

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»**  
Кафедра гидротехнических сооружений

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРУДА В ЛЕСОПАРКОВОЙ ЗОНЕ ГОРОДА**

Методические указания  
для выполнения самостоятельной практической работы  
по дисциплине «Городская гидротехника» для студентов направления  
270100 Строительство с профилем специальных дисциплин  
«Городское строительство и хозяйство»

Нижний Новгород

ННГАСУ

2011

УДК 627.671

Проектирование пруда в лесопарковой зоне города. Методические указания для выполнения самостоятельной практической работы по дисциплине «Городская гидротехника» для студентов направления 270100 Строительство с профилем специальных дисциплин «Городское строительство и хозяйство» – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2011. – 35 с.

Ил. 10, табл. 8, библиогр. 9.

Составители: Февралев А. В., Сидоров Н. П.

Методические указания являются руководством для выполнения самостоятельной практической работы «Проектирование пруда в лесопарковой зоне города».

В методических указаниях кратко представлены основные этапы проектирования гидротехнических сооружений и образуемого ими пруда в лесопарковой зоне. Описаны оценка необходимой рекреационной емкости пруда, гидрологические расчеты, даны методы определения параметров пруда, приведены основы проектирования плотин и водопропускных сооружений, рассмотрены компоновка гидроузла и последовательность его строительства.

Методические указания могут быть использованы при выполнении выпускных квалификационных работ студентами направления 250700 Ландшафтная архитектура.

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2011

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение.....	4
1. Цель работы .....	5
2. Определение расчётного годового стока реки .....	6
3. Определение основных параметров пруда .....	7
3.1. Численность отдыхающих на пруду .....	7
3.2. Виды отдыха, целесообразные для пруда .....	7
3.3. Определение площади водной поверхности пруда .....	8
3.4. Определение объемов воды в пруду .....	9
3.5. Результаты определения параметров пруда .....	11
4. Проектирование грунтовой плотины .....	12
4.1. Тип плотины и ее класс .....	12
4.2. Проектирование поперечного профиля плотины .....	12
4.3. Фильтрационный расчет плотины.....	15
4.4. Расчет устойчивости низового откоса плотины .....	19
5. Водопусковые сооружения гидроузла.....	24
5.1. Гидравлический расчет башенного водосброса, совмещенного с водоспуском.....	24
5.2. Гидравлический расчет быстротока и трубчатого водоспуска .....	28
5.3. Расчет гасителя энергии потока воды.....	29
6. Компоновка гидроузла и последовательность строительства.....	31
Библиографический список .....	34
Приложение.....	35

## **ВВЕДЕНИЕ**

Студенты, получающие образование по направлению 270100 Строительство с профилем специальных дисциплин «Городское строительство и хозяйство», изучают дисциплину «Городская гидротехника». В рамках этой дисциплины предусмотрено выполнение самостоятельной практической работы «Проектирование пруда в лесопарковой зоне города». Настоящие методические указания являются руководством для названной работы; указания могут использоваться при выполнении выпускной квалификационной работы.

В методических указаниях кратко представлены основные этапы проектирования гидротехнических сооружений и образуемого ими пруда в лесопарковой зоне. Описаны оценка необходимой рекреационной емкости пруда, гидрологические расчеты, даны методы определения параметров пруда, приведены основы проектирования плотин и водопропускных сооружений, рассмотрены компоновка гидроузла и последовательность его строительства.

Исходные данные, необходимые для выполнения самостоятельной работы, выдаются руководителем работы.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Одним из способов обеспечения потребностей городского населения в кратковременном отдыхе у воды, является создание прудов, расположенных, как правило, в лесопарковых зонах города. Лесопарки, наряду с городскими лесами, лесозащитными зонами, водоемами, землями сельскохозяйственного использования и другими угодьями, входят в состав **ландшафтно-рекреационной территории** [6].

Целью настоящей работы является определение основных параметров пруда и разработка конструкций гидротехнических сооружений, обеспечивающих его нормальное строительство и функционирование.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОГО ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ

Основной задачей проектируемого пруда является надежное обеспечение рекреационных потребностей населения при изменяющейся год от года водности реки. При этих условиях худшие возможности для рекреации возникают в маловодные годы, когда среднегодовой расход воды в реке ниже среднемноголетнего расхода  $Q_0$  (пункт 1 задания). Поскольку маловодных лет в процессе эксплуатации пруда может быть несколько, из них выбирается год, сток которого соответствует определенной обеспеченности. Опыт показывает, что указанная обеспеченность должна быть в пределах 75-85 % [2].

Для расчетов стока маловодного года задаются модульным коэффициентом этой обеспеченности  $K_{\text{расч}}$  (пункт 2 задания) и определяют соответствующий ему среднегодовой расход по формуле:

$$Q_{\text{расч}} = K_{\text{расч}} Q_0, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.1)$$

Объем годового стока принятой обеспеченности вычисляется по зависимости:

$$W_{\text{расч}} = Q_{\text{расч}} \tau_0, \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

где  $\tau_0$  – продолжительность года, принимаемая  $31,5 \cdot 10^6$  с.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРУДА

#### 3.1. Численность отдыхающих на пруду

Так как пруд предназначен для удовлетворения населения в водных рекреациях, основные параметры пруда зависят от количества отдыхающих.

Как показано в [1], водными рекреациями увлекаются около 43 % (0,43 в долях единицы) всего населения; при этом кратковременному отдыху отдает предпочтение около 40 % (0,4 в долях единицы) отдыхающих. Таким образом, доля  $\varepsilon$  населения, желающего отдыхать на рассматриваемом пруду, составит около

$$\varepsilon = 0,43 \cdot 0,4 = 0,172 \quad (3.1)$$

населения  $N_{\text{нас}}$ , тяготеющего к рассматриваемому пруду. Количество населения  $N_{\text{нас}}$  представлено в задании (пункт 3).

Следовательно, количество отдыхающих на пруду  $N_{\text{отд}}$  определится как

$$N_{\text{отд}} = \varepsilon N_{\text{нас}}. \quad (3.2)$$

#### 3.2. Виды отдыха, целесообразные для пруда

Эти виды рекреационных занятий систематизированы в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Виды отдыха, целесообразные для прудов

Сезон	Вид рекреационных занятий	Количество рекреантов $\delta_{\text{отд}}$ , % отдыхающего населения
Лето	Купание	27,0
	Отдых у воды (на берегу)	
	Принятие солнечных и воздушных ванн (на берегу)	
	Рыболовство с берега	19,9
	Рыболовство с лодки	
	Катание на весельных лодках	20,0
	Катание на водных лыжах	
Катание на водных велосипедах		
Зима	Рыболовство со льда	
	Катание на лыжах	
	Катание на санках	
	Катание на коньках	

Как следует из этой таблицы, предпочтительными видами отдыха на воде летом являются купание, рыболовство, катание на лодках.

### 3.3. Определение площади водной поверхности пруда

Определяющим параметром рекреационного водоема является площадь его водной поверхности (акватории). Эту площадь можно представить в виде двух частей: площади, используемой для рекреации, и площади, которая не может быть использована для целей рекреации из-за мелководья, заболоченности, неудобства подходов к воде и т. п.

Акватория для рекреации определяется зависимостью [1]

$$F_{\text{рекр}} = \sum_{j=1}^m f_{\text{вод}j} N_{\text{вод}j}, \quad (3.3)$$

где  $f_{\text{вод}j}$  – размер акватории (площадь) для единицы  $j$ -го вида водной рекреации [1] (табл. 3.2);  $N_{\text{вод}j}$  – количество рекреантов для данного вида;  $m$  – количество видов рекреации на акватории.

Таблица 3.2

Параметры акваториальных комплексов, рекомендуемых для рекреационного водопользования

Нормируемый показатель	Виды рекреационного водопользования					
	Купание	Весельные лодки	Спортивная гребля	Парусный спорт	Рыболовство	
					с лодки	со льда
Площадь акватории на одну рекреационную единицу, га	0,02	0,4-1,0	0,4-2,0	1,2-8,0	0,02	0,02
Длина акватории для рекреационной зоны, м	25-50	1100-2200	1000-3000	500-2500	-	-
Ширина акватории рекреационной зоны, м	5-100	30-100	30-200	300-2000	-	-
Глубина воды в рекреационной зоне, м	0,5-1,8	0,75-3,0	2,5-3,0	1,2-2,0	-	-

Количество рекреантов для данного вида  $N_{\text{вод}}$  оценивается по формуле

$$N_{\text{вод}} = \delta_{\text{отд}} N_{\text{отд}}, \text{ чел.}, \quad (3.4)$$

где  $\delta_{\text{отд}}$  определяется по табл. 3.1 для предпочтительных видов отдыха.

При определении  $N_{\text{вод}}$  катания на лодках необходимо учесть количество человек  $N_{\text{лод}}$ , размещающихся в одной лодке. В среднем это количество может быть принято равным  $N_{\text{лод}}$  от 3 до 5 чел. Тогда количество рекреантов, выраженное числом лодок, составит

$$N_{\text{вод}} = \delta_{\text{отд}} \cdot N_{\text{отд}} / N_{\text{лод}}, \text{ лодок.}$$

Предварительно общая площадь акватории, включающая площадь для рекреации, и площадь, неиспользуемую для рекреации, может быть оценена как

$$F_{\text{пред}} = (1,5 \dots 2) F_{\text{рекр}}. \quad (3.5)$$

### 3.4. Определение объемов воды в пруду

Величина общей площади позволяет определить предварительный нормальный подпорный уровень пруда ( $\text{НПУ}_{\text{пред}}$ ) с помощью морфометрических характеристик пруда (рис. 3.1).

$\text{НПУ}_{\text{пред}}$  дает возможность оценить предварительно полный объем воды в пруду  $V_{\text{пред}}$  также по морфометрическим характеристикам (рис. 3.1). Однако этот объем не учитывает потери воды на санитарные попуски, дополнительное испарение, фильтрацию.

Объем годовых потерь на санитарные попуски определяется как

$$W_{\text{сан}} = Q_{\text{сп}} T_{\text{меж}} - K_{\text{расч}} W_{\text{меж}}, \quad (3.6)$$

где  $Q_{\text{сп}}$  – санитарный расход попуска в нижний бьеф (пункт 4 задания);  $T_{\text{меж}}$  – средняя продолжительность межени в году;  $T_{\text{меж}}$  является продолжительностью с января по март и с июля по октябрь;  $W_{\text{меж}}$  – средний объем стока межени;

$$K_{\text{расч}} W_{\text{меж}} = (0,1 \dots 0,2) W_{\text{расч}}. \quad (3.7)$$

Если величина  $W_{\text{сан}}$  получается отрицательной, принимается  $W_{\text{сан}}=0$ .

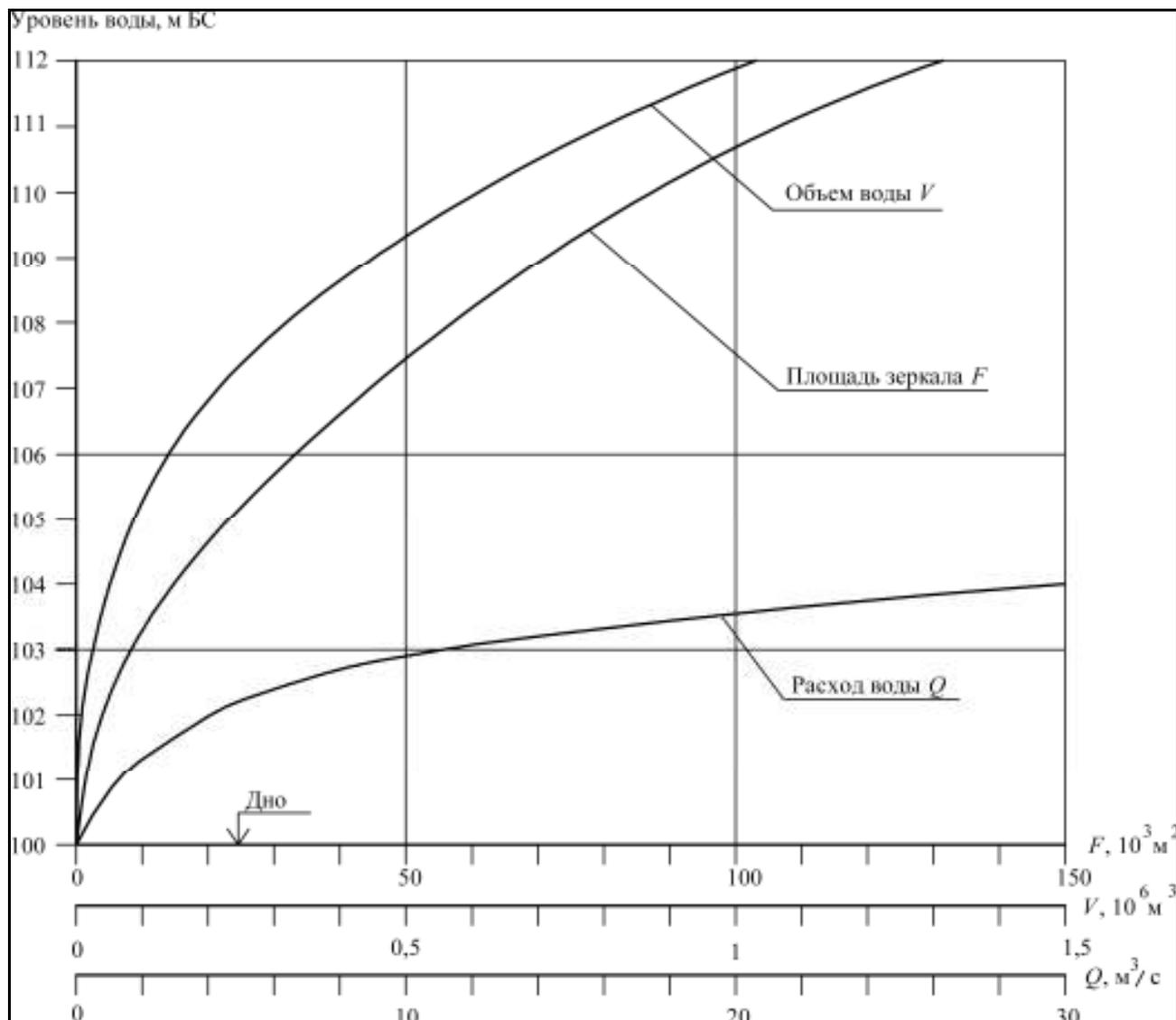


Рис. 3.1. Морфометрические характеристики пруда ( $F$ ,  $V$ ) и кривая расходов ( $Q$ )

Годовой объем потерь на испарение определяется по формуле:

$$W_{\text{исп}} = zF_{\text{пред}}, \text{ м}^3, \quad (3.8)$$

где  $z$  – слой годового дополнительного испарения за безледоставный период (пункт 5 задания).

Годовой объем потерь на фильтрацию из пруда выражается зависимостью:

$$W_{\text{ф}} = 0,01\Phi V_{\text{пред}}, \text{ м}^3, \quad (3.9)$$

где  $\Phi$  – относительные потери на фильтрацию, % (пункт 6 задания).

Объемы потерь позволяют уточнить полный объем пруда по формуле:

$$V_{\Pi} = V_{\text{пред}} + W_{\text{сан}} + W_{\text{исп}} + W_{\text{ф}}. \quad (3.10)$$

Уточненный полный объем дает уточненный НПУ (рис. 3.1), а НПУ – уточненное значение общей площади акватории –  $F_{\text{общ}}$  (рис. 3.1).

Объем потерь воды из пруда может привести к уменьшению объема пруда за период межени до значения  $V_{\text{пред}}$ . Это приведет к понижению уровня до уровня мертвого объема – УМО. Последний определяется по  $V_{\text{пред}}$  и рис. 3.1.

### 3.5. Результаты определения параметров пруда

Эти результаты для наглядности и удобства дальнейшего пользования целесообразно систематизировать (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Основные параметры пруда

Назначение пруда	Уровни воды, м БС		Объемы, $10^6 \text{ м}^3$		Площадь водной поверхности, $10^6 \text{ м}^2$	
	НПУ	УМО	полный	мертвый	при НПУ	при УМО
Рекреационное						

## 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

Пруд создаётся путём строительства плотины – гидротехнического сооружения, перегораживающего реку для подъёма уровня воды.

### 4.1. Тип плотины и ее класс

Проектируется плотина из местных грунтовых материалов [5]. Тип плотины и характеристики грунтовых материалов указываются в задании.

Класс плотины назначается по [7] в зависимости от ее максимальной высоты и грунтов основания. Высота плотины  $H'_{пл}$  предварительно определяется по формуле:

$$H'_{пл} = \text{НПУ} - \text{ДНО} + (2 \dots 3) \text{ м}, \quad (4.1)$$

где ДНО – отметка дна реки, определяемая по рис. 3.1.

Впоследствии высоту и класс плотины необходимо уточнить.

### 4.2. Проектирование поперечного профиля плотины

Проектирование поперечного профиля плотины включает в себя определение его основных элементов:

а) ширины гребня; ширина гребня плотины в общем случае зависит от конструкции плотины, способа ее возведения, наличия или отсутствия дорог общего пользования. Однако, так как пруд предназначается для рекреационных целей, устройство названных дорог не допускается, кроме дороги служебного назначения (для осмотра и ремонта плотины и других сооружений пруда). Поэтому ширину гребня следует принимать минимальной по [5];

б) заложения откосов плотины предварительно могут быть приняты по рекомендациям табл. 4.1 и табл. 4.2;

в) бермы устраиваются через 10-15 м по высоте плотины, ширина их 2-3 м; на верховом откосе на 1-2 м ниже УМО устраивается берма для размещения упора крепления верхового откоса;

Таблица 4.1

## Ориентировочные заложения откосов земляных намывных плотин

Высота плотины, м	Плотина безъядерная	
	откос верховой	откос низовой
	заложение	заложение
До 10	2,25-2,75	3,0
10...20	2,25- 2,75	3,5

Таблица 4.2

## Ориентировочные заложения откосов земляных насыпных плотин

Высота плотины, м	Заложение откоса	
	верхового	низового
5	2,0-2,5	1,5-1,75
5-10	2,25-2,75	1,75-2,25
10-15	2,5-3,0	2,0-2,5
15-50	3,0-4,0	2,5-4,0
50	4,0-5,0	4,0-4,5

г) отметка гребня вычисляется по формулам [5]:

$$\Gamma_p = \text{НПУ} + \Delta h_{set} + h_{run\ 1\%} + a, \text{ м}; \quad (4.2a)$$

$$\Gamma_p = \text{ФПУ} + \Delta h'_{set} + h'_{run\ 1\%} + a, \text{ м}, \quad (4.2б)$$

где  $\Delta h_{set}$ ,  $\Delta h'_{set}$  – ветровой нагон воды в верхнем бьефе;  $h_{run\ 1\%}$ ,  $h'_{run\ 1\%}$  – высота наката ветровой волны на верховой откос;  $a$  – запас (не менее 0,5 м).

Форсированный подпорный уровень предварительно может быть принят как

$$\text{ФПУ} = \text{НПУ} + (1 \dots 2) \text{ м}. \quad (4.3)$$

Ветровой нагон определяется по упрощенному виду формулы [4, приложение 1]:

$$\Delta h_{set} = K_w \frac{v_w^2 L}{gd}, \text{ м}, \quad (4.4)$$

где  $v_w$  – расчетная скорость ветра, м/с (пункт 7 задания);  $L$  – длина разгона ветра, равная длине пруда, м (пункт 8 задания);  $K_w$  – коэффициент, равный  $2,1 \cdot 10^{-6}$ ;

$d$  – глубина воды в верхнем бьефе, вычисляемая по зависимости:

$$d = \text{НПУ} - \text{ДНО}, \text{ м.} \quad (4.5a)$$

$$\Delta h'_{set} = K_w \frac{(0,68v_w)^2 L}{gd'}$$

$$d' = \text{ФПУ} - \text{ДНО}, \text{ м.} \quad (4.5b)$$

Высота наката ветровой волны на откос  $h_{run1\%}$  и  $h'_{run1\%}$  может быть в предварительных расчётах принята по графикам, приведенным на рис. 4.1 [9].

При вычислении отметки гребня по формуле (4.2б) высоту наката  $h'_{run1\%}$  следует определять при скорости ветра, равной  $0,68v_w$ .

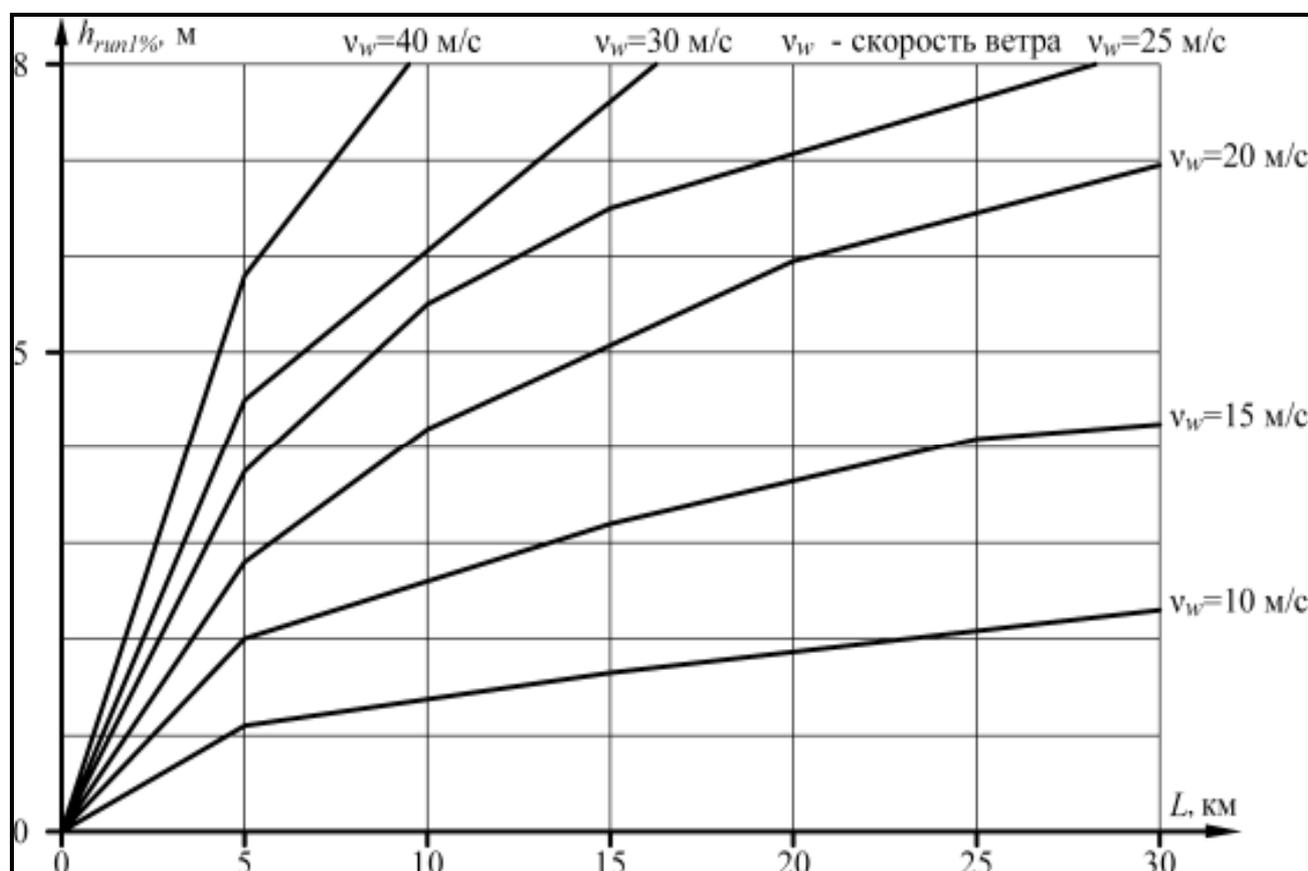


Рис. 4.1. Высота наката волны на откос

Из двух значений, полученных по формулам (4.2а) и (4.2б), за отметку гребня принимают большее. Затем уточняется максимальная высота плотины, как

$$H_{пл} = \Gamma_p - \text{ДНО}, \text{ м,}$$

а также ее класс по указаниям [7];

д) в русловой части плотины со стороны нижнего бьефа устраивается каменный банкет с отметкой гребня:

$$B = CУ + (1...2) \text{ м}, \quad (4.6)$$

где  $CУ$  – уровень воды в нижнем бьефе во время перекрытия русла реки, соответствующий меженному расходу. Приблизительно принимается от 1 до 3 м<sup>3</sup>/с. Заложение верхового откоса банкета принимается 1:1,5, низового – 1:2,0; ширина гребня банкета – 3-4 м.

Вычисленные размеры основных элементов плотины позволяют запроектировать ее русловой (рис. 4.2а) и пойменный (рис. 4.2б) профили.

### 4.3. Фильтрационный расчет плотины

В задачи фильтрационного расчета входят построение депрессионной кривой и проверка фильтрационной прочности грунта.

Фильтрационные расчеты должны выполняться согласно положениям [5], однако в данной работе расчёт выполняется только для руслового профиля. Расчётный случай: в верхнем бьефе – НПУ; в нижнем – СНУВНБ (самый низкий), определяемый по расходу  $Q_{\text{сп}}$  и кривой расходов (рис. 3.1).

Расчёты выполняются по рекомендуемой [2] методике. Для плотины на водопроницаемом основании конечной мощности при равных коэффициентах фильтрации грунта основания и тела плотины ( $K_{\text{ос}}=K_{\text{т}}$ ) расчёты проводятся согласно [2, табл. 4.10, схема 9] так.

1). Выбирается расчетная схема (рис. 4.3).

2). Строится расчетный профиль плотины. Если в задании приведена глубина залегания водоупора  $T$ , то на рисунке откладывается его величина, если водоупор не задан, то определяется  $T_{\text{усл}}$  по формуле:

$$T_{\text{усл}}=2,5H, \text{ м}, \quad (4.7)$$

где  $H$  – разность отметок уровней воды верхнего и нижнего бьефов (напор).

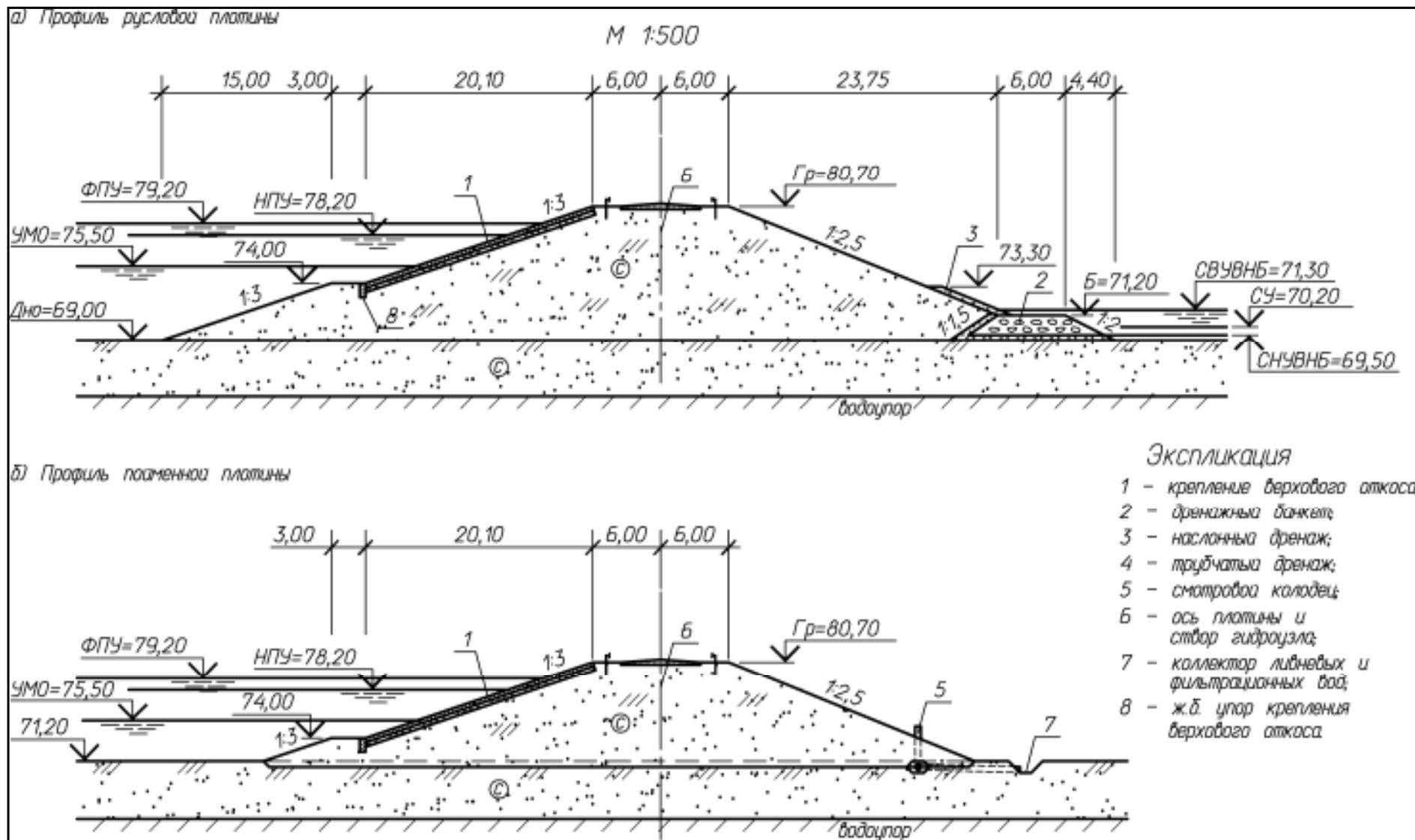


Рис. 4.2. Профили земляной плотины (размеры в м)

3). Вычисляется отношение  $\frac{q}{K_T}$  по формуле [2]:

$$\frac{q}{K_T} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_p + \Delta L_H} + \frac{(H_1 - H_2)T}{L_p + 0,4T}, \text{ м}, \quad (4.8)$$

где  $K_T$  – коэффициент фильтрации грунта тела плотины (пункт 11 задания);  $q$  – удельный расход, м<sup>2</sup>/сут.;  $L_p = L + \Delta L_B$ ;  $L$  определяется по рис. 4.3;  $\Delta L_B = 0,4(H_1 + T)$ ;  $\Delta L_H = (m_1 \cdot H_2)3$ ;  $H_1$  – глубина от НПУ до дна;  $H_2$  – глубина от СНУВНБ до дна (рис. 4.3).

4). Вычисляются ординаты кривой депрессии  $h_x$ :

а) между сечением 1-1 и дренажем

$$h_x = \sqrt{h_c^2 - \left(h_c^2 - H_2^2\right) \frac{x - L + T/2}{T/2 + \Delta L_H}}, \text{ м}, \quad (4.9a)$$

б) между сечением 1-1 и осью ординат

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K_T} \left(L - \frac{T}{2} - x\right) + (T + h_c)^2} - T, \text{ м}, \quad (4.9б)$$

где  $x$  – значения абсциссы,  $0 \leq x \leq L$ ;

$$h_c = \sqrt{(H_1 + T)^2 - 2 \frac{q}{K_T} \left(L_p - \frac{T}{2}\right)} - T. \quad (4.10)$$

Расчеты удобно выполнять в табличной форме (табл. 4.3). Кривая депрессии визуально исправляется в зоне, где  $h_x \geq (H_1 + T) - q/K_T$ .

Таблица 4.3

Координаты кривой депрессии

$x, \text{ м}$	5	10	15	20	25	30	39
$h_x, \text{ м}$	12,78	12,06	11,3	10,5	9,58	8,59	6,46



5). Проверяется фильтрационная прочность грунта по зависимости:

$$I_{\text{д}} \leq \frac{I_{\text{кр}}}{\gamma_n}, \quad (4.11)$$

где  $I_{\text{д}}$  – действующий средний градиент напора;  $I_{\text{кр}}$  – критический градиент по [5];  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности, определяемый по [7].

Действующий градиент напора для тела плотины вычисляется по формуле:

$$I_{\text{д}} = \frac{\text{НПУ} - \text{СНУВНБ}}{L_{\text{р}}}. \quad (4.12\text{а})$$

Для основания плотины:

$$I_{\text{д}} = \frac{\text{НПУ} - \text{СНУВНБ}}{L_0 + 0,9T}, \quad (4.12\text{б})$$

где  $L_0$  показана на рис. 4.3.

Если неравенство (4.11) не выполняется, что означает возможность нарушения фильтрационной прочности грунта, необходимо предложить меры по снижению действующего градиента.

#### 4.4. Расчет устойчивости низового откоса плотины

Принятые ранее (раздел 4.2) заложения откосов являются ориентировочными. Уточнить их значение можно расчетом устойчивости откосов.

Этот расчет, в данной работе, следует выполнять только для низового откоса, для расчётного случая при уровнях воды: в верхнем бьефе – НПУ, в нижнем – СНУВНБ (рис. 4.4).

Расчеты устойчивости откосов грунтовых плотин всех классов следует выполнять для круглоцилиндрических поверхностей сдвига [5, п. 5.10].

Устойчивость откоса может быть оценена коэффициентом устойчивости, вычисляемым по формуле [2, 5]:

$$K_{\text{уст}} = \frac{P + S}{G + Mr/R}, \quad (4.13)$$

где  $P$  – сила трения;  $S$  – сила сцепления;  $G$  – касательная составляющая веса массива обрушения;  $M$  – сила воздействия фильтрационного потока;  $r$  – плечо, равное расстоянию от центра кривой сдвига до центра тяжести площади  $\Omega$  и измеряемое по рис. 4.4.

Откос считается устойчивым, если

$$K_{уст} \geq \gamma_n \gamma_{fc} / \gamma_c, \quad (4.14)$$

где  $\gamma_{fc}$  – коэффициент, зависящий от сочетания нагрузок и равный для основного сочетания – 1,0, для особого сочетания – 0,9;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы [5, п. 5.11\*].

Центры поверхностей сдвига рекомендуется располагать в криволинейном четырехугольнике  $abde$  (рис. 4.4), образованным линиями, проведенными из середины откоса: вертикалью и прямой под углом  $85^\circ$  к откосу, а также двумя дугами радиусов  $R_1 = K_1 H_{пл}$  и  $R_2 = K_2 H_{пл}$ , где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты внутреннего и внешнего радиусов, определяемые в зависимости от заложения откоса по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$

Коэффициент заложения откоса	1	2	3	4	5
$K_1$	0,75	0,75	1,0	1,50	2,2
$K_2$	1,50	1,75	2,3	3,75	4,8

Поверхность сдвига на поперечном профиле плотины представляет собой дугу окружности радиуса  $R$ , проведенную таким образом, чтобы она пересекала гребень плотины и захватывала часть основания (см. рис. 4.4).

Область, ограниченную кривой сдвига и внешними очертаниями плотины (массив обрушения), разбивают вертикальными прямыми на отсеки шириной  $b$ . При расчете вручную удобно величину  $b$  принимать равной  $0,1R$ , центр нулевого отсека размещать под центром кривой сдвига, а остальные отсеки нумеровать с положительными знаками при расположении их вверх по откосу и с отрицательными – вниз к подошве плотины, считая от нулевого.

Для каждого отсека вычисляются  $\sin\alpha$  и  $\cos\alpha$ , где  $\alpha$  – угол наклона подошвы отсека к горизонту. При  $b=0,1R$  значение  $\sin\alpha\approx 0,1\cdot N_0$ , где  $N_0$  – порядковый номер отсека с учетом его знака, а  $\cos\alpha=\sqrt{1-\sin^2\alpha}$ .

Затем определяют средние высоты составных частей каждого отсека, имеющих различные плотности:  $h_1$  – слоя грунта тела плотины при естественной влажности;  $h_2$  – слоя грунта тела плотины при насыщении водой;  $h_3$  – слоя грунта основания при насыщении водой.

В качестве средних высот принимают высоты частей, замеренные по чертежу (с учетом масштаба) в середине отсека.

Определяется плотность грунта каждого слоя [2, табл. 2.7]:

$$\rho_1 = (1 - n)\rho_{s,T}(1 + \omega), \quad (4.15)$$

$$\rho_2 = (1 - n)\rho_{s,T} + n\rho_w, \quad (4.16)$$

$$\rho_3 = (1 - n)\rho_{s,O} + n\rho_w, \quad (4.17)$$

где  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  – плотности грунта тела плотины при естественной влажности, при насыщении его водой, и грунта основания при насыщении водой;  $n$  – пористость грунта;  $\omega$  – влажность грунта (при естественной влажности в данной работе можно принять  $\omega=0,12-0,20$ );  $\rho_w=1$  т/м<sup>3</sup> – плотность воды;  $\rho_{s,T}, \rho_{s,O}$  – плотность частиц грунта тела и основания плотины (для песков  $\rho_s=2,65-2,67$  т/м<sup>3</sup>).

Физико-механические характеристики грунтов заданы пунктом 11 задания.

Определяются приведенные высоты отсеков по формуле:

$$h_{пр} = h_1 + h_2\rho_2/\rho_1 + h_3\rho_3/\rho_1 + h_0\rho_w/\rho_1, \quad (4.18)$$

где  $h_0$  – глубина слоя воды.

Устанавливается сила трения, возникающая на подошве всего массива обрушения, путем суммирования соответствующих сил по отсекам:

$$P = b\rho_1 \sum h_{\text{нр}} \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi, \text{ т/м.} \quad (4.19)$$

Значение  $\varphi$  принимается равным: выше кривой депрессии –  $\varphi_1$ , в грунте тела плотины ниже кривой депрессии –  $\varphi_2$ , в основании плотины –  $\varphi_3$ ;  $\varphi_2 = 0,8\varphi_1$ ,  $\varphi_3 = 0,8\varphi_1$ . Угол внутреннего трения  $\varphi_1$  берется по пункту 11 задания.

Вычисляются касательная составляющая веса массива обрушения:

$$G = b\rho_1 \sum h_{\text{нр}} \sin \alpha, \text{ т/м.} \quad (4.20)$$

Сила сцепления, возникающая на подошве массива обрушения, определяется по формуле:

$$S = c_1 l_1 + c_2 l_2 + c_3 l_3, \text{ т/м,} \quad (4.21)$$

где  $c_1, c_2, c_3$  – удельные сцепления грунта тела плотины при естественной влажности и при насыщении водой, а также грунта основания, насыщенного водой,  $c_2 = c_3 = 0,8c_1$ ;  $c_1$  – удельное сцепление, принимаемое по пункту 11 задания;  $l_1, l_2, l_3$  – длины дуг кривой сдвига, соответствующие удельным сцеплениям  $c_1, c_2, c_3$ , вычисляемые по формуле:

$$l = \frac{2\pi R\beta}{360^\circ}, \quad (4.22)$$

где  $\beta$  – центральный угол (град.) круглоцилиндрической поверхности сдвига, опирающийся на дугу  $l$ . На рис. 4.4 это углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ .

Если по заданию  $c_1 = 0$ , сила сцепления

$$S = 0.$$

Фильтрационную силу учитывают как объемную:

$$M = \Omega J \rho_0, \text{ т/м,} \quad (4.23)$$

где  $\Omega$  – площадь фигуры  $MEBDK$ ;  $J = \frac{\Delta y}{\Delta x}$  – средний градиент фильтрационного потока;  $\Delta y$  – падение депрессионной кривой в пределах массива обрушения;

$\Delta x$  – расстояние, на котором произошло падение депрессионной кривой на  $\Delta y$  (рис. 4.4).

$$\Omega = b \sum (h_2 + h_3), \text{ м}^2. \quad (4.24)$$

Расчет составляющих формулы (4.13) удобно выполнять в табличной форме (табл. 4.5).

При выполнении неравенства (4.14) откос можно считать устойчивым, в противном случае заложение откоса нужно увеличить; если  $K_{уст}$  превышает  $\gamma_n \gamma_{fc} / \gamma_c$  более, чем на 10 %, заложение откоса следует уменьшить.

Таблица 4.5

## К расчету устойчивости низового откоса плотины

Номер отсека	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$h_1, \text{ м}$	$h_2 + h_3, \text{ м}$	$h_{пр}, \text{ м}$	$h_{пр} \sin \alpha, \text{ м}$	$\varphi, \text{ град}$	$h_{пр} \cdot \cos \alpha \cdot \text{tg} \varphi, \text{ м}$
9	0,9	0,57	2,0	0	2,0	1,64	32	0,71
8	0,8	...	...	...	...	...	...	...
7	0,7	...	...	...	...	...	...	...
6	0,6	...	...	...	...	...	...	...
5	0,5	...	...	...	...	...	...	...
4	0,4	...	...	...	...	...	...	...
3	0,3	...	...	...	...	...	...	...
2	0,2	...	...	...	...	...	...	...
1	0,1	...	...	...	...	...	...	...
0	0	...	...	...	...	...	...	...
-1	-0,1	...	...	...	...	...	...	...
-2	-0,2	...	...	...	...	...	...	...
-3	-0,3	...	...	...	...	...	...	...
-4	-0,4	...	...	...	...	...	...	...
-5	-0,5	...	...	...	...	...	...	...
Сумма	—	—	—	...	—	...	—	...

## 5. ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ГИДРОУЗЛА

К водопропускным сооружениям относятся водосбросы и водоспуски. Водосбросы предназначены для сброса излишков воды во избежание переполнения водохранилища, водоспуски – для пропуска санитарных расходов в нижний бьеф гидроузла, для опорожнения водохранилища и других целей. Тип водосброса определяется заданием на проектирование.

В данной работе рассматриваются башенный водосброс, совмещенный с водоспуском (рис. 5.1) и быстроток (рис. 5.2), при котором необходим отдельно стоящий водоспуск (рис. 5.3).

Водосбросы в соответствии с [7] надлежит рассчитывать на пропуск максимального расхода  $Q_{\text{макс}}$  (пункт 9 задания) определенной обеспеченности  $P_{\text{макс}}$ , назначаемой в зависимости от класса водосброса [7]. Класс водосброса принимается равным классу плотины.

Для выяснения основных размеров водосбросов и водоспусков выполняются гидравлические расчеты.

### 5.1. Гидравлический расчет башенного водосброса, совмещенного с водоспуском

Периметр башни в плане вычисляется по формуле водослива с тонкой стенкой [2]:

$$B_{\text{баш}} = \frac{Q_{\text{макс}}}{m\sqrt{2gh}^{3/2}}, \text{ м}, \quad (5.1)$$

где  $Q_{\text{макс}}$  – максимальный расход, пропускаемый водосливом,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $m$  – коэффициент расхода [8];  $h = \text{ФПУ} - \text{НПУ}$ , м.

Далее рассчитывается площадь поперечного сечения отводящих труб:

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{макс}}}{\mu\sqrt{2gH_{\text{ф}}}}, \text{ м}^2, \quad (5.2)$$

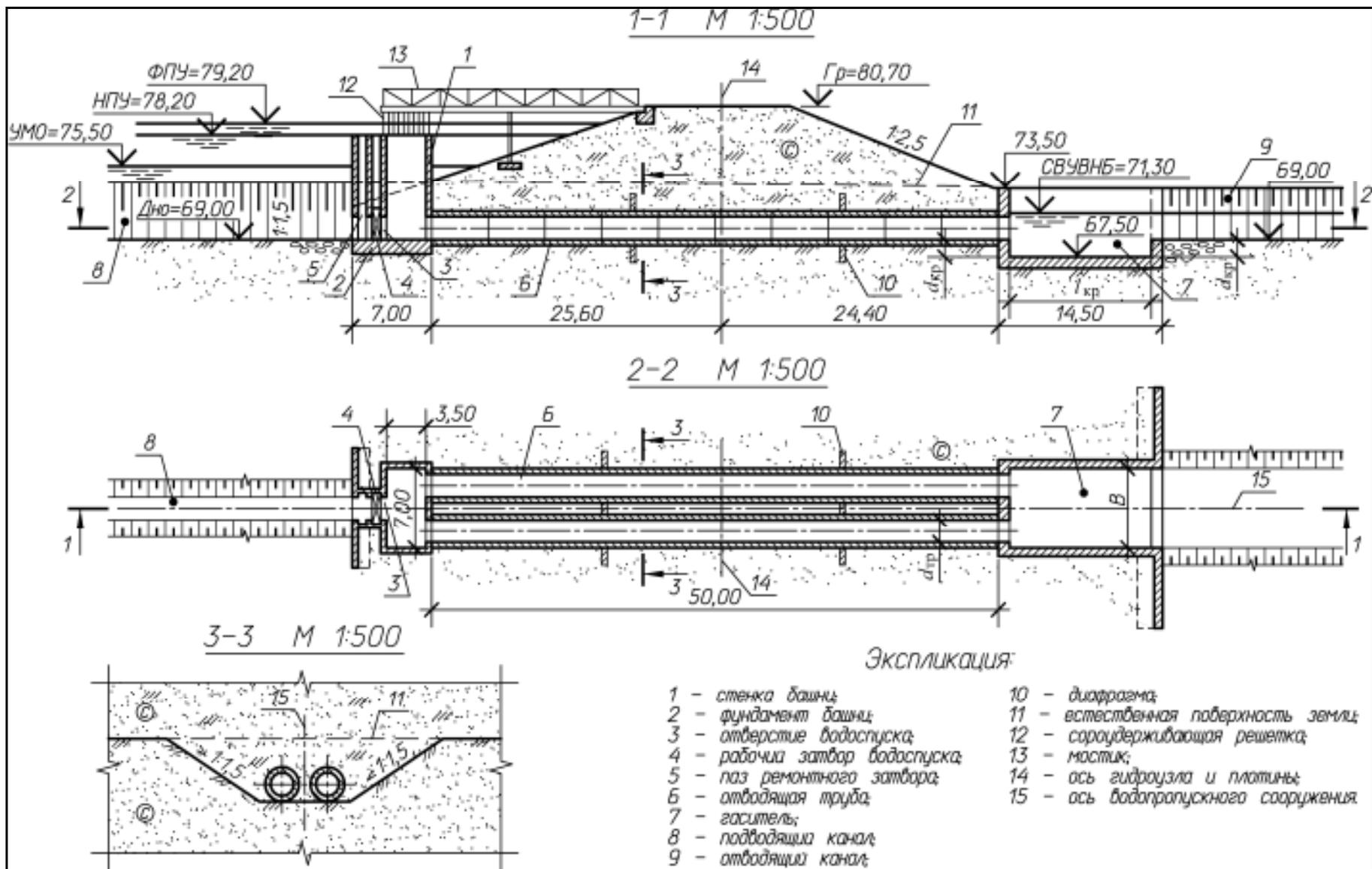


Рис. 5.1. Схема башенного водосброса, совмещенного с водоспуском (размеры в м)

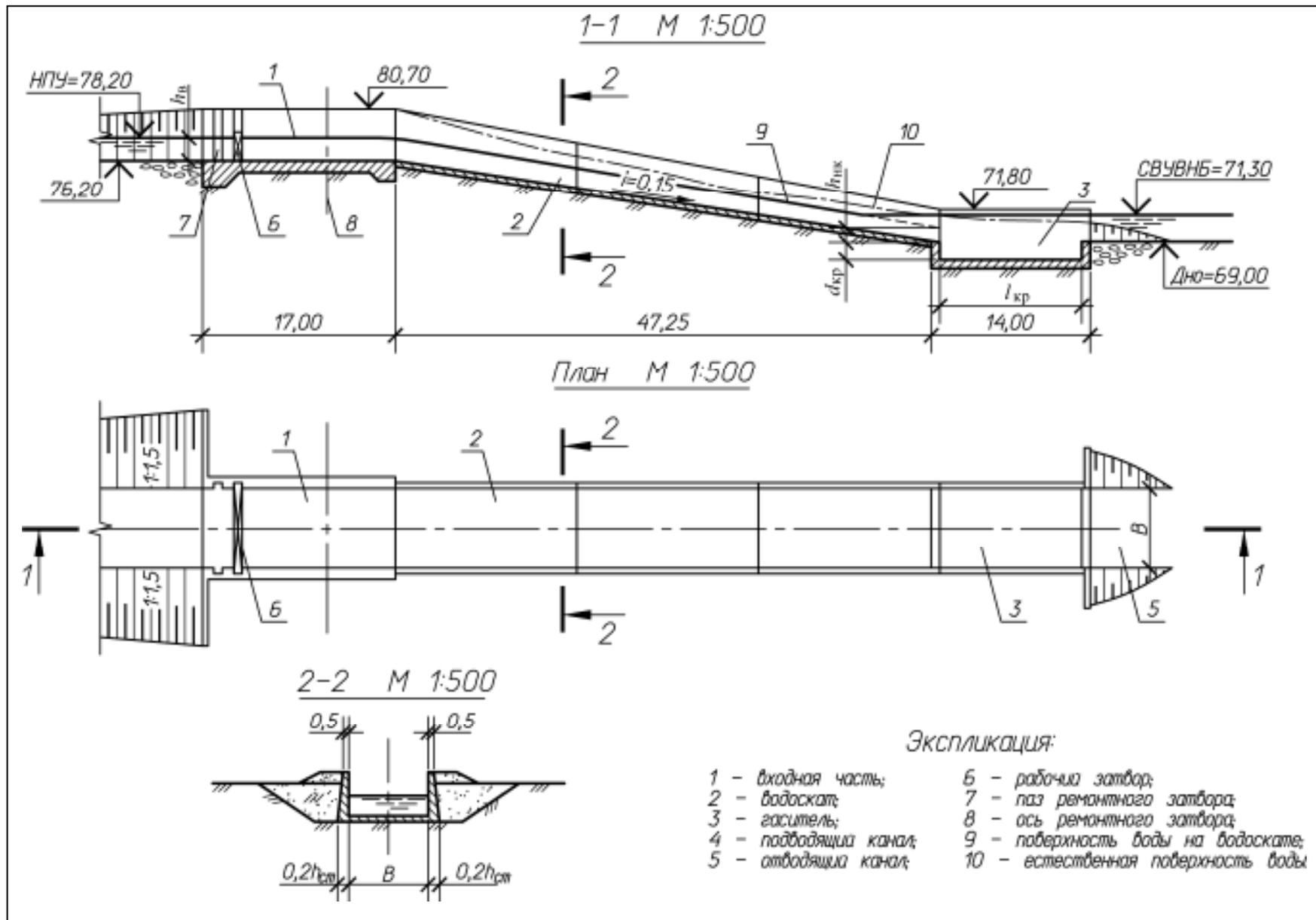


Рис. 5.2. Водосброс типа быстроток с затворами (размеры в м)

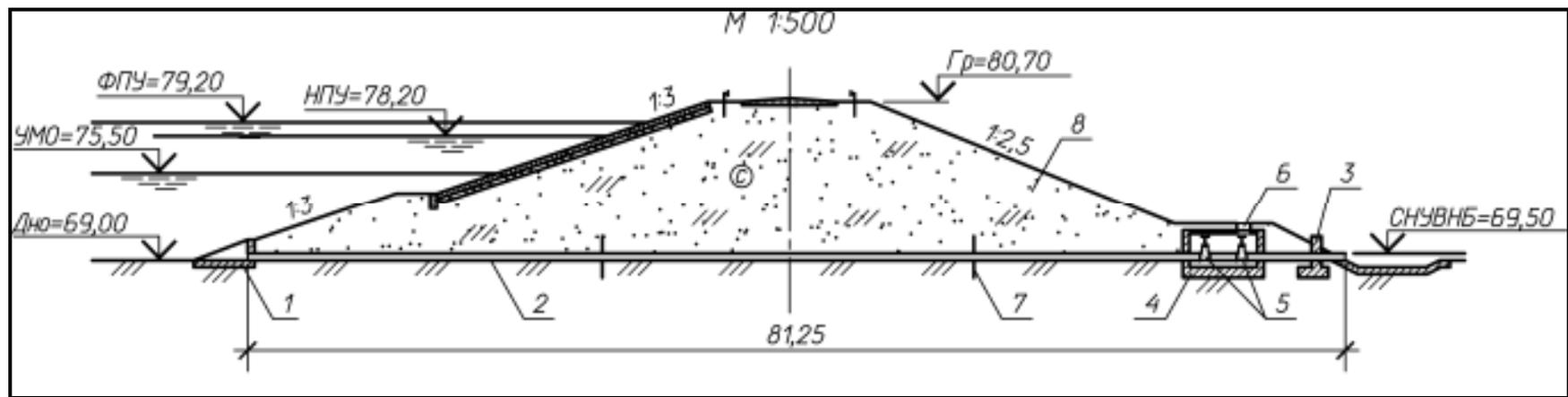


Рис. 5.3. Схема донного трубчатого водоспуска (размеры в м):

1 – входной оголовок водоспуска; 2 – стальной трубопровод; 3 – выходной оголовок; 4 – железобетонный колодец; 5 – задвижки; 6 – люк; 7 – стальная противофильтрационная диафрагма; 8 – тело плотины

где  $\mu = 0,6-0,7$  – коэффициент расхода;  $H_{\phi} = \text{ФПУ–СВУВНБ}$ ; СВУВНБ – самый высокий уровень нижнего бьефа, который определяется по кривой расходов рис. 3.1 при  $Q_{\text{макс}}$ .

Для определения числа труб нужно задаться стандартным диаметром одной трубы  $d_{\text{тр}} \leq 2$  м [3] и вычислить площадь сечения одной трубы  $\omega_1$ . Тогда число труб будет

$$n_{\text{тр}} = \frac{\omega_{\text{тр}}}{\omega_1}, \quad (5.3)$$

Площадь отверстия водоспуска может быть принята как:

$$\omega_{\text{сп}} = \frac{Q_{\text{сп}}}{\mu \sqrt{2gH_M}}, \text{ м}^2, \quad (5.4)$$

где  $H_M = \text{УМО–СНУВНБ}$ .

Форма этого отверстия может быть квадратной или прямоугольной. Уточнение площади отверстия водоспуска производится по времени опорожнения водохранилища, которое в данной работе не определяется.

После расчета гасителя энергии воды (см. ниже) производится конструирование водосброса. В результате этой работы необходимо составить схему водосброса в виде его разрезов (рис. 5.1).

## 5.2. Гидравлический расчет быстротока и трубчатого водоспуска

В данном водосбросе (рис. 5.2) выделяется входная часть (водослив), наклонная часть (водоскат) и выходная часть (гаситель энергии потока).

Ширину быстротока следует принять постоянной и определять по формуле [8]:

$$B = \frac{Q_{\text{макс}}}{m \sqrt{2gh_b^{3/2}}}, \text{ м}, \quad (5.5)$$

где  $m$  – коэффициент расхода [8];  $h_b$  – напор на пороге водослива;  $h_b = 2 \dots 4$  м для водослива с затворами,  $h_b = \text{ФПУ–НПУ}$  для водослива без затворов.

Глубина воды в конце водоската может быть вычислена по приближенной формуле:

$$h_{\text{НК}} = \left[ \frac{Q_{\text{макс}} n_b}{B \sqrt{i_b}} \right]^{0,6}, \text{ м}, \quad (5.6)$$

где  $n_b = 0,01 \dots 0,02$  – шероховатость бетонной поверхности;  $i_b$  – уклон водоската (пункт 13 задания).

После расчета гасителя энергии воды (см. ниже) следует разработать конструкцию быстротока. Результатом должна стать схема водосброса в виде его разрезов (рис. 5.2).

Для пропуска санитарных расходов и опорожнения водохранилища необходим отдельно расположенный водоспуск. Наиболее целесообразно применение трубчатого водоспуска (5.3). Площадь живого сечения труб водоспуска можно определить по формуле (5.4)

$$\omega_{\text{СП}} = \frac{Q_{\text{СП}}}{\mu \sqrt{2gH_M}}.$$

Число труб водоспуска при диаметре одной трубы  $d_{\text{СП}} \leq 0,3$  м рассчитывается по зависимости:

$$n_{\text{од}} = \frac{\omega_{\text{нр}}}{\omega_1},$$

где  $\omega_1$  – площадь сечения одной трубы при  $d_{\text{СП}}$ .

Конструирование водоспуска показано на рис. 5.3.

### 5.3. Расчет гасителя энергии потока воды

Избыточная кинетическая энергия потока воды за водосбросами должна быть уменьшена до пределов, при которых невозможно размывание грунтов основания. Это осуществляется с помощью специального элемента водосброса – гасителя, одним из которых является водобойный колодец.

Его длина может быть определена по формуле [8]:

$$l_{\text{кр}} = 6 \frac{\omega_{\text{пот}}}{B} \left( \sqrt{1 + \frac{8,6H_{\phi}}{\omega/B}} - 1 \right), \text{ м}, \quad (42)$$

где  $\omega_{\text{пот}}$  – площадь живого сечения потока при входе в гаситель; в случае ба-  
шенного водосброса  $\omega_{\text{пот}} \approx \omega_{\text{тр}}$ ; для быстроточка  $\omega_{\text{пот}} = Bh_{\text{нк}}$ , где  $B$  – ширина га-  
сителя (рис. 5.1 и 5.2).

Глубина водобойного колодца вычисляется по уравнению:

$$d_{\text{кр}} = 1,2 \left( \frac{\omega_{\text{пот}}}{B} \sqrt{1 + \frac{8,6H_{\phi}}{\omega_{\text{пот}}/B}} - h_{\text{нб}} \right), \text{ м}, \quad (43)$$

где  $h_{\text{нб}} = \text{СВУВНБ} - \text{ДНО}$ .

Если определенная по формуле (43) глубина  $d_{\text{кр}} < 0$ , то она принимается  
равной нулю.

В пределах водобойного колодца дно и борта отводящего канала укреп-  
ляются неразмываемым материалов – бетоном, каменной наброской.

## 6. КОМПОНОВКА ГИДРОУЗЛА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

Речным гидроузлом называют комплекс гидротехнических сооружений, расположенных на одной реке и объединенных условиями совместного использования водных ресурсов. Таким образом, сооружения пруда образуют гидроузел. Взаимное расположение этих сооружений называют компоновкой гидроузла. Примеры компоновок показаны на рис. 6.1 и рис. 6.2.

Компоновка гидроузла зависит не только от состава и конструкций гидротехнических сооружений, но и от способа пропуска воды реки в период сооружения пруда.

Можно рекомендовать следующие способы.

Если в состав сооружений гидроузла (рис. 6.1) входит башенный водосброс, совмещенный с водоспуском, то строительство гидроузла ведется следующим образом:

– в первую очередь возводится водосброс и пойменные участки плотины; вода реки в этот период проходит по руслу реки;

– во вторую очередь производится перекрытие (перегораживание) русла реки каменным банкетом; воды реки направляется в отверстие водоспуска и сооружается русловая часть плотины; по окончании возведения русловой части отверстие водоспуска закрывается затвором и происходит наполнение пруда.

Если в состав сооружений гидроузла (рис. 6.2) входит быстроток, то последовательность строительства обычно такова:

– в первую очередь сооружается трубчатый водоспуск, расположенный в пойменной части долины реки, одновременно возводится водосброс и пойменные участки плотины; вода в это время проходит по руслу;

– во вторую очередь, после готовности водоспуска, производится перекрытие русла реки каменным банкетом, вода направляется по трубам водоспуска и сооружается русловая часть плотины; после постройки русловой части плотины закрываются задвижки водоспуска и происходит наполнение пруда.

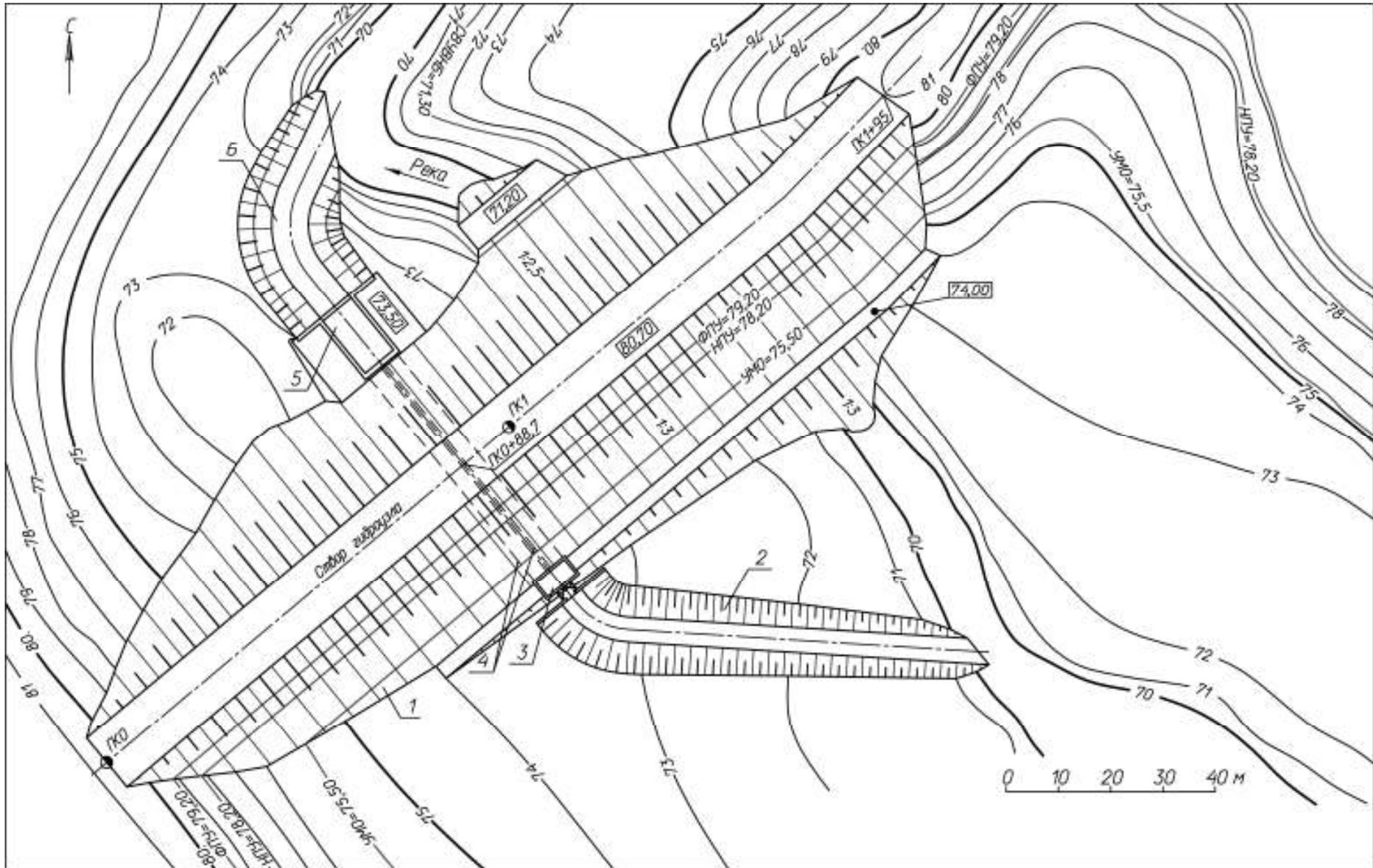


Рис. 6.1. Компонровка гидроузла с башенным водосбросом, совмещенным с водоспуском: 1 – плотина; 2 – подводящий канал водосброса; 3 – башня водосброса; 4 – отводящие трубы водосброса; 5 – гаситель энергии воды; 6 – отводящий канал водосброса



**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Васильев, Ю. С. Использование водоемов и рек в целях рекреации /Ю. С. Васильев, В. А. Кукушкин. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 229 с.: ил.
2. Гидротехнические сооружения/ Под общ. ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с. (Справочник проектировщика).
3. ГОСТ 6482-88. Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия.
4. СНиП 2.06.04-82\*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
5. СНиП 2.06.05-84\*. Плотины из грунтовых материалов.
6. СНиП 2.07.01-89\*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений
7. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
8. Справочник по гидравлическим расчетам/ Под ред. П. Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
9. Янченко, А. В. Определение отметки гребня плотины из грунтовых материалов[Текст]/ А. В. Янченко. – Горький: ГИСИ, 1982. – 13 с. (Рукопись).

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
**КАФЕДРА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**ЗАДАНИЕ № \_\_\_\_\_**

на выполнение самостоятельной практической работы  
по дисциплине «Городская гидротехника»  
студенту \_\_\_\_\_ курса, группы \_\_\_\_\_ ИАГ

Тема практической работы

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРУДА В ЛЕСОПАРКОВОЙ ЗОНЕ ГОРОДА****ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:**

1. Среднемноголетний расход воды реки  $Q_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  м<sup>3</sup>/с.
2. Модульный коэффициент расчетной обеспеченности  $K_{\text{расч}} = \underline{\hspace{2cm}}$ .
3. Количество населения вблизи лесопарковой зоны  $N_{\text{нас}} = \underline{\hspace{2cm}}$  чел.
4. Санитарный расход попуска в нижний бьеф  $Q_{\text{сп}} = \underline{\hspace{2cm}}$  м<sup>3</sup>/с.
5. Слой дополнительного испарения за безледоставный период  $z = \underline{\hspace{2cm}}$  м.
6. Относительные потери на фильтрацию  $\Phi = \underline{\hspace{2cm}}$  %.
7. Расчетная скорость ветра  $v_w = \underline{\hspace{2cm}}$  м/с.
8. Длина пруда по направлению ветра  $L = \underline{\hspace{2cm}}$  км.
9. Максимальный расход воды реки  $Q_{\text{макс}} = \underline{\hspace{2cm}}$  м<sup>3</sup>/с.
10. Грунт тела плотины \_\_\_\_\_, водопроницаемый слой основания плотины \_\_\_\_\_ мощностью  $T = \underline{\hspace{2cm}}$  м, водоупор \_\_\_\_\_.
11. Характеристики грунтов тела и основания плотины:

Элемент	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Пористость, %	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, т/м <sup>2</sup>	Коэффициент фильтрации, м/сутки
Тело и водопроницаемый слой					
Водоупор					

12. Тип грунтовой плотины \_\_\_\_\_
13. Тип водосброса \_\_\_\_\_ и уклон (для быстротока) \_\_\_\_\_
14. Морфометрические характеристики пруда, кривая расходов и топографический план даются на отдельном листе.

**ТРЕБУЕТСЯ:**

оценить рекреационную емкость пруда, выполнить гидрологические расчеты, определить параметры пруда, запроектировать плотину и водопропускные сооружения, составить компоновку гидроузла.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Руководитель \_\_\_\_\_

Февралёв Аркадий Валентинович  
Сидоров Николай Павлович

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРУДА В ЛЕСОПАРКОВОЙ ЗОНЕ ГОРОДА**

Методические указания

для выполнения самостоятельной практической работы  
по дисциплине «Городская гидротехника» для студентов направления  
270100 Строительство с профилем специальных дисциплин  
«Городское строительство и хозяйство»

Подписано к печати \_\_\_\_\_. Бумага газетная. Формат 60×90 1/16  
Печать трафаретная. Уч. печ. л. 2,1. Усл. печ. л. 2,3 Тираж 200 экз. Заказ №\_\_\_\_\_

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет.  
Н. Новгород, ул. Ильинская. 65.  
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н. Новгород, ул. Ильинская, 65.