:50; 1:100).

2.3.4. Водоспускное (водозаборное) сооружение: продольный разрез, М 1:200; план, М 1:200; поперечные разрезы и сечения (М 1:50; 1:100); конструкции узлов сопряжения элементов, детали сооружения (М 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100).

Примечание. Количество и состав чертежей могут быть изменены по указанию руководителя курсового проектирования в соответствии с назначением гидроузла.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

По дисциплине «Гидротехнические сооружения» выполняется курсовой проект на тему: «Проект водохранилищного узла гидротехнических сооружений». Студенты проектируют гидроузлы для различных целей (в зависимости от варианта назначения): рыбоводство, использование водной энергии, водоснабжение, создание зоны отдыха, орошение, и обводнение.

1. На планшете наносят 3...5 створов (поперечников) и на основании их сопоставления выбирают створ гидроузла, руководствуясь топографией, удобством размещения водосброса, условиями производства работ и др.. Обоснование выбора створа должно быть приведено в пояснительной записке.

2. Для выбранного створа гидроузла вычерчивается продольный профиль по створу плотины с показом геологических условий основания и берегов. В дальнейшем на профиле нужно показать отметку НПУ, УМО, гребня плотины, брем плотины (если есть) и дренажа, сопряжение плотины с основанием, положение дренажа (все это выполняется

после выбора типа и определения основных размеров грунтовой плотины и дренажа) расположение водосбросного сооружения, водоспуска (водозабора). Выполняется после расчета этих сооружений.

3. Изучив геологические условия створа и наличие грунтов, пригодных для возведения плотины, следует на основании сравнения не менее двух вариантов выбрать и обосновать принимаемый в проекте тип грунтовой плотины. В качестве материала тела плотины рекомендуется принимать грунт первого или второго слоя по георлогическому разрезу борта.

4. Установив тип проектируемой грунтовой плотины, конструируют ее профиль. Сначала определяют отметку гребня плотины, принимают (предварительно) заложение откосов согласно существующим рекомендациям, ширину плотины по гребню назначают согласно категории дороги. В качестве материала тела п

5. Выбирают тип и конструкцию дренажа на различных по длине участках плотины. При этом нужно руководствоваться характеристиками грунта тела плотины и основания, а также наличием строительных материалов в районе строительства гидроузла.

6. Для принятого поперечного профиля грунтовой плотины выполняется фильтрационный (гидротехнический) расчет, в результате которого, для характерных сечений (не менее трех), определяют положение кривой депрессии в теле плотины, расходы фильтрации через тело и основание плотины, вычисляют полный фильтрационный расход. Для этих же сечений производят оценку фильтрационной прочности грунта тела плотины и основания по допускаемым градиентам.

7. После выполнения фильтрационного расчета при необходимости корректируют размеры и местоположение дренажных и противофильтрационных устройств.

8. Выполняют статический расчет плотины, где проверяют устойчивость откосов с назначенным ранее их заложением. Расчет производят обычно методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Рекомендуется провести проверку устойчивости только одного низового откоса.

9. По результатам статического расчета при необходимости проектируют мероприятия, повышающие устойчивость откоса.

10. На основании технического и экономического обоснования принимается тип и конструкция крепления откосов с учетом наличия строительных материалов в районе строительства. Определяются границы и толщина крепления.

11. По окончании всех расчетов и окончательного принятия конструкции приступают к вычерчиванию на ватмане поперечного разреза по телу плотины (по максимальному сечению). На поперечном разрезе

должны быть указаны геология основания, грунты тела плотины с геологическими характеристиками (к, ф и с), кривая депрессии, крепления откосов, конструкция дренажа и гребня плотины, а также все нужные размеры и отметки. На листе в более крупном масштабе должны быть показаны конструкция гребня плотины, дренажа, крепления откосов, детали крепления (швы в бетонных плитах, упорные призмы). Закончив чертеж, наносят все необходимые размеры на продольный разрез и план. На плане также показывают линию нулевых работ по грунтовой плотине.

12. На плане проводят трассу водосброса. К трассе водосброса предъявляются следующие основные требования: наименьшая протяженность, отсутствие или минимальное количество поворотов, концевая часть водосброса должна быть не ближе 40...50 м от подошвы низового откоса плотины, выходящий из водосброса поток должен сопрягаться под острым углом с осью русла.

На выбор трассы водосброса очень большое влияние оказывает и тип водосброса. Так трассу открытого берегового водосброса назначают по возможности перпендикулярно горизонталям. Если трасса водосброса проходит по косогору, то ширину водосброса выполняют минимальной.

При трассировании водосброса стараются избегать участков местности с проявлением эрозионных явлений (балки, овраги). При назначении трассы водосброса также учитывают возможность уменьшения его длины за счет сброса воды в существующие балки, овраги и лощины.

Трассу водосброса проектируют таким образом, чтобы основанием отдельных его элементов служили достаточно прочные коренные грунты, а если в основание попадают пучинистые грунты, то применяют меры к обеспечению устойчивости элементов водосбросного сооружения при воздействии сил морозного пучения (дренирование, устройство свайных фундаментов, замена части пучинистого грунта непучинистым и т.п.).

При проектировании трубчатых водосбросов необходимо, чтобы отводящий тракт водосброса был прямолинейным.

13. По принятой трассе водосброса вычерчивают продольный профиль, на котором производят высотную компоновку всех сооружений или его элементов, входящих в водосброс.

14. Выполняют гидравлический расчет водосброса, где определяют все размеры сооружений, входящих в водосброс, и их сопряжение с каналами.

15. Производят гидротехнический расчет, обычно головного сооружения водосброса. Гидротехнический расчет выполняют любым известным в литературе методом, где находят распределение давлений

фильтрационного потока вдоль подземного контура (строят эпюру давления фильтрационного потока на подошву сооружения), фильтрационную прочность грунта основания в зоне выхода фильтрационного потока в нижний бьеф и расход фильтрации.

16. Выполняют статический расчет, в процессе которого определяют напряжение в основании сооружения и его (или части сооружения) устойчивость либо на сдвиг, либо на опрокидывание, либо на всплытие в зависимости от типа сооружения.

17. Производят подсчет объемов работ по водосбросу.

18. Выбирают трассу водоспуска (водозабора) в зависимости от назначения сооружения и его типа.

19. По трассе выполняют продольный профиль, где намечают сооружения (подводящий канал, башня или регулятор, магистральный канал) и производят их гидравлический расчет.

20. Производят подсчет объемов работ по водоспуску (водозабору). Объемы работ по водоспуску (водозабору), водосбросу, грунтовой плотине сводят в одну таблицу и по укрупненным показателям выполняют экономические расчеты.

21. Дают краткое описание организации и технологии производства работ по гидроузлу, где очень кратко указывают очередность строительства, пропуск строительного расхода, размещение карьера, способ возведения плотины, местоположение перемычек и т. д.

22. Выполняют графическую часть проекта в соответствии с перечнем чертежей задания.

23. Составляют паспорт гидроузла, где указывают основные характеристики гидроузла, типа сооружений, их размеры, расходы, напоры, глубины, материал и т. д.

Расчетно-пояснительная записка начинается с паспорта гидроузла.

ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

4. ВОДОХРАНИЛИЩНЫЙ ГИДРОУЗЕЛ В СОСТАВЕ ПЛОТИНЫ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВОДОСБРОСА И ВОДОСПУСКА

Цель курсового проектирования – дать представление о роли и значимости сооружений, входящих в состав гидроузла с плотиной из местных материалов, порядке выбора их конструкций, а также методов статического, гидротехнического и гидравлического расчетов.

В состав гидроузла входят следующие сооружения: плотина из грунтовых материалов, паводковый водосброс, водовыпуск, водозабор,

строительный водосброс. В зависимости от назначения гидроузла и гидрогеологических характеристик водотока отдельные водопропускные сооружения могут отсутствовать.

Гидроузел с плотиной из грунтовых материалов обеспечивает решение следующих задач:

Аккумуляция паводковых расходов воды в водохранилище с целью ее дальнейшей подачи потребителю и уменьшения паводковых расходов на водотоке;

Обеспечение водой потребителя (орошение, водоснабжение, рыбоводство, ГЭС и др.) в соответствии с графиком водоподачи;

Поддержание необходимых уровней воды в нижнем бьефе гидроузла;

Создание зон отдыха на территории, прилегающей к водохранилищу.

Курсовой проект “Водохранилищный гидроузел в составе плотины из местных материалов, водосброса и водоспуска” является самостоятельной работой студента и выполняется на основании индивидуального задания, выдаваемого кафедрой.

В своей работе студент руководствуется настоящими указаниями, учебниками и учебными пособиями, действующими нормативными документами, научно-технической литературой, стандартами на материалы и изделия, каталогами типовых проектов.

Выполнение курсового проекта начинают с изучения задания на проектирование и исходных данных. Ознакомиться с составом курсового проекта и предъявляемыми к нему требованиями, а затем приступить к детальной проработке всех сооружений гидроузла [2, с. 14...26].

Исходные данные. Исходные данные для проектирования приведены в задании и включают: назначение гидроузла; топографические характеристики района строительства; инженерно-геологические, климатические и гидрогеологические условия створа плотины, гидрологические условия в створе гидроузла и характеристики водохранилища; сведения о наличии и характеристиках местных строительных материалов.

Состав и объем проекта. Курсовой проект включает пояснительную записку объемом 25...30 страниц рукописного текста с расчетными схемами и графическую часть на двух листах ватмана размером 594×841 мм (формат А1).

Пояснительная записка должна содержать:

Задание на проектирование;

Введение

Описание компоновки гидроузла, выбор створа, типа плотины и водопропускных сооружений;

Конструирование поперечного профиля плотины;
Фильтрационный расчет в трех сечениях (через тело плотины и основание);
Статический расчет одного из откосов, экрана или диафрагмы;
Определение осадки;
Расчет и конструирование водосброса;
Расчет и конструирование водозабора и водоспуска;
Пропуск строительных расходов и краткое описание производства работ.

Графическая часть проекта должна включать:

План гидроузла в масштабе 1:500, 1:1000 или 1:2000;

Поперечные профили плотины в русловой и пойменной части створа в масштабе 1:200 – 1:500;

Элементы плотины: крепление верхового и низового откосов с бермами, гребень, дренаж и т.д. в масштабе 1:50 – 1:200;

Разрез по створу плотины в масштабе 1:500 или 1:1000;

Продольный разрез по оси водосбросного тракта в масштабе 1:200÷1:500 и план водосброса в масштабе 1:500, если масштаб генплана 1:1000 или 1:2000;

Детали водосброса, поперечные и продольные разрезы в масштабе 1:200 (1:100);

План, продольный разрез и детали водозабора или водовыпуска в масштабе 1:100÷1:500.

Примечание: На чертеже все элементы должны быть выполнены без разрывов.

Оформление и сдача курсового проекта. Курсовой проект представляется ведущему преподавателю, после чего автор проекта защищает его перед комиссией.

Пояснительная записка выполняется на стандартной писчей бумаге на одной стороне листа с оставлением места для подшивки и полей для замечаний.

Текстовая и расчетная части записки иллюстрируются схемами и чертежами. Расчетные зависимости выписываются в общем виде с расшифровкой входящих в нее компонентов и их размерностей. Пояснительная записка должна также содержать оглавление, список использованной литературы и ссылки на нее в тексте.

Графическая часть выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ на чертежные работы.

При защите проекта студент должен уметь обосновать и защитить принятые в проекте технические решения и методы расчета.

4.1. Компонировка сооружений гидроузла

Требования к компоновке гидроузла. Компонировка гидроузла включает в себя выбор створа плотины, трасс и местоположение водопропускных сооружений. Компонировка гидроузла должна быть наиболее простой и удобной для возведения и эксплуатации гидроузла при минимальных затратах.

Компоновка гидроузла должна наилучшим образом учитывать состав сооружений, их назначение и особенности, топографические и геологические условия и обеспечивать возможность круглогодичного производства работ. Некоторые схемы компоновки гидроузлов приведены на рис. 2.1–2.4.

Выбор створа гидроузла. Из всех факторов, влияющих на выбор створа гидроузла, в курсовом проекте можно ограничиться учетом двух из них: топографических условий района строительства и удобством размещения водопропускных сооружений.

В качестве лучшего выбирается створ, в котором:

объем работ по плотине минимален, т.е. створ плотины должен располагаться в наиболее узкой части долины. Ось плотины в плане может быть прямолинейной или криволинейной. Ее желательно прокладывать перпендикулярно преобладающему направлению горизонталей местности;

наиболее рационально решены вопросы компоновки водопропускных сооружений гидроузла (эксплуатационного и строительного водосбросов, водовыпусков).

Выбор типа плотины. Тип плотины должен отвечать инженерно-геологическим, гидрогеологическим и климатическим условиям района строительства. При этом учитывается наличие местных материалов, производственная база строительной организации. При оценке и сопоставлении вариантов плотины необходимо основываться на следующих положениях:

Максимально возможное использование грунтов, залегающих вблизи створа, и возможно более полное использование грунтов полезных выемок;

1. Наиболее простыми в производстве работ являются однородные плотины. При этом для песчаных плотин следует учитывать возможность значительных фильтрационных потерь, поэтому в большинстве случаев при отсутствии полезных попусков в нижний бьеф необходимы противофильтрационные устройства;

3. В суровых климатических условиях и в районах с большим количеством атмосферных осадков размеры противофильтрационных элементов из связных грунтов должны быть минимальными;

4. При наличии вблизи створа крупнообломочных грунтов ($d_{50} \geq 2$ мм) предпочтение следует отдавать плотинам с упорными призмами из крупнообломочных грунтов и противofильтрационными элементами из связных грунтов или, при соответствующем обосновании, из негрунтовых материалов. При этом следует учитывать, что плотины с ядром имеют меньший объем, кроме того, ядро менее чувствительно, чем экран, к деформациям основания и при наличии ядра проще обеспечить сопряжение противofильтрационного элемента с основанием и берегами. При возведении плотины с экраном упорная призма может быть выполнена независимо от экрана, а сам экран – в благоприятное для производства работ время;

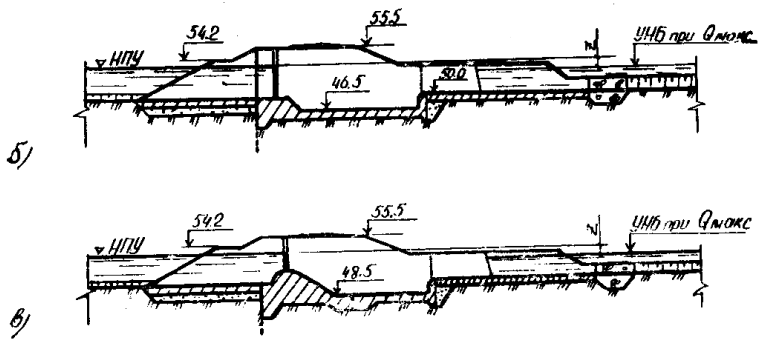
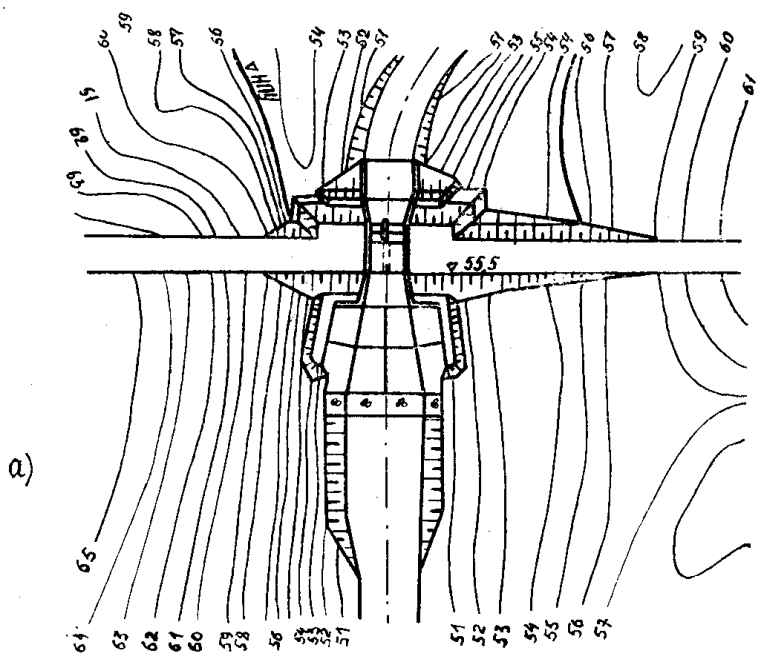


Рис. 2.1. Низконапорный гидроузел с водосливной плотиной:

а – схема гидроузла; б – водосбросной шлюз; в – водосливная плотина.

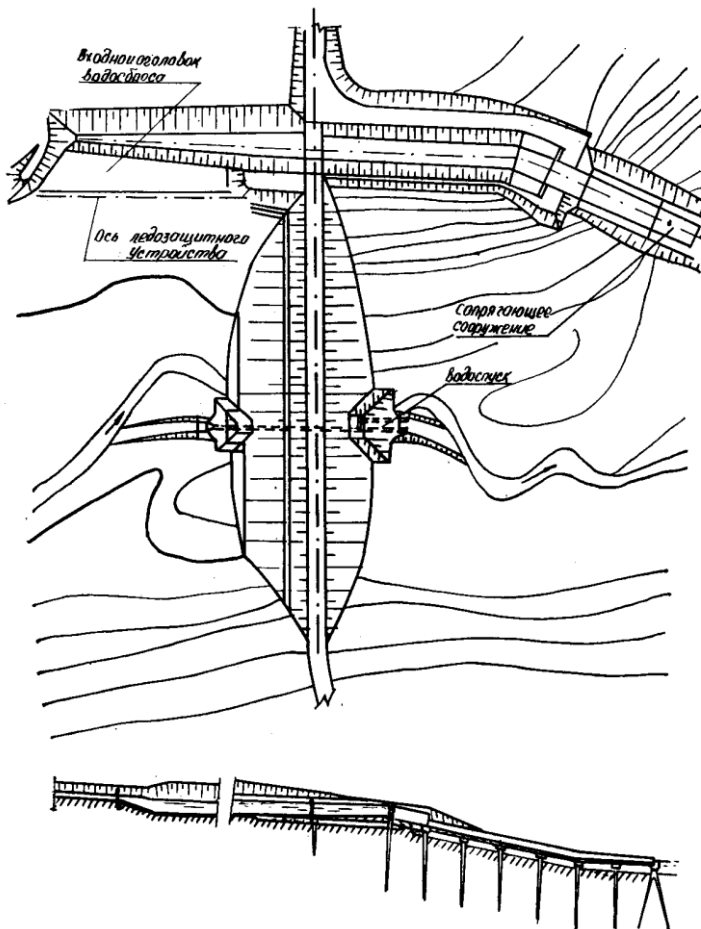


Рис. 2.2. Гидроузел с траншейным водосбросом.

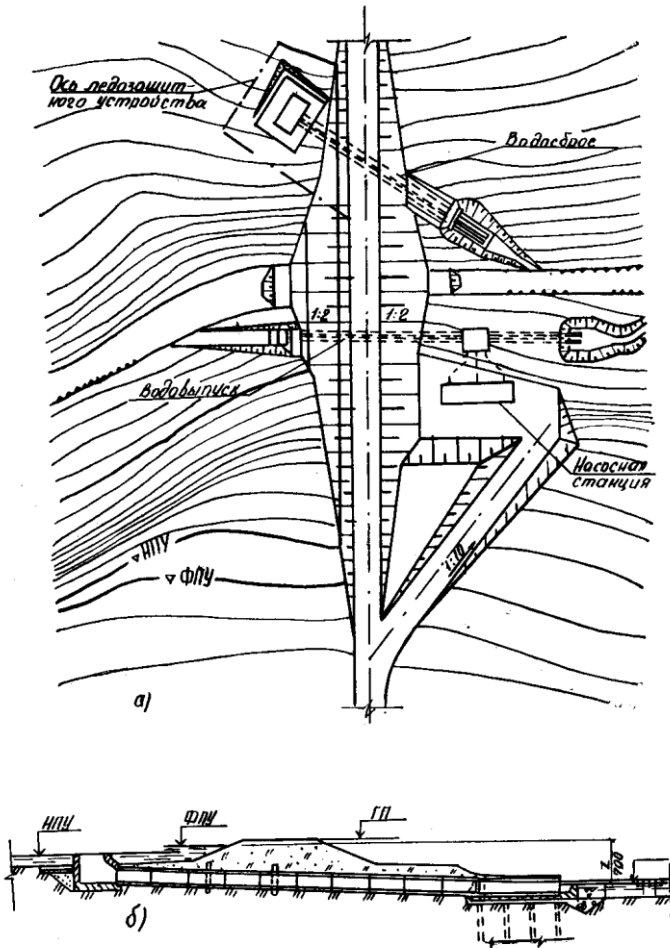


Рис. 2.3. Ковшовый водоброс: а – компоновка гидроузла; б – продольный разрез водоброса.

Возведение каменно-грунтовых плотин на не скальных основаниях без соответствующего обоснования не допускается. При наличии скального основания возможно устройство плотин всех типов;

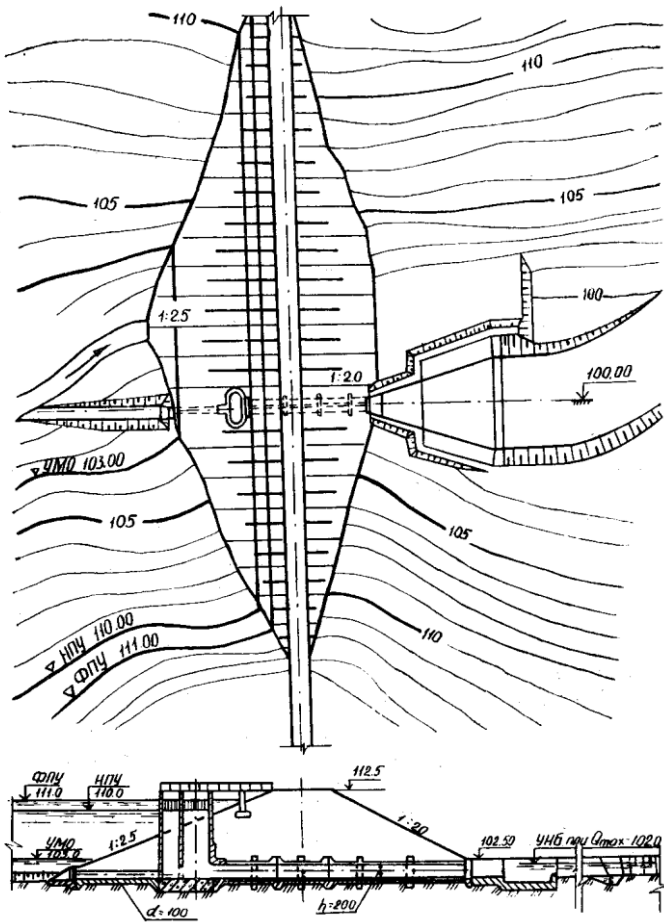


Рис. 2.4. Схема гидроузла с шахтным водосбросом-водоспуском.

Если устройство противofильтрационных завес в проницаемом основании затруднено, то целесообразно применять плотины с экраном и понором;

Возведение плотин различными методами, за исключением полойной отсыпки насухо с уплотнением, должно быть обосновано соответствующими расчетами.

Выбор створа гидроузла, типа плотины и компоновку сооружений гидроузла желательно согласовать с ведущим преподавателем [1, с. 386...388; 2, с. 104...106; 4, с. 28...31; 9, с. 4...9].

4.2. Конструирование поперечного профиля плотины

Назначение заложения откосов, размеров гребня плотины и борма, определение отметки гребня. При выборе заложения откосов плотин необходимо учитывать накопленный опыт плотиностроения, для чего используются аналоги, в качестве которых следует принимать современные плотины, заложение откосов которых достаточно обосновано. В дальнейшем назначенные коэффициенты заложения уточняются расчетом на устойчивость (в данном проекте приводится расчет устойчивости низового откоса).

В низких плотинах заложение откосов принимают постоянное, а в средних и высоких – переменное, причем в верхней части плотины откосы выполняются более крутыми, а в нижней – пологими. Обычно заложение откосов увеличивают на $0,1 \div 0,25$ через каждые 10–15 м по высоте.

Верховые откосы плотин принимают более пологими, чем низовые, так как они насыщены водой, а сдвиговые характеристики насыщенных грунтов обычно ниже, чем для сухих. Ширину гребня плотины назначают в зависимости от условий производства работ и категории прокладываемой по гребню дороги и ее вида (автомобильная, железнодорожная). Если по гребню плотины проезд не предусматривается, то минимальная ширина гребня может быть принята не менее 4,5 м для низких и средних плотин и не менее 6 м – для высоких (>50 м) плотин.

Для проведения осмотра и ремонта покрытия откосов, а также для повышения устойчивости плотины, обеспечения отвода стекающей по откосу воды (на низовом откосе), на откосах плотины устраиваются борма.

На низовом откосе борма устраиваются обычно в местах изменения заложения откосов плотины, т. е. через 10–15 м. При отсутствии проезда по борма их ширину принимают, исходя из условия размещения водостводящих лотков, обычно 1,5–2,0 м.

На верховом откосе бермы устраиваются, исходя из условий производства работ по выполнению крепления откоса. Их размеры определяются размерами устанавливаемых на них механизмов.

Возвышения отметки гребня плотины h_s над расчетным уровнем в водохранилище определяют по формуле

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run1\%} + \alpha, \quad (2.1)$$

где Δh_{set} – ветровой нагон воды в верхнем бьефе;

$h_{run1\%}$ – высота наката верховых волн обеспеченностью 1%;

α – запас возвышения гребня плотины, принимаемый равным большей из величин: 0,5 м и $0,1 h_{1\%}$ ($h_{1\%}$ – высоты волны 1%-ной вероятности превышения).

Высоту наката $h_{run1\%}$ волн на откос и элементы ветровых волн определяют по СНиП 2.06.04-82. Для предварительных расчетов этих параметров, а также определения Δh_{set} допустимо использование эмпирических формул, приводимых в учебниках.

Расчет по определению превышения отметки гребня плотины проводят для двух уровней – НПУ и ФПУ. Из двух полученных отметок в качестве проектной принимают большую отметку гребня.

При устройстве на гребне плотины парашета возвышение его гребня над уровнем верхнего бьефа необходимо принимать не ниже полученной по формуле проектной отметки, а возвышение гребня плотины назначают на 0,3 м выше НПУ, но не ниже ФПУ.

При определении строительной отметки гребня плотины необходимо учитывать осадку плотины и ее основания.

Класс плотины из грунтовых материалов зависит от ряда факторов и может быть определен по СНиП 2.02.02-85.

Крепление откосов. При выборе типа крепления следует учитывать, что наиболее распространенными и хорошо зарекомендовавшими себя в работе являются каменные, бетонные и железобетонные покрытия. При этом необходимо учесть, что при креплении камнем используется местный материал. Работы по устройству крепления можно вести круглый год, а гибкость крепления позволяет ему сохранять свои свойства при деформациях тела плотины.

Для каменного крепления применяются изверженные, осадочные и метаморфические породы, обладающие необходимой прочностью, морозостойкостью.

Для крепления откосов каменной наброской применяют, как правило, несортированный камень. Необходимые массу и размеры отдельных камней, а также толщину наброски определяют расчетом. Толщина каменной наброски принимается не менее $3d_{s,85}$ ($3d_{s,85}$ – диаметр камня,

масса которого вместе с массой более мелких фракций составляет 85% массы всей каменной наброски крепления).

Монолитное железобетонное крепление применяют при высоте волны $h_{1\%} > 1,5 \dots 2$ м, как правило, в виде секций размером не более 45×45 м. В пределах каждой секции предусматривают нетемпературные закрытые швы, разделяющие секцию на плиты размером $b_{sl} = 0,4 \lambda_m$, но не более 20 м; $l_{sl} = (1 \dots 2) b_{sl}$ (где b_{sl} – меньшая сторона, располагаемая перпендикулярно урезу воды, λ_m – расчетная длина волны).

Крепление откосов из сборных железобетонных плит выполняют с омоноличиванием стыков плит или с открытыми швами. Для крепления откосов низких и средней высоты водохранилищных плотин мелиоративного назначения применяют омоноличенные покрытия из унифицированных плит марки ПКП с размерами 2×4 м и толщиной $t_{sl} = 0,12, 0,15$ и $0,20$ м. Плиты объединяют в секции, с соотношением сторон $l \leq l_{sl} / b_{sl} \leq 2$. Размер b_{sl} при сварных соединениях арматуры принимают равным 10...14 м, длину секции $l_{se} = 20 \dots 24$ м.

Подготовка под крепление откосов устраивается по типу обратного фильтра из естественных и искусственных грунтовых смесей или из искусственных водопроницаемых материалов (стекловолокно, минеральная вата и др.). При соответствующем обосновании подготовку можно не устраивать. Верхней границей основного крепления, как правило, является отметка гребня плотины. Нижнюю его границу заглубляют под УМО на величину $2h_{1\%}$ (где $h_{1\%}$ – высота волны 1%-ной обеспеченности при УМО). При этом граница крепления должна быть ниже УМО не менее чем на $1,5 t_d$, где t_d – расчетная толщина льда. При необходимости, например, при медленном наполнении больших водохранилищ, облегченное крепление может устраиваться ниже УМО на всей площади откоса.

В качестве креплений низового откоса следует применять сплошную одерновку и одерновку в клетку, засев многолетними травами по слою растительного грунта толщиной 0,2–0,3 м, отсыпку гравия или щебня толщиной 0,2 м. При необходимости защиты грунтов тела плотины от морозного пучения толщина гравийной или щебнистой обсыпки должна быть увеличена.

Выбор типа дренажа и подбор обратных фильтров. При выборе конструкции дренажа необходимо учитывать тип плотины, инженерно-геологические условия основания и берегов, климатические условия района строительства, условия эксплуатации, наличие пригодных для устройства дренажа материалов, местоположение дренажа в руслевой или пойменной части плотины и т.д.

Целесообразно применять конструкции дренажей и схемы дренирования плотин, используя при их составлении лучшие свойства отдельных типов дренажей.

Приемной частью дренажей являются фильтры (обычно их называют обратными фильтрами), которые выполняются из несвязных естественных грунтов, грунтовых смесей или из волокнистых синтетических материалов. Грунты обратных фильтров должны быть морозостойкими, не размокать и не растворяться под действием фильтрационного потока.

Гранулометрический состав материалов обратного фильтра должен быть достаточно однороден, несuffозионен и исключать фильтрационные деформации: проникание частиц защищаемого несвязного грунта в поры фильтра при нисходящем направлении фильтрационного потока; выпор несвязного грунта в поры материала обратного фильтра; отслаивание агрегатов связного грунта тела плотины и основания на контакте с материалом фильтра; контактный размыв грунтов на контакте с фильтром: кольматаж фильтра мелкими частицами, выносимыми фильтрационным потоком из защищаемого грунта; опасную для прочности фильтра suffозию в самом слое фильтра.

Минимальная толщина слоев обратного фильтра (при $\frac{d_{co}}{d_{10}} \leq 10$) по фильтрационным условиям и с учетом производства работ должна быть не менее $5d_{s,85}$, но не менее 0,2 м при отсыпке насухо и не менее 0,5 м при отсыпке в воду.

Для материалов фильтра с $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 10$ толщина слоев назначается с учетом возможной сегрегации грунта.

При проектировании обратных фильтров дренажей и переходных зон каменно-земляных плотин коэффициент разнородности материала не должен превышать 20–25, если защищаемый грунт является несuffозионным. Если защищаемый грунт является suffозионным, то коэффициент неоднородности фильтра должен быть не более 15. Если защищаемый грунт связный с числом пластичности $I_p \geq 0,07$, то коэффициент разнородности (неоднородности) не должен быть более 50. При отсыпке в воду коэффициент разнородности не должен превышать 10. Толщина переходных зон каменно-земляных плотин назначается до 3 м и более:

Кроме этого необходимо, чтобы соотношение коэффициента фильтрации двух контактируемых материалов (более крупного и защищаемого) было больше 3–4.

Сопряжение плотины с основаниями и берегами. Тип и конструирование противофильтрационных устройств в основании грунтовой плотины принимается в зависимости от геологического строения основания, конструкции и высоты плотины.

При проектировании сопрягающих устройств необходимо учитывать следующее. На контакте плотины с основанием следует обеспечить плотное примыкание плотины к грунту основания и берегов, для чего удаляют пронизанный корнями растений, рыхлый, сильнофильтрующий слой растительного грунта на глубину $0,3 \div 1$ м.

При наличии в основании плотины иловатых и переувлажненных грунтов следует выполнить дренаж основания.

При возведении плотины на водопроницаемом основании небольшой мощности (до 5 м) сопряжение тела плотины или ее противофильтрационных устройств выполняется в виде замка из связных грунтов.

При большой мощности проницаемого основания сопряжение плотины с основанием устраивается в виде противофильтрационных преград, таких как шпунтовые стенки, буробетонные стенки, “стена в грунте”, инъекционные (цементация, глинизация, битумизация и др.) завесы и понуры. Понур устраивается обычно при наличии экрана (реже в плотинах с ядром).

В зависимости от мощности проницаемого основания противофильтрационные устройства могут доводиться до водоупора или быть “висячими”. Глубину висячего противофильтрационного элемента и длину понура устанавливают фильтрационным расчетом.

В месте контакта грунтовых противофильтрационных элементов с водопропускными сооружениями необходимо устраивать диафрагмы, а также увеличивать площадь контакта путем местных уширений ядер или экранов.

Определение размеров противофильтрационных элементов и оценка фильтрационной прочности тела плотины. Виды противофильтрационных устройств выбирают в зависимости от типа плотины, грунтов основания и тела плотины, наличия необходимых местных или привозных материалов для устройства противофильтрационных элементов, положения водоупора и условий производства работ.

Грунтовые противофильтрационные устройства – ядра, экраны и понуры выполняют из глинистых или других слабоводопроницаемых грунтов, имеющих коэффициенты фильтрации хотя бы в 100 раз меньше, чем коэффициент фильтрации тела плотины. Толщину грунтового ядра или экрана по верху назначают из условий производства работ, но не менее 0,8 м, а по низу – исходя из условий обеспечения фильтрационной прочности.

Наименьшую конструктивную толщину грунтового понура принимают не менее 0,5 м. При оценке фильтрационной прочности противофильтрационных устройств, а также грунта тела плотины и основания необходимо чтобы выполнялось условие:

$$I_{est,m} \leq \frac{1}{\gamma_n} I_{cr,m}, \quad (2.2)$$

где $I_{est,m}$ – действующий средний градиент напора;

$I_{cr,m}$ – критический средний градиент напора, принимаемый по табл. 3.1;

γ_n – коэффициент надежности, зависит от класса сооружения, для основного сочетания нагрузок (I кл. – $\gamma_n=1,25$; II кл. – $\gamma_n=1,20$; III кл. – $\gamma_n=1,15$, IV кл. – $\gamma_n=1,10$).

Таблица 2.1. Значение критических средних градиентов напора I_{cr}

Грунт	Понур	Экран и ядро	Тело и призма плотины
Глина, глинобетон	15	12	8...2
Суглинок	10	8	4...1,5
Супесь	3	2	2...1
Песок средний	—	—	1
Песок мелкий	—	—	0,75

Наименьшая толщина противофильтрационных устройств в нижних сечениях составит

$$t_{min} = \Delta H_u / I_{cr,m}, \quad (2.3)$$

где ΔH_u – падение напора в рассматриваемом сечении противофильтрационного элемента.

Следует отметить, что оценку фильтрационной прочности фильтрационных устройств, грунта тела плотины и основания производят после выполнения фильтрационных расчетов.

Гребень грунтового экрана (после окончательной осадки плотины) должен быть выше ФПУ на сумму высот нагона и наката волны, и гребень ядра – на величину ветрового нагона.

Проверка фильтрационной прочности тела однородной плотины проводится по методике, изложенной в литературе [4, с. 28...87; 9, с. 9...62].

4.3. Фильтрационные расчеты

В ходе фильтрационных расчетов следует установить положение кривой депрессии, уточнить размеры дренажных устройств; определить градиенты фильтрационного потока и фильтрационный расход через тело плотины и основание.

Фильтрационные расчеты проводятся при НПУ в верхнем бьефе и минимальном уровне воды в нижнем бьефе плотины. После определения общего фильтрационного расхода можно оценить потребность устройства противофильтрационных элементов, исходя из того, что фильтрационные потери не должны превышать расход полезных попусков. В ходе фильтрационного расчета должны быть откорректированы размеры и местоположение дренажа таким образом, чтобы минимальное расстояние от кривой депрессии до поверхности низового откоса превышало глубину сезонного промерзания [4, с. 93...113; 8, с. 3...16; 9, с. 62...80].

4.4. Расчет устойчивости откоса плотины

Коэффициент запаса устойчивости откоса должен быть больше нормативного значения, определяемого по формуле

$$K_3 = \frac{K_n K_{fs}}{K_c}, \quad (2.4)$$

где K_n – коэффициент надежности, принимаемый в зависимости от класса сооружения (см. выше);

K_{fs} – коэффициент сочетания нагрузок (для основного сочетания $K_{fs}=1$, особого – 0,9, строительного периода – 0,95);

K_c – коэффициент условия работы, принимаемый для точных методов расчета устойчивости, равный 1, для упрощенных – 0,95.

Минимальное значение коэффициента запаса устойчивости не должно превышать нормативное более чем на 10÷15%. Однако в расчетах это значение может быть большим, что свидетельствует не только о большом запасе, но и о том, что данная поверхность сдвига не является наиболее опасной.

При значениях коэффициента запаса устойчивости меньших нормативного значения необходимо увеличить заложение откоса или предусмотреть мероприятия, повышающие устойчивость откоса.

При расчете устойчивости откосов намывных плотин, кроме эксплуатационного случая, следует провести оценку устойчивости откосов в

строительный период при фильтрации воды из прудка отстойника [2, с. 136...145; 3, с. 155...160; 4, с. 113...121; 9, с. 80...87].

4.5. Определение осадки плотины

Осадку плотины складывается из осадки основания и тела плотины. Для предварительных расчетов осадку гребня грунтовой плотины можно принять $0,5 \div 1\%$ от высоты плотины. Осадку каменно-набросных призм принять $1,5 \div 3,0\%$ от высоты призм. С учетом осадки должен быть возведен строительный профиль плотины [2, с. 145...148; 3, с. 160...163; 4, с. 122...126].

4.6. Водопусковые сооружения

Водопусковые сооружения устраивают при плотинах для пропуска расходов половодья и дождевых паводков во избежание переполнения водохранилища, для пропуска льда, шуги, мусора из верхнего бьефа в нижний, осуществления полезных попусков, полного или частичного опорожнения водохранилища. В зависимости от назначения сооружения подразделяют соответственно на водосбросные, водовыпускные или водозаборные и водопускные. В практике часто совмещают различные функции в одном сооружении, а также рассматривается возможность использования постоянных водопускных сооружений для пропуска строительных расходов.

Выбор типа водосброса и его трассы выполняется на основании технико-экономического сравнения различных вариантов. При разработке курсового проекта выбор типа водосброса и его трассы производится на основании сравнения достоинств и недостатков различных вариантов водосброса с учетом исходных данных: расчетного максимального и строительного расходов, возможной форсировки уровня водохранилища, топографических и геологических условий, а также типа плотины и ее высоты.

К трассе водосброса предъявляются следующие основные требования: наименьшая протяженность; отсутствие или минимальное количество поворотов; концевая часть водосброса не должна быть ближе 40-50 м от подошвы низового откоса плотины; выходящий из водосброса поток должен сопрягаться под острым углом с осью русла.

При назначении типа водосброса следует учитывать следующее. При наличии форсировки уровня верхнего бьефа оценивается возможность устройства нерегулируемого водосброса. При этом для заданной форсировки уровня определяется длина водосливного фронта, необхо-

димая для пропуска расчетного расхода, и в зависимости от длины водосливного фронта с учетом топографических, геологических и других условий назначается тип водосброса (траншейный, ковшовый, шахтный, с фронтальным подводом воды и т.д.).

Большое распространение в практике гидротехнического строительства имеют открытые береговые водосбросы. В их состав входят: подводящий канал; регулятор или в случае нерегулируемого водосброса - водослив, отметка гребня которого расположена на отметке НПУ; сопрягающий канал; сопрягающее сооружение и концевая часть водосброса с отводящим каналом.

Трассу открытого берегового водосброса следует назначать по возможности перпендикулярно горизонталям. Если трасса водосброса проходит по косоветру, следует ширину водосброса сделать минимальной. При трассировании водосброса желательно избегать участков местности с проявлением эрозионных явлений (балки, овраги). При назначении трассы водосброса следует учитывать возможность уменьшения его длины за счет сброса воды в существующие балки, овраги и лощины.

Трассу водосброса следует проектировать таким образом, чтобы основанием отдельных его элементов служили достаточно прочные коренные грунты. При проектировании водосброса на пучинистых грунтах необходимо применять меры к обеспечению устойчивости элементов водосбросного сооружения при воздействии сил морозного пучения (дренирование, устройство свайных фундаментов, замена части пучинистого грунта непучинистым и т.п.).

Достоинством открытых береговых водосбросов является возможность пропуска катастрофических расходов больше расчетных при незначительной дополнительной форсировке уровня верхнего бьефа, доступность осмотра и ремонта.

Туннельные водосбросы применяются при наличии скальных ущелий с крутыми склонами (в этом случае устройство других типов водосбросов обычно экономически невыгодно) и благоприятных топографических условий для устройства водосливной воронки. Достоинством туннельных водосбросов является возможность использования строительного водосброса в качестве отводящего тракта эксплуатационного водосброса (при строительстве гидроузлов с открытыми береговыми водосбросами требуется устройство отдельного строительного водосброса).

В том случае, если имеются благоприятные топографические условия (в пределах горизонтали, соответствующей отметке НПУ, крутизна склона небольшая), устраивают **шахтные** водосбросы с кольцевой воронкой и вертикальной или наклонной шахтой. При крутых склонах

устраивают шахтные водосбросы с неполной кольцевой воронкой и иногда с боковым подводом воды.

Для снижения стоимости гидроузла стремятся совмещать функции нескольких водопропускных сооружений в одном. К такого рода сооружениям относятся башенные водосбросы с транзитной частью в виде труб, уложенных в основание плотины на минимальных или близких к ним отметкам. При этом в период строительства по трубам водосброса пропускаются строительные расходы, а в период эксплуатации – расходы от минимальных до расчетных максимальных расходов.

При проектировании туннельных и башенных водосбросов необходимо, чтобы отводящий тракт водосброса был прямолинеен.

Основным фактором, влияющим на выбор сопрягающих сооружений в открытых береговых водосбросах, является уклон части местности, в пределах которой устраивается сопрягающее сооружение. Ориентировочно можно считать, что при уклонах местности до 0,2 (0,25) наиболее часто применяются быстотоки. При более крутых склонах ($i = 0,2 \div 0,3$) применяются перепады. Консольные водосбросы применяются при уклонах местности больше $0,25 \div 0,30$. При крутых, обрывистых берегах ($i > 1$) следует применять другие типы водосбросов с соответствующими сопрягающими сооружениями (туннельные, башенные и т.д.)

При выборе сопрягающего сооружения следует учитывать, что для надежной эксплуатации консольного перепада необходимы прочные грунты в концевой части сооружения, хорошо воспринимающие нагрузки от консоли и сопротивляющиеся размыву водным потоком.

При близком залегании грунтовых вод от поверхности предпочтение следует отдавать быстотокам и консольным перепадам.

Сопрягающие элементы водосброса следует проектировать в выемке. При необходимости прокладки сопрягающих сооружений в глубокой выемке (экономическая целесообразность, техническая невозможность другого варианта трассировки и т.д.) по откосу выемки через 5-8 м по высоте назначают бермы шириной 2-3 м. Вдоль сопрягающих сооружений на отметке их бетонной части и вдоль сопрягающих каналов выше уровня воды на $0,5 \div 1,0$ м также проектируются бермы, на которых располагают водоотводящие лотки для перехвата поверхностных вод.

Переходные участки на трассе быстотока надлежит выполнять плавного очертания без резких изломов боковых стенок во избежание появления косых волн. В нешироких (примерно до 10 м) быстотоках для уменьшения высоты вогнутой стенки могут быть предусмотрены

виражи, при этом уклон дна быстротока в поперечном направлении изменяется от 0° в начале и в конце виража до величины α° в среднем сечении:

$$\operatorname{tg} \alpha^\circ = v^2 / gR, \quad (2.5)$$

где v – скорость воды на быстротоке, м /с;

R – радиус поворота быстротока, м.

В широких быстротоках на поворотах иногда устанавливают раздельные стенки, а днище быстротока выполняют горизонтальным в поперечном направлении.

Лотки быстротока могут выполняться из сборного и монолитного железобетона и бетона. Наиболее предпочтительно прямоугольное поперечное сечение быстротока. По длине быстротока устраиваются деформационные швы, расстояние между которыми зависит от типа грунтов основания и климатических условий района строительства и принимается обычно 10–18 м. Лотки быстротока выполняются доковой конструкции, с отрезным днищем и подпорными боковыми стенами.

Для снижения противодавления на стенки и днище при частично или полностью опорожненном водосбросе в сопрягающих сооружениях устраивается застенный дренаж или дренаж под днищем. Поперечные дренажи (при больших плановых размерах сопрягающих сооружений) соединяются с продольным дренажем, из которого вода выводится в нижний бьеф (обычно или в дренаж водобоя, или под обратный фильтр рисбермы). Через 30-50 м по длине дренажа устраиваются смотровые колодцы.

Концевая часть водосброса может быть различной – с консолью, водобойным колодцем, водобойной плитой с гасителями энергии и т.д.

Рекомендуется следующий порядок гидравлического расчета водосброса:

Уточняются расчетные режимы, условия работы, расчетные расходы и напоры;

Составляется схема к расчетному режиму работы;

Производятся расчеты: а) пропускной способности (устанавливаются основные размеры сооружений); б) сопряжения бьефов; в) местных размывов в нижнем бьефе.

Кроме водосбросных сооружений, в составе гидроузлов должно быть предусмотрено сооружение для пропуска строительных расходов и водовыпуск для подачи воды потребителю. При выполнении курсового проекта могут быть использованы типовые конструкции водосбросов и водовыпусков (водоспусков).

При использовании водовыпуска для полного (или частичного) опорожнения водохранилища, а также для пропуска строительных расходов или полезных попусков в нижний бьеф сооружение располагают примерно на отметке дна русла. Если водовыпуск используется для забора воды на орошение или обводнение, то параметры входного отверстия и его высотное положение устанавливаются таким образом, чтобы обеспечить подачу потребителям воды при сработке водохранилища до УМО (уровня мертвого объема)

В отдельных случаях гидроузел может и не иметь водовыпуска (например, когда подача воды осуществляется насосной станцией).

Входную часть или головное устройство водовыпуска (водоспуска) выполняют в виде башни с водосливным и глубинными (или только глубинными) отверстиями или без башни.

Для впуска воды в башне делают отверстия, причем в водохранилищах, служащих для водоснабжения, забор воды ведут из верхних осветленных слоев верхними отверстиями. Башни управления имеют в горизонтальных сечениях форму прямоугольника, многоугольника или круга и могут располагаться как на входе, так и на некотором удалении от него, а иногда и на выходе водовода. Регулирование расходов осуществляется затворами. На случай ремонта и аварии основного затвора перед ним размещается аварийно-ремонтный затвор. В верхней части башня имеет надстройку, защищающую размещенные там подъемные механизмы затворов от атмосферных воздействий. Ввиду дороговизны башен иногда применяют безбашенные оголовки водоспусков. Входная часть трубчатого водоспуска в большинстве эксплуатационных случаев работает в напорном режиме.

Транзитная часть водоспусков или водовыпусков может работать в напорном или безнапорном режиме. Трубопроводы чаще выполняются из железобетона (сборные или монолитные) или металла, сечение их круглое, прямоугольное или овальное.

Для предотвращения значительной фильтрации вдоль поверхности труб и галерей последние снабжаются ребордами или диафрагмами.

Число галерей и размеры трубчатого водоспуска устанавливают технико-экономическими и гидравлическими расчетами с учетом эксплуатационных и строительных требований (удобство обслуживания, ремонта, монтажа и демонтажа гидромеханического оборудования и трубопроводов и пр.), а также соображений, связанных с пропуском строительных расходов.

Концевые части труб конструируются с таким расчетом, чтобы поток, выходящий из водовыпуска, не повредил плотину. Для этой цели трубы выводятся на безопасное для плотины расстояние. Конструкции

концевых устройств трубчатых сооружений аналогичны концевым устройствам открытых и закрытых водосбросных сооружений.

Рекомендуется следующий порядок гидравлического расчета водоспуска или водовыпуска:

Уточняется назначение водоспуска, расчетные режимы, условия работы, расчетные расходы и напоры;

Составляется схема к расчетному режиму работы;

Производится гидравлический расчет пропускной способности (устанавливаются основные размеры сооружений).

4.7. Организация и технология строительства гидроузла

При разработке этого раздела приводятся основные ориентировочные положения и рекомендации по следующим вопросам: 1) способ и сроки возведения плотины; 2) порядок возведения сооружения; 3) пропуск строительных расходов (схема пропуска строительных расходов, устанавливается режим работы, пропускная способность, местоположение водопропускного сооружения, перемычек) [4, с. 126...151].

5. Фильтрационный расчет

Фильтрационный поток под гидротехническими сооружениями возникает при наличии разности уровней в бьефах. Нескальные основания характеризуются водопроницаемостью. Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации. Если сооружение маловодопроницаемо (бетон, железобетон, камень), а грунт представляет собой легкопроницаемую для воды массу, то грунтовый поток не имеет свободной поверхности и является **напорным**. Напорное движение грунтовых вод наблюдается преимущественно под водозаборными сооружениями, плотинами, под головными регуляторами ветвей и глубоко заложённых распределителей оросительных систем, под осушительными сооружениями и др.

Грунтовая вода, перемещаясь по порам грунта в сторону меньших пьезометрических напоров, т.е. в сторону нижнего бьефа, оказывает давление на части сооружения, лежащие в области ее движения (флутбет, подпорные стены, облицовка откосов и др.). На основании фильтрационных расчетов нужно так запроектировать подземное очертание гидротехнического сооружения, чтобы оно способно было уменьшить расход воды под сооружением, снизить величину выходной скорости фильтрации и уменьшить расчетное давление на подошву флутбета.

При проектировании подземного контура нужно решить все вопросы, связанные с движением фильтрационного потока под сооружением, т.е. определить:

1. Распределение давлений фильтрационного потока вдоль подземного контура сооружения;

2. Выходную скорость фильтрации (максимальный выходной градиент);

3. Фильтрационный расход.

Порядок выполнения фильтрационного расчета. Фильтрационный расчет рекомендуется выполнять в такой последовательности:

1) выбрать схему подземного контура и ориентировочно назначить размеры его элементов;

2) составить схему к фильтрационному расчету и разбить подземный контур на отдельные фрагменты;

3) установить активные зоны фильтрации и расчетное положение водоупора;

4) определить коэффициент сопротивления для каждого фрагмента подземного контура;

5) построить эпюры фильтрационного и взвешивающего давлений;

6) определить осредненные и местные максимальные градиенты напора;

7) проверить устойчивость грунта основания на общую фильтрационную прочность грунта основания, суффозию, контактный размыв и выпор (отслаивание) и фильтрационный выпор;

8) определить расход фильтрационного потока;

9) установить размеры дренажных устройств [5, с. 110...116, 142...148; 8, с. 22...44].

5.1. Статический расчет

Все статические расчеты подразделяются на два основных вида:

1) расчеты общей устойчивости сооружения—сдвиг, опрокидывание, всплывание;

2) расчеты прочности частей и элементов сооружения.

К расчету общей устойчивости следует отнести также и расчет несущей способности основания.

Статический расчет рекомендуется выполнять в такой последовательности:

1. Расчленив сооружение на отдельные элементы с учетом их конструктивных особенностей и условий работы (пунур, водобой, рисберма, устой, бык и т.д.);

2. Представить статическую работу каждого элемента в виде простейшей расчетной модели (рамы, балки, плиты и т.п.);

3. Установить и определить расчетные нагрузки для каждой модели (схемы);

4. Проверить общую устойчивость основных частей сооружения (водобоя) на сдвиг, опрокидывание, взвешивание;

5. Установить несущую способность основания [3, с. 217...218].

5.2. Сопрягающие сооружения

Сопрягающие сооружения предназначены для сопряжения участков каналов, расположенных на различных отметках в местах падения рельефа местности, а также участков трассы открытых береговых водосбросов гидроузлов с глухими плотинами.

По условиям движения потока эти сооружения делят на две основные группы: без отрыва от жестких границ – быстротокки, трубчатые быстротокки и перепады; с отрывом от жестких границ сооружения на отдельных его участках – ступенчатые и консольные перепады.

В дальнейшем будет идти речь только лишь о ступенчатых перепадах, быстротокках и консольных перепадах (консолях) как о наиболее распространенных на водохозяйственных системах сопрягающих сооружениях.

5.2.1. Выбор типа сопрягающих сооружений

Тип сопрягающих сооружений выбирают на основании технико-экономических расчетов, сравнений вариантов с учетом обстоятельств, связанных с производством работ и эксплуатацией.

Главным критерием, оказывающим влияние на выбор типа, является характер рельефа местности, на которой предполагается устройство сопрягающего сооружения. На пологих склонах, при падении уклонов от 0,08 до 0,20, а по рекомендации некоторых авторов и до 0,25, можно проектировать быстротокки – они будут при всех других равных условиях более экономичны. На крутых склонах, при $i = 0,2...0,3$, экономически целесообразнее устраивать перепады, так как в этом случае быстротокки могут оказаться дороже вследствие недопустимых скоростей.

Если же рельеф местности обрывистый и уклоны равны единице и круче, то рекомендуется применять консоли.

Второй немаловажный критерий – уровень стояния грунтовых вод. При близком их залегании от дневной поверхности лучше выбирать быстротоки или консоли как менее массивные сооружения.

Качество грунтов основания также влияет на выбор типа сопрягающих сооружений. Наиболее требовательны к грунтам консоли по двум причинам: во-первых, для опоры нужно твердое основание, а во-вторых, размеры воронки размыва при слабых грунтах получаются иногда неприемлемо большими.

На втором месте после консолей по требовательности к качеству грунтов основания стоят перепады, а потом уже идут быстротоки как наиболее легкие сооружения.

Важное значение для выбора типа сопрягающего сооружения имеют также и условия эксплуатации, особенно консоли, так как необходимо постоянно наблюдать за состоянием опоры и глубиной воронки размыва.

За быстротоками нужно следить особенно зимой, когда во время морозов на бортах лотков трапецеидального сечения намерзает вода, стесняя живое сечение и уменьшая пропускную способность быстротока. Следует отметить, что индивидуальные сопрягающие сооружения, в особенности быстротоки, обычно проектируют на удельный расход 4...12 м³/с.

Повороты быстротоков вызывают набегание потока на один борт и выплескивание воды, что также нельзя считать благоприятным во время эксплуатации.

Из всех типов сопрягающих сооружений наиболее надежны в эксплуатации перепады. Если они правильно запроектированы, то в задачу эксплуатационного персонала входит лишь обычный присмотр за состоянием сооружения и периодический ремонт.

При нормальных условиях наиболее экономичным типом сопрягающего сооружения считается консоль, потом быстроток, а перепад относится к более дорогим сооружениям.

Однако при определенных условиях консольный сброс может оказаться дороже и сложнее всех других типов сопрягающих сооружений и главным образом за счет технической сложности и большой стоимости опоры.

Для удобства в табл. 3.3 приведены основные условия влияющие на выбор типа сопрягающего сооружения, и даны соображения и рекомендации различных авторов.

Т а б л и ц а 3.3. Соображения и рекомендации по выбору типа сопрягающих сооружений

Основные условия, влияющие на выбор типа сопрягающих сооружений	Соображения и рекомендации по выбору типа сопрягающих сооружений
Рельеф местности	$i = 0,08...0,25$ – быстротоки $i = 0,20...0,30$ – перепады $i = 1,0$ и круче – консоли
Уровень грунтовых вод	При близком залегании – быстротоки и консоли
Качество грунтов основания	Консоли – наиболее требовательны Перепады – требовательны Быстротоки – наименее требовательны
Эксплуатационные условия	Консоли, быстротоки – более требовательны Перепады – менее требовательны
Экономическая оценка	Более экономичны консоли, потом быстротоки и затем уже перепады как наиболее массивные сооружения

Сопрягающие сооружения должны отвечать основным требованиям:

1) создавать безопасные гидравлические условия движения воды как в самом сооружении, так и на примыкающих к нему участках водотоков. Это значит, что при расчетном гидравлическом режиме не должно быть ни подпора, ни спада в верхнем (подводящем) канале, а в нижнем (отводящем) – размыва. В пределах сооружения скорости должны быть не выше допускаемых;

2) быть прочными и устойчивыми;

3) иметь наиболее рациональные и по возможности простые формы;

4) обеспечивать пропуск в нижний бьеф плавающих тел и шуги.

Следует отметить, что обычно индивидуальные (крупные) сооружения проектируют предварительно в нескольких вариантах, после чего выбирают один из них и окончательно дорабатывают и уточняют все детали. Мелкие сооружения устраивают по типовым проектам.

5.2.2. Перепады

Конструктивные особенности. Перепады имеют входную (понурную), транзитную (ступени) и выходную части. Транзитная часть между входом и выходом у одноступенчатого и многоступенчатого (рис. 3.4) перепадов представляет собой соответственно ступень или ряд ступеней, каждая из которых образована вертикальной стенкой падения, боковыми стенками и водобойной плитой обычно по типу водобойного колодца.

В водосливной стенке (над стенкой падения) устраивают отверстия размерами от 10x10 см до 20x20 см для опорожнения колодцев во время выключения перепада из работы.

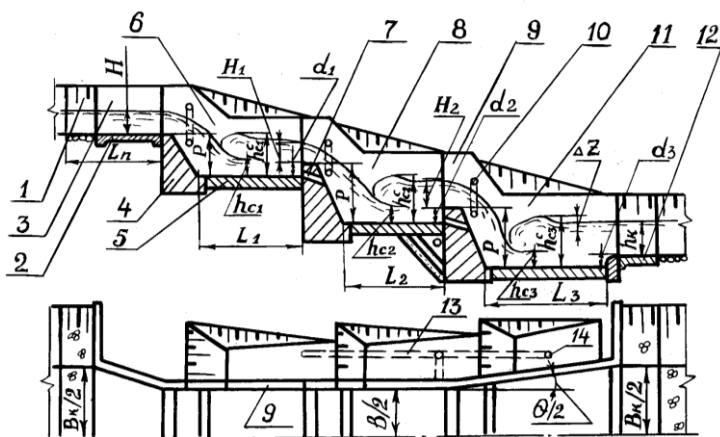


Рис. 3.4. Многоступенчатый перепад: 1 – подводящий канал; 2 – понур; 3 – входная часть; 4 – стенка падения; 5 – водобойная плита; 6 – первая ступень; 7 – сливные отверстия; 8 – вторая ступень; 9 – боковая стенка; 10 – воздушные отверстия; 11 – последняя ступень; 12 – рисберма; 13 – застенный дренаж; 14 – смотровой колодец.

Длину входной (понурной части l_n в небольших перепадах с удельным расходом $q \leq 2 \text{ м}^3/\text{с}$ принимают не менее $2H$, где H – глубина воды у входа в перепад, в более крупных перепадах с $q > 2 \text{ м}^3/\text{с}$ – не менее $3H$. Длина предпонурного крепления $l_{пн} = (2...3)H$, толщина плит понура $0,1...0,2 \text{ м}$.

Работа последней ступени и выходного участка перепада наиболее ответственна для сооружения, так как размывы в нижнем бьефе из-за неудовлетворительной работы указанных частей могут создать угрожающее состояние для всего сооружения. Поэтому выходная часть должна обеспечивать безопасный выход потока в канал.

Плавный и спокойный выход потока в канал за перепадом можно обеспечить в виде раструба с обратными стенками или косых плоскостей. Очень часто водобойный колодец последней ступени получается расширяющимся в плане, так как канал почти всегда шире перепада. Прилежащий к водобойной части перепада участок канала должен быть закреплен. Длину участка крепления принимают равной удвоенной длине водобойного колодца для небольших перепадов и $(6...8)H$ для больших перепадов.

Число ступеней, их длину и высоту стенок падения выбирают в результате технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

При этом стремятся к тому, чтобы сооружение вписывалось в рельеф склона наиболее просто, без больших выемок. Высоту стенки падения P принимают до 3...5 м. Толщину днища водобойных колодцев бетонных и каменных перепадов рекомендуется принимать: 0,35...0,4 м – при удельном расходе $q < 2 \text{ м}^3/\text{с}$; 0,5 м – при $q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$ и высоте стенки падения $p < 2 \text{ м}$; 0,6...0,7 м – при $p = 2,5 \text{ м}$; 0,8...1,0 м – при $q > 5 \text{ м}^3/\text{с}$ и $p = 2,5 \text{ м}$. В железобетонных перепадах толщина плит днища принимается: 0,12...0,15 м – при $q < 2 \text{ м}^3/\text{с}$ и $p = 1,5 \text{ м}$, 0,15...0,3 м – при больших q и p .

В других случаях для расчета толщины водобоя используют приближенную формулу В.М. Домбровского:

$$t = 0,25\sqrt{q\sqrt{p}} .$$

Гидравлический расчет многоступенчатого перепада. Гидравлический расчет многоступенчатого перепада состоит из расчета следующих основных частей: 1) расчета входной части; 2) расчета числа ступеней и определения основных размеров первых двух из них; 3) расчета выходной части – последней ступени перепада, рисбермы и ее сопряжения с отводящим каналом.

Расчетная схема приведена на рис. 3.4. Ширину прямоугольной входной части определяют из формулы незатопленного водослива с широким порогом, так как истечение происходит без подтопления со стороны нижнего бьефа:

$$Q = m \cdot \varepsilon \cdot b \cdot H_0 \sqrt{2gH_0}, \quad (3.36)$$

где m – коэффициент расхода, для водослива с широким порогом, $m=0,36$;

ε – коэффициент бокового сжатия, предварительно в первом приближении можно принять 0,9...0,95;

b – ширина входной части перепада;

H_0 – глубина воды в подводящем канале с учетом скорости подхода.

После определения ширины b в первом приближении вычисляют коэффициент бокового сжатия по формуле

$$\varepsilon = 1 - 0,1\zeta n \frac{H_0}{b}, \quad (3.37)$$

где ζ – коэффициент формы береговых устоев или формы оголовков быков;

n – число боковых сжатий потока, равное в данном случае 2,0.

Определив ε , уточняют ширину b , то есть выполняют второе приближение.

Далее определяют число ступеней

$$N = \frac{z}{p-d}, \quad (3.38)$$

где z – разность уровней воды подводящего и отводящего каналов;

p – высота стенки падения;

d – глубина водобойного колодца на промежуточных ступенях.

Принимая ориентировочно $p \approx 1,5h_{кр}$ и глубину водобойного колодца:

$$d = 0,22 \left(p + h_{кр} + \frac{\alpha \cdot v_{кр}^2}{2g} \right), \quad (3.39)$$

где $v_{кр}$ и $h_{кр}$ – скорость и глубина в конце входа, определяют N , которое округляют и принимают окончательно.

Критическая глубина

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}}; \quad q = \frac{Q}{b}, \quad (3.40)$$

где q – удельный расход.

Иногда предварительно принимают высоту ступени падения $p=1,5h_0$, а высоту водобойного колодца $d = 0,5h_0$, где h_0 – нормальная глубина в подводящем канале.

Насколько удачно приняты p и d и обеспечивают ли они затопление прыжка в колодце ступени, будет видно из дальнейших расчетов.

Затем рассчитывают первую ступень. Определяют глубину воды в сжатом сечении из формулы

$$q = \varphi \cdot h_{c1} \sqrt{2g \left(p + h_{кр} + \frac{\alpha \cdot v_{кр}^2}{2g} - h_{c1} \right)}, \quad (3.41)$$

где φ – скоростной коэффициент, принимаемый по рекомендации Е.А. Замарина в зависимости от высоты стенки падения p

Т а б л и ц а 3.4. Значения скоростного коэффициента φ от высоты стенки падения p

Показатели	Значения показателей				
	$p, м$	1,0	2,0	3,0	4,0
φ	1,0...0,95	0,95...0,91	0,91...0,88	0,88...0,86	0,86...0,85

Определив подбором из этого уравнения h_{c1} , сопряженную ей глубину вычисляют по формуле

$$h_{c1}^c = \frac{1}{2} h_{c1} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{кр}}{h_{c1}} \right)^3} - 1 \right]. \quad (3.42)$$

Следует отметить, что сопряженные глубины можно определять пользуясь графиками профессора М.Д. Чертоусова.

Из формулы водослива с тонкой стенкой определяют напор на водосливе первой ступени:

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g} \cdot H_{01}^{3/2}, \quad (3.43)$$

где m – коэффициент расхода, для водослива с тонкой стенкой равный 0,42.

Тогда напор на водосливе

$$H_1 = H_{01} - \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2g}; \quad V_1 = \frac{Q}{b \cdot h_{c1}^c}. \quad (3.44)$$

Определяют глубину водобойного колодца на первой ступени:

$$d_1 = h_{c1}^c - H_1. \quad (3.45)$$

Длина водобойного колодца на всех ступенях, кроме последней, будет

$$L_1 = L_{01} + 0,8L_{пр1}, \quad (3.46)$$

где L_{01} и L_{np1} – соответственно длина отлета струи и длина прыжка на первой ступени, определяются по формулам:

$$L_{01} = V_{кр} \sqrt{\frac{2\left(p + \frac{1}{2}h_{кр}\right)}{g}}; \quad L_{np1} = 4,3h_{c1}^c. \quad (3.47)$$

Вторую ступень рассчитывают аналогично. Глубину воды в сжатом сечении на второй ступени h_{c2} определяют из уравнения:

$$q = \varphi \cdot h_{c2} \sqrt{2g\left(p + H_1 + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2g} - h_{c2}\right)}, \quad (3.48)$$

где v_1 – скорость подхода к водосливу, равная $Q/(b \cdot h_{c1}^c)$.

Вторая сопряженная глубина h_{c2}^c на второй ступени будет равна:

$$h_{c2}^c = \frac{1}{2}h_{c2} \left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{кр}}{h_{c2}}\right)^3} - 1 \right]. \quad (3.49)$$

Напор на водосливе второй ступени

$$H_2 = H_{02} - \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2g}; \quad V_2 = \frac{Q}{b \cdot h_{c2}^c}. \quad (3.50)$$

Глубина и длина водобойного колодца на второй ступени

$$d_2 = h_{c2}^c - H_2; \quad L_2 = L_{02} + 0,8 \cdot L_{np2},$$

где L_{02} и L_{np2} – соответственно длина отлета струи и длина прыжка на второй ступени, равные

$$L_{02} = V_1 \sqrt{\frac{2\left(p + \frac{1}{2} H_1\right)}{g}}; \quad L_{np2} = 4,3 \cdot h_{c2}^c.$$

Все последующие ступени, кроме последней, не рассчитывают, так как они будут точно такими же, как и вторая ступень.

После расчета второй ступени окончательно назначают глубину и длину водобойного колодца, одинаковые для всех промежуточных ступеней в целях упрощения и облегчения производства работ.

Последняя ступень, в данном случае третья, рассчитывается с учетом того, что здесь происходит сопряжение с каналом.

Длина последней ступени

$$L_3 = L_{03} + L_{np3} + L_{3ап}, \quad (3.51)$$

где $L_{3ап}$ – длина запаса, равная $(1...3)h_k$;

h_k – глубина воды в отводящем канале.

Длина отлета $L_{03} = L_{02}$.

Если ширина последней ступени постоянная, то $L_{np3} = L_{np2}$, так как вторая сопряженная глубина на последней ступени равна второй сопряженной глубине на предыдущей ступени, то есть $h_{c2}^c = h_{c3}^c$.

Глубина колодца

$$d_3 = \sigma \cdot h_{c3}^c - h_k - \Delta Z, \quad (3.52)$$

где σ – коэффициент запаса, обычно равный 1,05...1,1;

ΔZ – перепад уровней при выходе из колодца в канал и определяемый из формулы

$$Q = \varphi \cdot b \cdot h_k \sqrt{2g \cdot \Delta Z_0}; \quad \varphi = 0,95; \quad (3.53)$$

$$\Delta Z = \Delta Z_0 - \frac{\alpha \cdot V_3^2}{2g}; \quad V_3 = \frac{Q}{b \cdot h_{c3}^c}.$$

Однако чаще всего последняя ступень устраивается в виде расширяющегося в плане раструба от ширины b до B . В этом случае вторая сопряженная глубина h_{c3}^c находится из формулы прыжковой функции, имеющей для прямоугольного русла перепада следующий вид:

$$\frac{Q^2}{g \cdot \omega_1} + \frac{\omega_1 \cdot h_{c3}}{2} = \frac{Q^2}{g \cdot \omega_2} + \frac{\omega_2 \cdot h_{c3}^c}{2}, \quad (3.54)$$

где ω_1 – живое сечение в месте падения струи, равное $b \cdot h_{c3}$;

ω_2 – живое сечение за местом падения струи, равное $B \cdot h_{c3}^c$.

Следует отметить, что расширяющийся выходной участок перепада должен проектироваться с углом роспуска θ , который во избежание отрыва потока от боковых стенок и для равномерного заполнения русла потоком без резкого изменения глубин в сечении следует определять из формулы

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{\sqrt{\Pi_k}}, \quad (3.55)$$

где $\Pi_k = \frac{\alpha \cdot V_{c3}^2}{g \cdot h_{c3}}$ – параметр кинетичности;

V_{c3} – скорость воды в сечении с сжатой глубиной h_{c3} на последней ступени, в данном случае третьей.

5.2.3. Быстротоки

Конструктивные особенности. Быстротоками называются такие сооружения, которые с большими скоростями переводят воду из верхнего канала в нижний по лотку без отделения струи воды от лотка. Составляют из входного участка, лотка (транзитная часть) и выходного участка – гасителя, рис. 3.5.

В конструктивном отношении входная и выходная части быстротока аналогичны как и в перепадах.

По конструкции транзитной части быстротоки бывают открытые и закрытые, или трубчатые, криволинейные в плане, с искусственной шероховатостью, струйные (с лотком, разделенным продольными стенками на несколько лотков), переменной ширины. Поперечное сечение лотка быстротока может быть прямоугольным, трапециевидным, треугольным и полигональным. По гидравлическим условиям работы оптимальным считается прямоугольное поперечное сечение, так как в других сечениях происходит концентрация струи на осевой части, что приводит к неустойчивости потока.

При прямоугольном поперечном сечении быстротока боковые стенки устраиваются в виде подпорных стенок, поперечные размеры которых определяются на основании статического расчета.

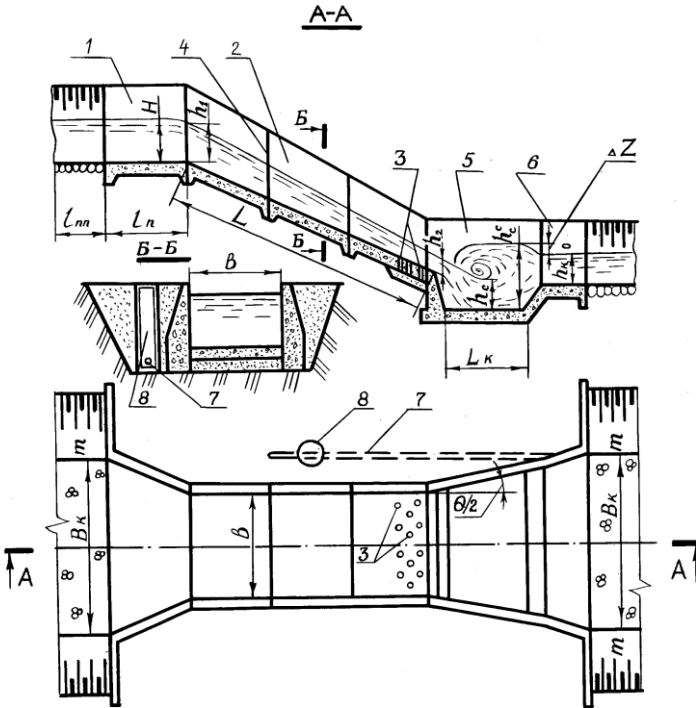


Рис. 3.5. Бетонный быстроток: 1 – вход; 2 – лоток; 3 – отверстия в плитах; 4 – шов; 5 – водобойный колодец; 6 – выход; 7 – застенный дренаж; 8 – смотровой колодец.

Днище – флютбет быстротока, обычно выполняют постоянной толщины, составляющей 0,2...0,5 м. Иногда толщину флютбета в лотке назначают переменной, меньшую в начале и большую в конце. Такой переход делают участками, относя изменения их к деформационным швам. Различная толщина флютбета лотка вызывается действующими силами на него. Из условия пропуска поверхностного потока толщину флютбета можно определить по формуле Домбровского:

$$t = (0,03...0,035) \cdot a \cdot V \cdot \sqrt{h}, \quad (3.56)$$

где V – средняя скорость потока воды в лотке;

h – глубина воды в рассматриваемом сечении;

a – коэффициент, характеризующий грунт основания, для глин и плотных суглинков он равен 1, для супесей – 1,5; для песков – 2.

В зависимости от климатических и грунтовых условий через 5...20 м по длине лотка выполняют поперечные деформационные швы (рис. 3.6). Продольные швы, как правило, совмещают с обрезами фундаментов подпорных стенок лотков.

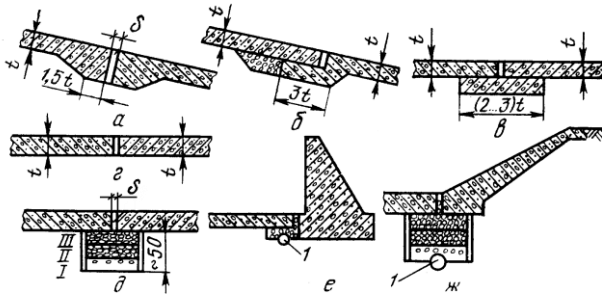


Рис. 3.6. Швы лотка быстротока: а, б – поперечные для больших уклонов; в, г, д – то же, для малых уклонов; е, ж – продольные; 1 – дренаж $\varnothing = 10$ см; $\delta = 1...2,5$ см; I – $\varnothing = 1,0...1,5$ мм; II – $\varnothing = 5,0...20,0$ мм; III – $\varnothing = 25,0...50,0$ мм.

Деформационные швы могут быть водопроницаемые и водонепроницаемые. Под водопроницаемыми швами обязательно устраивают обратные фильтры. Вода через шов должна проходить нормально к плоскости дна лотка, поэтому обратные фильтры ограждают боковыми водонепроницаемыми стенками. Это уменьшает вероятность возникновения контактной суффозии в зоне шва.

Водонепроницаемые швы герметизируют уплотнениями в виде профилированной резины, металлических пластин, просмоленных досок, полимерных профилей и т.п.

Швы желательно выполнять утолщенными – в целях увеличения площади соприкосновения и тем самым уменьшения фильтрации через швы, а также для усиления сопротивления сдвигу лотка быстротока.

Под действием напора воды в грунте основания быстротока возникает фильтрационный поток воды, входящей в основание до входной части быстротока и выклинивающейся в отводящем канале. Чтобы

уменьшить или снять фильтрационное давление на лоток, а также понизить депрессионную поверхность фильтрационного или грунтового потока в его дне и концевой части устраивают разгрузочные отверстия, а за боковыми стенками – застенный дренаж. Фильтрационная вода через разгрузочные отверстия выходит в лоток быстротока, а из дренажа сбрасывается в нижний бьеф. Если уровень грунтовых вод в основании сооружения близок к поверхности земли, дренаж выполняют и под лотком. Дренаж обычно устраивают на нижней трети или половине быстротока, заканчивается он в начале отводящего канала.

Превышение боковых стенок лотка быстротока Δh над расчетным уровнем воды, определенным с учетом аэрации потока, принимается в зависимости от расхода Q (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Значения Δh в зависимости от Q

Показатели	Значения показателей				
	1	1...10	11...30	31...50	51...100
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$					
$\Delta h, \text{ м}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Следует отметить, что криволинейные в плане быстротоки, устраиваемые чаще всего при обходе препятствий, проектируют с приподнятым внешним бортом в соответствии с наклоном уровня воды, определяемым при спокойных потоках по уравнению:

$$\text{tg}\alpha = \frac{V^2}{R \cdot g}, \quad (3.57)$$

где α – угол наклона уровня воды к горизонту;

V – средняя скорость воды на повороте;

R – радиус закругления по отношению к середине лотка;

g – ускорение силы тяжести.

Минимальный радиус закругления принимают равным десятикратной ширине лотка.

Гидравлический расчет быстротока. Гидравлический расчет быстротока заключается в расчете входной части, определении глубины воды в конце лотка и построении кривой спада, а также расчете нижнего бьефа выходной части (рис. 3.5).

Поскольку вход в быстроток одинаков со входом в перепад, то и его расчет аналогичен расчету входной части перепада.

Расчет глубины воды в конце лотка быстротока ведут в следующей последовательности.

Определяют критическую глубину, которая устанавливается в начале быстроготока:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}} = h_1, \quad (3.58)$$

где q – удельный расход на быстроготоке, равный Q/b .

Далее находят нормальную глубину на быстроготоке h_0 по формуле Шези.

Исходными данными для расчета служат ширина лотка b , равная ширине входа, определенная при расчете входной части, расход канала Q , уклон лотка (местности) i , длина лотка (протяженность участка сопряжения) L , коэффициент шероховатости материала лотка n . Лучше глубину h_0 определять подбором. С этой целью задают в лотке глубины воды h_i и по формуле Шези находят соответствующие этим глубинам расходы Q_i .

По полученным данным строят график $Q_i = f(h_i)$ и с него снимают при известном значении Q значение h_0 .

Для построения графика $Q_i = f(h_i)$ расчеты удобнее вести в табличной форме (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Определение нормальной глубины водотока

h_0	$\omega = b \cdot h_0$	$\chi = b + 2h_0$	$R = \omega / \chi$	\sqrt{R}		y		$Q = \omega \cdot c \cdot \sqrt{R} \cdot i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

В таблице показатель y определяют по формуле

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10). \quad (3.59)$$

ω и χ – соответственно площадь поперечного сечения и смоченный периметр потока;

R – гидравлический радиус;

c – коэффициент Шези.

Кривую спада в лотке быстроготока строят, используя уравнение неравномерного движения воды:

$$\frac{i \cdot L}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - j_{cp}) [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)], \quad (3.60)$$

где $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$ и $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$ – относительные глубины соответственно в начале с глубиной h_1 и в конце с глубиной h_2 расчетного участка;

$$j_{cp} = \frac{\alpha \cdot C_{cp}^2 \cdot i \cdot b_{cp}}{g \cdot \chi_{cp}}$$
 – член, учитывающий изменение живого сечения вдоль потока;

α – коэффициент Кориолиса ($\alpha = 1,05 \dots 1,1$);

g – ускорение свободного падения;

$\varphi(\eta_2)$ и $\varphi(\eta_1)$ – функции относительной глубины, определяемые по таблицам в зависимости от гидравлического показателя χ , который для прямоугольного русла

$$x = 3,4 - \frac{2,8}{\frac{b}{h_{cp}} + 2}, \quad (3.61)$$

где $h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2}$.

Значения C_{cp} и χ_{cp} определяются при h_{cp} .

Для прямоугольного русла $b_{cp} = b$.

Задавая различные глубины h_2 по уравнению неравномерного движения, определяют, на каком расстоянии от начала быстроготока находится заданная глубина h_2 . Соединяя вершины отрезков h_2 плавной кривой, получают кривую спада. Поэтому же уравнению подбором определяют глубину воды в конце лотка быстроготока h_2 .

Зная положение кривой спада в лотке быстроготока, легко найти скорость движения воды в любом сечении.

Когда известна глубина воды в конце быстроготока h_2 , то выполняют гидравлический расчет нижнего бьефа (выходной части) аналогично расчету выходной части перепада.

При проектировании быстроготоков возможны случаи, когда скорости в лотке получаются слишком большие, не допустимые для материала сооружения, а уменьшить уклон экономически нецелесообразно. В этом случае используют лотки с повышенной (искусственной) шероховатостью.

Для определения размеров повышенной шероховатости существует несколько методов. Наибольшее распространение получил метод Е.А.

Замарина, согласно которому размеры повышенной шероховатости находят по эмпирической формуле, имеющей общий вид следующий:

$$C(A - E \cdot \alpha \pm D \cdot \beta) = 1000, \quad (3.62)$$

где A, E, D – числовые коэффициенты, полученные опытным путем для различных видов повышенной шероховатости, значения их даны на рис. 3.7.

$$\alpha = \frac{h}{\Delta}; \beta = \frac{b}{h};$$

h – глубина воды над выступами шероховатости;

Δ – высота шероховатости.

Оптимальное расстояние между ребрами шероховатости принимается $\lambda = 8 \cdot \Delta$ при изменении β от 1 до 12, кроме шероховатости одиночного зигзага, где дано условие

$$6 \geq \beta \geq 1.$$

Формулы для определения размеров искусственной шероховатости получены при уклоне $i = 0,15$. При других уклонах лотка быстротока значение коэффициента Шези C, в формуле расчета размеров шероховатости, умножается на числовые коэффициенты, приведенные в табл. 3.7.

Т а б л и ц а 3.7. **Переходные коэффициенты для различных уклонов быстротока**

Тип искусственной шероховатости	Уклон i, %			
	4	7	10	15
Шероховатость типа нормальных и округленных брусков	0,9	1,0	1,06	1
Шероховатость типа одиночного и двойного зигзага	0,75	0,85	0,93	1
Шероховатость типа брусков в разбежку и шашек	1,0	1,0	1,0	1

При скоростях потока в лотке, превышающих 3...4 м/с, происходит насыщение его пузырьками воздуха, так называемый процесс аэрации. Аэрация потока на быстротоках усиливает процесс гашения избыточной энергии, уменьшает размыв за сооружением. Однако в аэрированном потоке глубина его увеличивается, что следует учитывать при проектировании боковых стен быстротока.

6. Водопроводящие сооружения

Водопроводящими сооружениями называют сооружения, предназначенные для подачи воды из одного пункта в другой. Они представляют собой открытые или закрытые искусственные русла безнапорные, если поток воды движется в них со свободной поверхностью, и напорные, если не существует свободной поверхности потока. В общем случае под водопроводящими сооружениями понимают как каналы, по которым транспортируется вода к месту потребления, так и сооружения на каналах, устраиваемые в местах пересечения ими естественных или искусственных препятствий. К естественным препятствиям, встречающимся по трассе канала, относят балки, овраги, ручьи, реки, глубокие и широкие долины, различного рода местные понижения местности, а также холмы, горы и прочие повышения рельефа относительно дна трассируемого канала. К искусственным препятствиям относят дороги, железнодорожные насыпи и пути, каналы другого направления, а также всевозможного рода инженерные сооружения, расположенные в одной или различных плоскостях с каналами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям / Под ред. В. С. Ланшенкова. М.: Агропромиздат, 1989. 448 с.
2. Волков И. М., Кононенко П. Ф., Федечкин И. К. и др. Проектирование гидротехнических сооружений. М.: Колос. 1977. 384 с.
3. Розанов Н. П., Бочкарев Я. В., Лапшенков В. С. и др. Гидротехнические сооружения. – М.: Агропромиздат, 1985. 432 с.
4. Нестеров М. В. Грунтовые плотины. Учебное пособие. БГСХА. Горки, 2000. 208 с.
5. Нестеров М. В., Понасенко Л. В. Гидравлические расчеты регулирующих сооружений. Учебное пособие. БГСХА. Горки, 1998. 72 с.
6. Кириенко И. И., Химерик Ю. А. Гидротехнические сооружения. Проектирование и расчет. Киев: В. школа, 1987. 253 с.
7. Румянцев И. С., Мацея В. Ф. Гидротехнические сооружения. М.: Агропромиздат. 1988. 430 с.
8. Ларьков В. М. Водопропускные сооружения низконапорных гидроузлов (с глухими плотинами): Учебное пособие. – М.: Ураджай, 1990 – 351 с.
9. Нестеров М. В., Гульков Н. Ф. Расчеты сопрягающих сооружений: Учебное пособие. БГСХА. Горки, 1999. 176 с.
10. Нестеров М. В. Фильтрационный расчет гидротехнических сооружений: Методические указания. БГСХА. Горки, 1991. 48 с.