



Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
имени адмирала С. О. МАКАРОВА**

ИНСТИТУТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Кафедра гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Учебно-методическое пособие

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Санкт-Петербург

Издательство ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова

2015

ББК 38.77

УДК 626/627

Г46

Гидротехнические сооружения общего назначения: учебно-методическое пособие / Сост. Г. Г. Рябов, Р. С. Смирнов, Т. Ю. Никитина, Т. Ю. Нычик — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — 88 с.

Содержит теоретические сведения по дисциплине «Гидротехнические сооружения общего назначения», а также указания для выполнения практических работ и предназначено для студентов, обучающихся по направлению 270800.62 «Строительство» (профиль 08.03.01 «Гидротехническое строительство»).

Рекомендовано к изданию на заседании кафедры портов и грузовых терминалов. Протокол № 5 от 28 января 2015 г.

Рецензенты:

Смирнов В. Н., канд. техн. наук, доц., зав. каф. портов, строительного производства, оснований и фундаментов (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова).

Колосов М. А., д-р техн. наук, проф. каф. гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова).

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

© ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2015

© Рябов Г. Г., Смирнов Р. С., Никитина Т. Ю., Нычик Т. Ю., 2015

Оглавление

| | |
|--|-----------|
| Введение..... | 5 |
| Практическая работа № 1. ВОДОСЛИВНОЙ ФРОНТ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ..... | 7 |
| Последовательность определения ширины водосливного фронта плотины..... | 7 |
| Быки и устои..... | 10 |
| Практическая работа № 2. СОПРЯЖЕНИЕ БЬЕФОВ..... | 13 |
| Донный режим сопряжения бьефов (для плотин на нескальном основании)..... | 13 |
| Последовательность расчета донного режима сопряжения бьефов..... | 17 |
| Режим сопряжения бьефов с отбросом струи (для плотин на скальном основании)..... | 19 |
| Практическая работа № 3. ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ БЕТОННОЙ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ..... | 24 |
| Поперечное сечение плотины на нескальном основании..... | 24 |
| Поперечное сечение плотины на скальном основании..... | 32 |
| Практическая работа № 4. ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОЧНОСТИ БЕТОННЫХ ВОДОСЛИВНЫХ ПЛОТИН..... | 35 |
| Определение сил, действующих на секцию плотины..... | 35 |
| Проверка прочности бетонной плотины..... | 43 |
| Практическая работа № 5. ГРУНТОВЫЕ ПЛОТИНЫ..... | 46 |
| Однородная грунтовая плотина..... | 46 |
| Плотина с ядром..... | 49 |
| Фильтрационный расчет грунтовых плотин..... | 51 |
| Практическая работа № 6. ЗАТВОРЫ БЕТОННЫХ ПЛОТИН..... | 57 |
| Определение положения ригелей..... | 60 |
| Конструирование ригеля..... | 61 |
| Конструирование стрингера..... | 61 |
| Определение мощности привода затвора..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Приложение А. Задание на выполнение практических работ..... | 64 |
| Приложение Б. Инструкция по определению центра тяжести сложных фигур в среде AUTOCAD 2012..... | 72 |
| Приложение В. Типовые схемы узлов уплотнений и опорно-ходовых частей плоских затворов..... | 74 |
| Приложение Г. Перечень вопросов к защите практических работ | 81 |
| Библиографический список | 87 |

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Введение

Учебно-методическое пособие предназначено для более глубокого изучения дисциплины «Гидротехнические сооружения общего назначения». В процессе освоения курса важное место занимает практическое ознакомление с устройством отдельных сооружений: бетонных и грунтовых плотин, оборудования гидротехнических сооружений (ГТС) общего назначения. Особое внимание уделяется определению нагрузок на сооружения, проверке их устойчивости, прочности, а также фильтрационному режиму грунтовых вод.

Пособие построено таким образом, чтобы освоение дисциплины «Гидротехнические сооружения общего назначения» стало максимально эффективным. В первой практической работе рассмотрены вопросы расчета ширины водосливного фронта плотины как элемента гидроузла в зависимости от грунтов основания. По ходу выполнения работы студенты определяют предварительные размеры бычков и устоев, ширину и количество водосливных пролетов, а также осуществляют разбивку водосливного фронта на секции устройством температурно-осадочных швов.

Вторая практическая работа посвящена построению гидравлического профиля водосливной плотины, при этом рассматривается два варианта: для плотин на скальном основании — с донным режимом сопряжения бьефов, на скальном — с отбросом струи.

Построенный гидравлический профиль тела водосливной плотины является основанием для конструирования основных элементов сооружения, пояснения к которому представлены в третьей практической работе. Здесь подробно рассматриваются вопросы конструирования таких элементов, как понур, водобой, рисберма, флютбет плотины, потерны, дренаж и др.

Окончательный профиль водосливной плотины определяется путем выполнения статических расчетов прочности и устойчивости сооружения, пояснения к которым представлены в четвертой практической работе. Основными вопросами статической работы сооружения являются фильтрация, устойчивость на плоский сдвиг, фильтрационная прочность и прочность тела и основания сооружения на сжатие.

Пятая работа посвящена построению профиля грунтовой плотины, при этом рассматриваются варианты, как при наличии противофильтрационных элементов, так и при их отсутствии. После построения предварительного профиля тела сооружения выполняется расчет по определению положения кривой депрессии.

В шестой работе студенты знакомятся с особенностями проектирования плоского стального затвора, при этом рассматриваются, как вопросы конструирования, так и статических расчетов. По завершению работы выполняется расчет мощности привода затвора, исходя из необходимого подъемного усилия.

В пособии представлены четыре приложения, в том числе задание на выполнение практических работ, инструкция по определению центра тяжести сложных фигур в среде AutoCAD, типовые схемы опор и уплотнений плоских затворов, а также контрольные вопросы к защите практических работ.

Пособие составлено с использованием актуальной нормативной и научно-технической литературы, представленной в библиографическом списке.

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Практическая работа № 1. ВОДОСЛИВНОЙ ФРОНТ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ

Плотина — это гидротехническое сооружение, перегораживающее русло реки и создающее в ней подпор воды, в результате которого в верхнем бьефе образуется емкость воды — водохранилище. Из водохранилища вода используется для удовлетворения потребностей различных отраслей экономики страны: энергетики, судоходства, водоснабжения населения и предприятий, орошения сельскохозяйственных земель и др. *Бетонные плотины* бывают *глухими*, если они не пропускают воду в нижний бьеф и предназначены только для поддержания подпора, и *водосбросными*. Наиболее распространенной конструкцией водосбросных плотин являются плотины с поверхностными водосливами (водосливные). Они могут возводиться без затворов и с затворами, располагаемыми на их гребнях. Водосливные плотины без затворов сбрасывают воду в нижний бьеф при превышении уровня верхнего бьефа над гребнем плотины. Водосливные плотины с затворами позволяют регулировать уровень верхнего бьефа и расход сбрасываемой в нижний бьеф воды. Эти плотины получили наибольшее распространение, они и рассматриваются в настоящем учебно-методическом пособии.

Водосливным фронтом плотины называется часть общей ее длины, на которой расположены водосливные отверстия. В состав водосливного фронта входят водосливные пролетыбыки для размещения затворов; затворы, перекрывающие водосливные пролеты; температурно-осадочные швы, разделяющие плотину на несколько оснований на отдельные секции (температурные швы у плотин на скальном основании); устои плотины, примыкающие к другим сооружениям гидроузла или к берегу.

Последовательность определения ширины водосливного фронта плотины

Ширина водосливного фронта плотины в соответствии со СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения»

должна определяться для основного и поверочного расчетных случаев пропуска паводка. В рамках практической работы рассматривается пропуск воды для основного расчетного случая.

Сжатая ширина водосливного фронта будет определяться по следующей зависимости:

$$b_{\text{сж}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{q_{\text{гр}}},$$

где $Q_{\text{расч}}$ — расчетный расход воды, подлежащий пропуску в процессе эксплуатации при нормальном подпорном уровне (НПУ) через все эксплуатационные водопропускные сооружения гидроузла при полном их открытии, м³/с; $q_{\text{гр}}$ — удельный расход воды, проходящий через гребень плотины и приходящийся на 1 м длины водосливного фронта (на один логонный метр).

Удельным расходом воды необходимо задаваться на основании данных практики:

- при нескальных основаниях: от 10 до 30 м²/с;
- при скальных основаниях: от 50 до 70 м²/с.

Общая ширина водосливного фронта в свету $b_{\text{св}}$ определяется по формуле

$$b_{\text{св}} = b_{\text{сж}} + \xi n \left(\frac{H_0}{H_0 + b_{\text{сж}}} \right) b_{\text{сж}},$$

где ξ — коэффициент, учитывающий сжатие потока между быками и зависящий от их формы на входе потока в водосливное отверстие (рис. 1.1); n — число водосливных отверстий, принимаемое в зависимости от величины $b_{\text{сж}}$ и ширины пролета $b_{\text{пр}}$:

$$n = \frac{b_{\text{сж}}}{b_{\text{пр}}}.$$

Здесь ширина пролета $b_{\text{пр}}$ принимается в зависимости от величины расхода $Q_{\text{расч}}$ (табл. 1.1).

H_0 — напор на гребне водослива:

$$H_0 = \sqrt[3]{\left(\frac{q_{\text{гр}}}{\sigma_n m \sqrt{2g}} \right)^2},$$

где σ_n — коэффициент подтопления водослива (при истечении в атмосферу $\sigma = 1,00$); m — коэффициент расхода, зависящий от формы водослива; для без-

вакуумного профиля $m = 0,48 \dots 0,49$; для вакуумного профиля $m = 0,54 \dots 0,56$.
 В практической работе рекомендуется принять безвакуумный профиль.

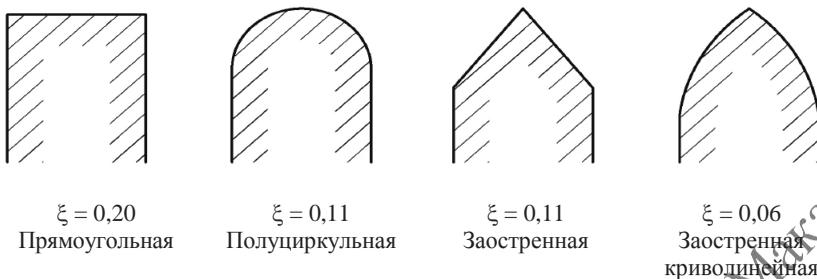


Рис. 1.1. Формы быков в плане и значения коэффициентов ξ .

Таблица 1.1

Рекомендуемые значения ширины пролета водосливных плотин в зависимости от расчетного расхода воды

| $Q_{\text{расч}}$, м ³ /с | $b_{\text{пр}}$, м |
|---------------------------------------|---------------------|
| 4000 | 8 |
| 5000 | 10 |
| 6000 | 12 |
| 7000 | 14 |
| 8000 | 16 |
| 9000 | 18 |
| 10000 | 20 |
| 11000 | 22 |
| 12000 | 24 |
| 13000 | 26 |
| 14000 | 28 |
| 15000 | 30 |

Примечание. При расчетных расходах $Q_{\text{расч}}$, отличных от табличных значений, необходимо принимать ближайшую табличную величину ширины пролета $b_{\text{сж}}$.

Достаточность числа пролетов следует проверить по величине разности $b_{\text{св}}$ и $b_{\text{сж}}$:

при $b_{\text{св}} - b_{\text{сж}} \leq 0,5b$ — число пролетов можно оставить равным принятому значению n ;

при $b_{\text{св}} - b_{\text{сж}} > 0,5b$ — следует к числу n добавить еще один пролет.

Если число пролетов окажется более пяти, необходимо к окончательно

принятому числу пролетов добавить еще один на случай вероятной невозможности открытия одного из затворов.

Быки и устои

Определяется толщина быков в зависимости от принятой ширины пролета $b_{\text{пр}}$.

Неразрезные быки: $b_{\text{нр}} \cong 0,2b_{\text{пр}};$

$$2 \leq b_{\text{нр}} \leq 3, \text{ м.}$$

Разрезные быки: $b_{\text{р}} \cong b_{\text{нр}} + (2 \dots 3), \text{ м};$

$$4 \leq b_{\text{р}} \leq 6, \text{ м.}$$

Устои: $b_{\text{у}} \cong 0,5b_{\text{пр}}$.

Неразрезные быки — монолитные бетонные (железобетонные) конструкции, не имеющие температурно-осадочных швов (ТОШ). Разрезные быки имеют ТОШ, разделяющие плотины на нескальных основаниях на отдельные секции длиной 20 – 50 м.

Плотины на скальных основаниях имеют температурные швы, чаще всего устраиваемые по границе быка и пролета; следовательно, все быки у таких плотин неразрезные. В этом случае длина секции плотины на скальном основании

$$l_{\text{с}} = b_{\text{нр}}$$

а ширина водосливного фронта плотины определяется по формуле

$$B_{\text{фр}} = b_{\text{нр}} \cdot n + b_{\text{нр}} \cdot (n+1).$$

Длина секций плотины на нескальном основании зависит от числа пролетов в секции и определяется по формуле

$$l_{\text{с}} = b_{\text{нр}} \cdot n_{\text{с}} + b_{\text{нр}} \cdot n_{\text{нрс}} + b_{\text{р}}, \text{ м,}$$

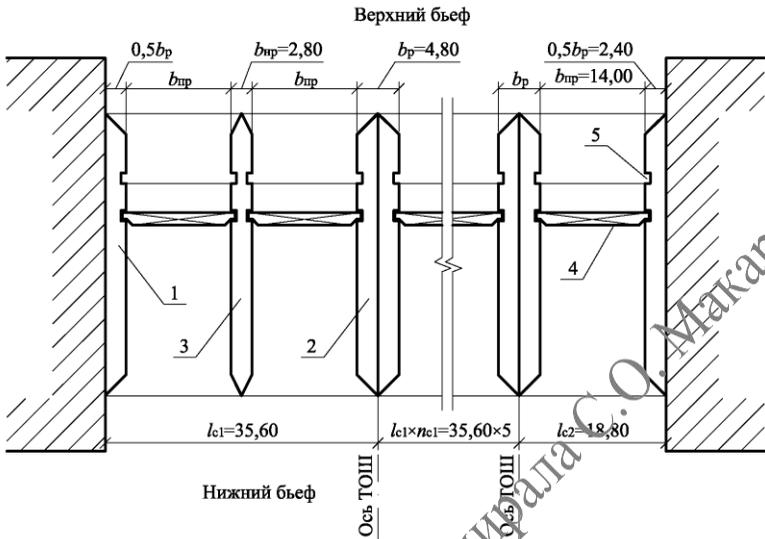
где $n_{\text{с}}$ — число пролетов в секции (определяется подбором таким образом, чтобы длина секции не выходила за рамки допустимой $20 \leq l_{\text{с}} \leq 50, \text{ м}$); $n_{\text{нрс}}$ — число неразрезных быков в секции, $n_{\text{нрс}} = n_{\text{с}} - 1$.

В случае если количество пролетов в одной секции $n_{\text{с}}$ не кратно общему числу пролетов n , необходимо включить в состав водосливного фронта плотины одну нестандартную секцию, как это представлено на рис. 1.2.

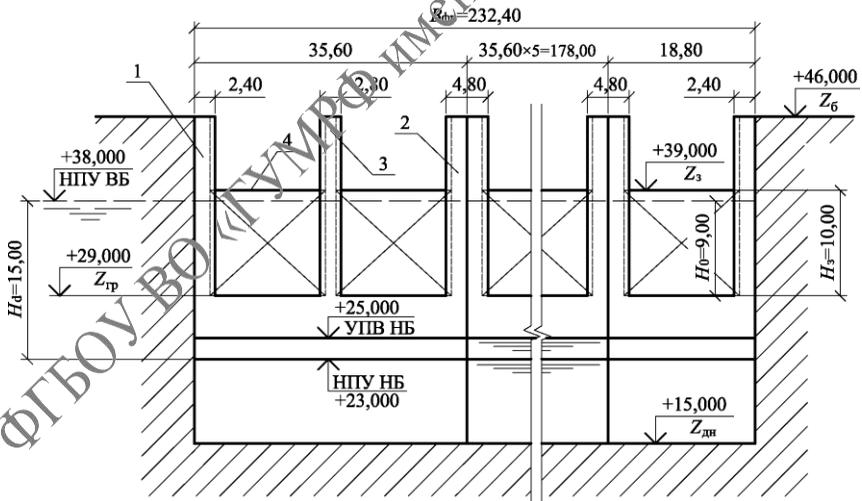
Ширина водосливного фронта плотины на нескальном основании определяется по зависимости (рис. 1.2):

$$B_{\text{фр}} = l_{\text{с1}} n_{\text{с1}} + l_{\text{с2}},$$

План (1:500)



Вид со стороны нижнего бьефа (1:500)



Примечание: размеры указаны в метрах.

Рис. 1.2. Водосливной фронт бетонной плотины на нескальном основании: 1 — устой; 2 — разрезной бычок; 3 — неразрезной бычок; 4 — затвор; 5 — паз ремонтного затвора

где l_{c1} — длина стандартной секции плотины; n_{c1} — число стандартных секций; l_{c2} — длина нестандартной секции плотины.

Отметка гребня плотины определяется по известному напору на гребне плотины¹:

$$Z_{гр} = \text{НПУ ВБ} - H_0.$$

Водосливные пролеты плотины перекрываются затворами. Высота затвора принимается с учетом запаса на ветровую волну в верхнем бьефе:

$$H_3 = H_0 + (1 \dots 2), \text{ м},$$

тогда отметка верха затвора Z_3 равна

$$Z_3 = Z_{гр} + H_3.$$

Возвышение быков над НПУ ВБ должно быть достаточным для подъема затворов на заданную высоту при пропуске расхода q_p , приближенно его можно принять равным:

$$H_6 \cong (0,7 \dots 1)H_3,$$

тогда отметка верха быков Z_6 будет равна

$$Z_6 = \text{НПУ ВБ} + H_6.$$

В завершении практической работы определяется удельный расход воды на рисберме плотины при растекании потока по всей длине водосливного фронта плотины:

$$q_p = \frac{Q}{B_{фр}}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

¹ Окончательно принимаемые габариты сооружения и его элементов необходимо округлять до десятых в сторону обеспечения запаса.

Практическая работа № 2. СОПРЯЖЕНИЕ БЬЕФОВ

Сопряжением бьефов называется режим слияния ниспадающего с водослива потока воды с нижним бьефом.

В зависимости от напора, расхода воды и грунтов основания различают следующие виды сопряжения бьефов:

- *донный*, при котором наибольшие скорости движения воды в нижнем бьефе наблюдаются у дна реки;
- *поверхностный*, при котором наибольшие скорости движения воды в нижнем бьефе наблюдаются у поверхности воды; при этом на конце водослива устраивается низкий уступ; поверхностный режим используется для сброса льда в нижний бьеф;
- *режим с отбросом струи* от плотины, для чего на конце водослива устраивается высокий уступ (носок);
- *режим свободно падающей с водослива струи*; применяется у плотин среднего и большого напора на скальном основании, у которых имеются как поверхностные, так и глубинные водосбросы.

В практической работе № 2 рассматриваются режимы сопряжения донный и с отбросом струй от плотины.

Донный режим сопряжения бьефов (для плотин на нескальном основании)

Донный режим сопряжения бьефов, в зависимости от грунтов основания, применяется в широком диапазоне напоров воды на сооружение, однако в учебных целях в практической работе донный режим рассматривается только для плотин на нескальном основании.

В начале выполняется построение очертания безвакуумного водослива по координатам Кригера-Офицерова (табл. 2.1), значения которых приведены для напора на гребне плотины, равном $H_0 = 1,00$ м. Для определения координат водосливной грани плотины при заданных условиях табличные значения координат x и y необходимо перемножить на действительное зна-

чение H_0 . Построение следует выполнить от отметки гребня плотины $Z_{гр}$ до отметки дна реки $Z_{дн}$ (рис. 2.1).

Таблица 2.1

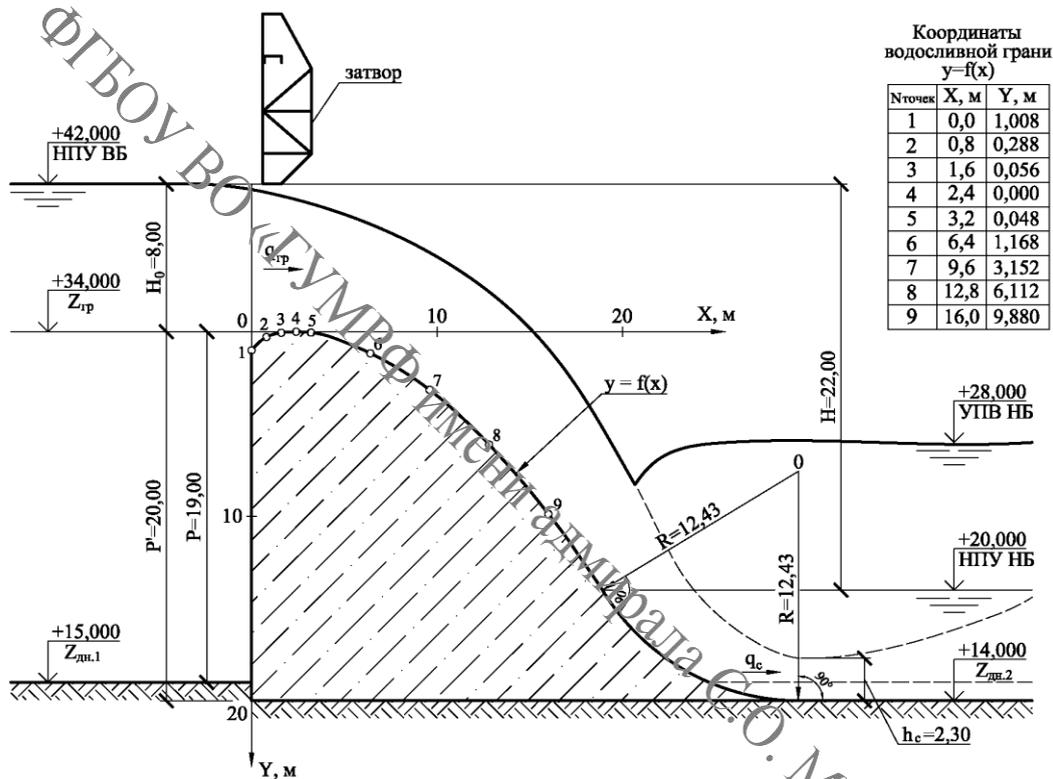
Значения координат x и y водосливной грани плотины (по Кригеру-Офицерову) при $H_0 = 1,00$ м

| x , м | y , м | x , м | y , м | x , м | y , м |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0,0 | 0,126 | 1,4 | 0,564 | 2,8 | 2,462 |
| 0,1 | 0,036 | 1,5 | 0,661 | 2,9 | 2,640 |
| 0,2 | 0,007 | 1,6 | 0,764 | 3,0 | 2,824 |
| 0,3 | 0,000 | 1,7 | 0,873 | 3,1 | 3,013 |
| 0,4 | 0,006 | 1,8 | 0,987 | 3,2 | 3,207 |
| 0,5 | 0,027 | 1,9 | 1,108 | 3,3 | 3,405 |
| 0,6 | 0,060 | 2,0 | 1,235 | 3,4 | 3,609 |
| 0,7 | 0,100 | 2,1 | 1,369 | 3,5 | 3,818 |
| 0,8 | 0,146 | 2,2 | 1,508 | 3,6 | 4,031 |
| 0,9 | 0,198 | 2,3 | 1,653 | 3,7 | 4,249 |
| 1,0 | 0,256 | 2,4 | 1,804 | 3,8 | 4,471 |
| 1,1 | 0,321 | 2,5 | 1,960 | 3,9 | 4,698 |
| 1,2 | 0,394 | 2,6 | 2,122 | 4,0 | 4,930 |
| 1,3 | 0,475 | 2,7 | 2,289 | 4,5 | 6,220 |

Сопряжение сливной части плотины с дном реки выполняется по дуге окружности радиусом R , принимаемым по табл. 2.2 в зависимости от напора на гребне H_0 и высоты плотины P :

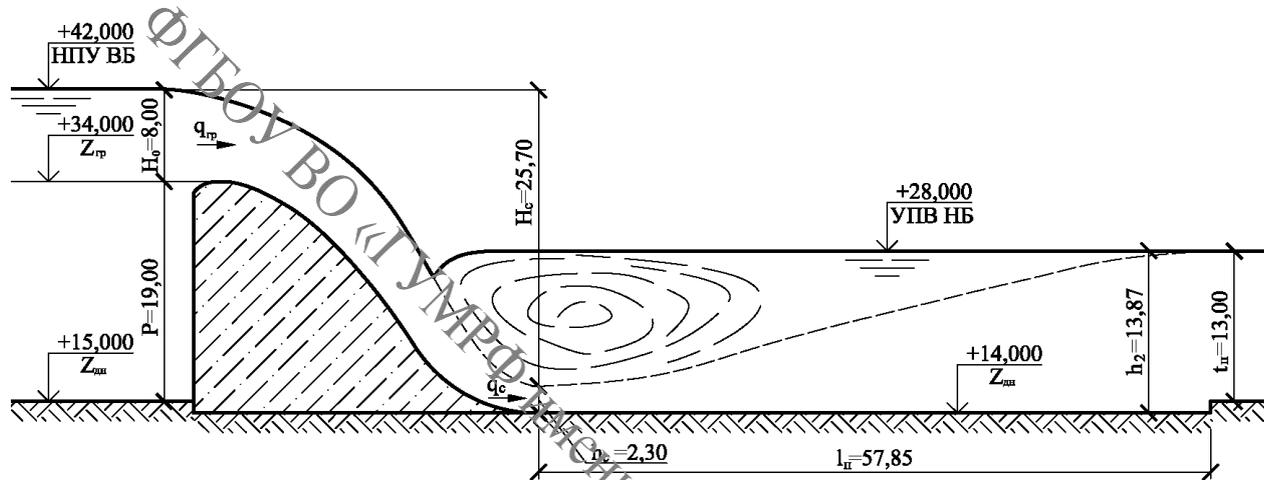
$$P = Z_{гр} - Z_{дн}$$

Донный режим сопряжения характеризуется гидравлическим прыжком, при котором поток переходит из бурного состояния в спокойное (рис. 2.2). В зависимости от глубины в нижнем бьефе, гидравлический прыжок может быть отогнанным или затопленным. При затопленном прыжке, скорости течения в нижнем бьефе за плотиной меньше, что уменьшает вероятность размыва дна.



Примечание: размеры указаны в метрах.

Рис. 2.1. Гидравлический профиль водосливной плотины с донным режимом сопряжения бьефов



Примечание: все размеры указаны в метрах.

Рис. 2.2. Донный режим сопряжения бьефов с устройством водобойного колодца

Таблица 2.2

Значения радиуса R сопряжения водослива с дном реки (или водобоем) в зависимости от напора на гребне водослива H_0 и высоты водослива P

| $H_0, \text{ м}$ | $P, \text{ м}$ | | | | | |
|------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10,00 | 20,00 | 30,00 | 40,00 | 50,00 | 60,00 |
| 1,00 | 3,0 | 4,0 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 |
| 2,00 | 4,2 | 6,0 | 7,5 | 8,4 | 8,8 | 8,9 |
| 3,00 | 5,4 | 7,8 | 9,7 | 11,0 | 12,2 | 13,0 |
| 4,00 | 6,5 | 8,9 | 11,0 | 13,0 | 14,5 | 15,5 |
| 5,00 | 7,5 | 10,0 | 12,4 | 14,5 | 16,5 | 18,0 |
| 6,00 | 8,5 | 11,0 | 13,5 | 15,8 | 18,0 | 20,0 |
| 7,00 | 9,6 | 12,2 | 14,7 | 17,0 | 19,2 | 21,2 |
| 8,00 | 10,6 | 13,3 | 15,8 | 18,0 | 20,3 | 22,2 |
| 9,00 | 11,6 | 14,3 | 16,8 | 19,0 | 21,3 | 23,2 |

Примечание. Офицеров С. Я. рекомендует с учетом этой таблицы принимать R : для плотин на *нескальном* основании $R = (0,50 \dots 1,00) (H + H_0)$; для плотин на *скальном* основании $R = (0,25 \dots 0,50) (H + H_0)$, здесь H — напор на плотину, $H = \text{НПУ ВБ} - \text{НПУ НБ}$.

Последовательность расчета донного режима сопряжения бьефов

Определяется глубина в сжатом сечении потока h_c при сходе с водослива, м:

$$h_c = \frac{q_c}{v_c},$$

где $q_c = q_{гр}$ — расход в сжатом сечении, равный расходу на гребнеплотины; v_c — скорость потока в сжатом сечении, м/с, определяемая по формуле

$$v_c = \varphi_c \sqrt{2g(H_0 + P - h_c/2)},$$

здесь $\varphi_c = 0,95$ — скоростной коэффициент.

Таким образом,

$$h_c = \frac{q_c}{\varphi_c \sqrt{2g(H_0 + P - h_c/2)}}. \quad (2.1)$$

Так как h_c входит в левую и правую части формулы (2.1), то ее определение необходимо выполнять методом последовательных приближений. Полагая в первом приближении $h_c = 0$ в правой части формулы (2.1), опреде-

ляется первое приближение значения h_c , которое снова подставляется в правую часть этой же формулы и т. д. Для получения с необходимой точностью h_c обычно достаточно двух-трех приближений. Расчеты необходимо выполнять до совпадения величин h_c слева и справа в десятых.

Определяется сопряженная глубина h_2 из уравнения гидравлического прыжка:

$$h_2 = \frac{h_c}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q_c^2}{g h_c^3}} - 1 \right),$$

где α — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скоростей течения по сечению потока, принимаемый равным 1,05 ... 1,10.

Сопряженная глубина h_2 сравнивается с глубиной t_n в нижнем бьефе при пропуске паводка:

$$t_n = \text{УПВ НБ} - Z_{\text{дн}}.$$

Если $t_n \leq h_2$ — прыжок *отогнанный*. При таком виде сопряжения будут значительные скорости течения в нижнем бьефе, которые могут вызвать размыв дна за сооружением, и тем самым привести к потере устойчивости сооружения. Для получения затопленного прыжка устраивается водобойный колодец глубиной

$$h_{\text{вк}} = h_2 - t_n + a,$$

где a — запас, принимаемый равным 0,5 ... 1,0 м, или на эту же величину понижается отметка дна.

В практической работе № 2 рекомендуется понизить отметку дна, выполнить сопряжение сливной части плотины радиусом R с новым положением дна и повторить расчеты h_c и h_2 при новых значениях P и t_n .

После окончания расчетов выполняется рисунок донного режима сопряжения бьефов, на котором изображается профиль водосливной грани плотины, построенный по координатам Кригера-Офицерова, и гидравлический прыжок длиной $l_n = (5 \dots 6) (h_2 - h_c)$. На рис. 2.1 и 2.2 показан донный режим сопряжения бьефов при понижении отметки дна с +15,00 до +14,00 м.

Определяется допустимый удельный расход воды на рисберме по формуле

$$(q)_{\text{р доп}} = h_{\text{НПУ НБ}} (v)_{\text{р доп}},$$

где $h_{\text{НПУ НБ}}$ — глубина в нижнем бьефе при НПУ НБ:

$$h_{\text{НПУ НБ}} = \text{НПУ НБ} - Z_{\text{дн}}$$

где $Z_{\text{дн}}$ — отметка дна в нижнем бьефе с учетом понижения.

$(v_{\text{р доп}})$ — допустимая скорость течения, зависящая от рода материала, из которого изготовлена рисберма:

- бетонные плиты — 1,5 ... 2,5 м/с;
- железобетонные плиты — 2,5 ... 3,0 м/с;
- камень — 3,0 ... 3,5 м/с.

Удельный расход воды на рисберме $q_{\text{р}}$, определенный в практической работе № 1, сравнивается с $(q)_{\text{р доп}}$:

если $q_{\text{р}} \leq (q)_{\text{р доп}}$, гасители на водобое и рисберме не требуются;

если $q_{\text{р}} > (q)_{\text{р доп}}$, на водобое и рисберме устраиваются пирысы, шашки, зубья, растекатели, носки-расщепители и т. п. [4], [7].

Обычно первый ряд гасителей располагают на расстоянии от сжатого сечения потока, равном $3h_2$. Размеры гасителей подбираются в ходе лабораторных исследований. Приблизительно пирысы и шашки принимаются прямоугольного или трапецеидального сечения с размерами: высота $h = (0,75 \dots 1,0)h_c$, ширина $b = (0,5 \dots 1,0)h$; они располагаются рядами в шахматном порядке в плане.

Режим сопряжения бьефов с отбросом струи (для плотин на скальном основании)

Режим сопряжения бьефов с отбросом струи применяется для плотин среднего и большого напора на скальном основании во избежание размывов основания вблизи плотины и потери ее устойчивости. Вначале выполняется построение очертавания безвакуумного водослива по координатам Кригера-Оффенберга от $Z_{\text{вр}}$ до $Z_{\text{дн}}$ в той же последовательности, как изложено в начале практической работы для донного режима сопряжения бьефов (кривая ABC , рис. 2.3).

Определяется ширина плотины $B_{\text{пл}}$ по основанию по условиям ее прочности $B_{\text{пл}} = (0,7 \dots 0,75)(P + H_0)$; она откладывается на уровне дна от оси у. Если $B_{\text{пл}}$ находится в пределах кривой водослива ABC , то сопряжение носка выполняется с кривой, построенной по координатам Кригера-Оффенберга. В противном случае (как это показано на рис. 2.3), сопряжение носка плотины необходимо выполнять с прямой, проведенной из точки D по касательной к кривой водослива ABC (отрезок BD).

Построение носка выполняется следующим образом. Проводится горизонтальная линия на расстоянии от дна $\left(\frac{1}{8} \dots \frac{1}{5}\right) H$, где H — напор при уровне паводка в нижнем бьефе:

$$H_{\text{н}} = \text{НПУ ВБ} - \text{УПВ НБ}.$$

Сопряжение кривой водослива (или касательной к кривой водослива) выполняется с этой горизонтальной линией радиусом R , принимаемым по табл. 2.2. Перпендикуляр, опущенный из центра окружности O , проходит через нижнюю точку очертания носка (рис. 2.3). Расстояние по оси x от этого перпендикуляра до границы носка со стороны нижнего бьефа предварительно принимается в пределах $\left(\frac{1}{8} \dots \frac{1}{5}\right) H_{\text{н}}$. Окончательная форма очертания носка может быть построена только после определения высоты носка a и угла α .

Высота носка a и угол α , под которым поток воды сходит с носка в сторону нижнего бьефа, выбираются так, чтобы получить наибольшую дальность отброса струи $L_{\text{отбр}}$ от плотины, которая вычисляется по формуле

$$L_{\text{отбр}} = \frac{v_c^2}{2g} \sin 2\alpha + v_c \cos \alpha \sqrt{\frac{2v_c^2}{g} \sin^2 \alpha + a}, \quad (2.2)$$

где $v_c = f \sqrt{2gH_c}$ — скорость в сжатом сечении потока при сходе его с носка; здесь H_c — напор в сжатом сечении

$$H_c = P + H_0 - a - h_c/2. \quad (2.3)$$

Так как высота сжатого сечения h_c значительно меньше напора над сжатым сечением H_c , то приближенно, с некоторым увеличением v_c и $L_{\text{отбр}}$, полагаем в формуле (2.3) $h_c = 0$.

Для определения наибольшей дальности отброса струи следует задать 4–5 значений высоты носка a с шагом 1,0 м, начиная от (УПВ НБ – $Z_{\text{дн}} + 1,0$ м). Для каждого значения a необходимо вычислить $L_{\text{отбр}}$ по формуле (2.2) при нескольких значениях угла α : 10°, 20° и 30° (табл. 2.3). Значения a и α , соответствующие максимуму $L_{\text{отбр}}$ используются при построении окончательного профиля плотины.

Так как высота сжатого сечения h_c значительно меньше напора над сжатым сечением H_c , то приближенно, с некоторым увеличением v_c и $L_{\text{отбр}}$, полагаем в формуле (2.3) $h_c = 0$.

Для определения наибольшей дальности отброса струи следует задать 4-5 значений высоты носка a с шагом 1,0 м, начиная от УПВ НБ – $Z_{\text{дн}} + 1,0$ м. Для каждого значения a необходимо вычислить $L_{\text{отбр}}$ по формуле (2.2) при нескольких значениях угла α : 10° , 20° и 30° (табл. 2.3). Значения a и α , соответствующие максимуму $L_{\text{отбр}}$ используются при построении окончательного профиля плотины.

Таблица 2.3

Пример расчета $L_{\text{отбр}} = f(a, \alpha)$

| $a, \text{ м}$ \ $\alpha, ^\circ$ | 10 | 20 | 30 |
|-----------------------------------|-------|--------|--------|
| 12 | 64,84 | 100,94 | 112,92 |
| 13 | 63,51 | 98,76 | 110,52 |
| 14 | 62,17 | 96,57 | 108,11 |
| 15 | 60,83 | 94,39 | 105,70 |
| 16 | 59,50 | 92,20 | 103,28 |

Далее необходимо определить размеры воронки по зависимости для невязного грунта:

$$t_0 = 3,9 \sqrt{q_{\text{гр}}} \sqrt{\frac{H'}{d_{90}}},$$

где q — расчетный удельный расход воды на водосливе; H' — напор на плотину, исправленный на скорость подхода к гребню плотины:

$$H' = H + \frac{v^2}{2g};$$

v — скорость подхода потока к плотине: $v = \frac{q_{\text{гр}}}{\text{НПУ ВБ} - Z_{\text{дн}}}$; d_{90} — диаметр зерен грунта, меньше которых содержится 90 % по весу, мм.

При определении эквивалентной крупности грунта d_{90} для скальных оснований необходимо придерживаться следующей последовательности:

- определить неразмывающую скорость скального грунта²;
- считая, что неразмывающая скорость $v_{\text{н}}$ снижается при ударе струи

² Справочник по гидротехнике. — М.: ВНИИ Водгео, 1955.

под некоторым углом ($25 - 30^\circ$) к поверхности воды, определяют ее новое значение:

$$v'_n = v_n / (3...5);$$

– по принятой неразмывающей скорости определяют эквивалентную крупность несвязного грунта, соответствующую данной скорости.

После определения глубины воронки, задавшись величиной заложения откоса, определяют расстояние от края воронки размыва до сооружения. Безопасным считается, если воронка размыва при откосе 1:3 не достигает низовой грани сооружения.

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Практическая работа № 3.

ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ БЕТОННОЙ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ

Поперечное сечение плотины должно удовлетворять требованиям прочности, устойчивости на сдвиг по подошве плотины, неразрывности грунта в нижнем бьефе за плотиной, проезда транспорта через плотину, для плотин на нескальном основании — недопущения выноса грунта из-под плотины фильтрационным потоком.

В зависимости от вида грунта основания поперечные сечения плотин на нескальном и скальном основаниях имеют существенные различия.

Поперечное сечение плотины на нескальном основании

Водосливная плотина на нескальном основании состоит из следующих основных элементов (рис. 3.1): понура, расположенного на дне реки перед плотиной и примыкающего к ее фундаментной плите (флютбету³); тела плотины на флютбете; быков; устройств для гашения энергии потока в нижнем бьефе (водобой, рисберма, успокоительный ковш); подземного контура (пути) фильтрации воды под плотиной, включающего вертикальные и горизонтальные участки понура, флютбет и шпунтовые стенки. На гребне плотины располагаются затворы для регулирования расхода воды, сбрасываемого через водослив, а на быках — оборудование для подъема и опускания затворов (краны и подкрановые пути). Поверх быков также прокладываются транспортные переходы через плотину: железнодорожный и автомобильный.

При определении размеров элементов плотин можно придерживаться следующих рекомендаций.

1. *Понуры* предназначены: для увеличения пути фильтрации воды под плотиной и, следовательно, для уменьшения фильтрационного противодавления на флютбет; для увеличения устойчивости плотины на сдвиг, для чего понур может соединяться с флютбетом арматурой и работать сов-

³ Флютбет (нем. flutbett) — фундамент, фундаментная плита гидротехнического сооружения.

местно с телом плотины; для крепления дна реки перед плотиной со стороны верхнего бьефа с целью недопущения размыва дна фильтрационным потоком воды.

По конструкции понуры могут быть гибкими (из глинистых, асфальтовых или полимерных материалов) и жесткими (из бетона и железобетона). При напорах на плотину менее 15 м понур устраивается обычно из глинистых грунтов [4], [7]. Его толщина принимается не менее 0,75 м в конце со стороны верхнего бьефа, а в месте примыкания к флютбету плотины от 1 – 2 м. Сверху понур прикрывается защитным слоем из местного грунта (песчаного, супесчаного, суглинистого) толщиной 1 – 1,5 м. Поверх защитного слоя устраивается крепление из каменного мощения или бетонных плит толщиной 0,2 – 0,3 м для исключения размыва при пропуске через плотину строительных и эксплуатационных расходов.

При напорах на плотину более 15 м устраиваются анкерные понуры из железобетона толщиной 0,4 – 0,7 м, с гидроизоляционным покрытием по поверхности из битумных или полимерных материалов (рис. 3.1). Сверху понур прикрывается защитными слоями из глинистых и песчаных грунтов толщиной по 0,4 – 0,5 м, поверх которых устраивается крепление. Продольная арматура железобетонного понура заделывается во флютбет плотины. В месте сопряжения понура с флютбетом должна быть обеспечена водонепроницаемость — она достигается устройством в этом месте уплотнения из гидроизоляционных материалов с применением *шпонок*⁴. Длина понура $L_{\text{п}}$ принимается в пределах от H до $2,5H$ (меньшие значения для песчаных грунтов, большие — для глинистых). Со стороны верхнего бьефа у понура устраивается зуб длиной 2 – 4 м, толщиной 1 м, который улучшает его сопряжение с грунтом основания.

2. *Тело плотины* располагается на сплошной фундаментной плите (флютбете), с верхней и нижней сторон которой для лучшего сопряжения с основанием устраиваются зубья длиной 4 – 5 м и толщиной 1 м. Длина флютбета $L_{\text{фл}}$ принимается в пределах от 1,5 до $2,5H$ (меньшие значения для песчаных грунтов, большие — для глинистых). Со стороны верхнего бьефа перед водосливом флютбет имеет консоль длиной 5 – 10 м при песчаных грунтах и 10 – 15 м — при глинистых. Толщина флютбета в месте

⁴ *Шпонка (польск. szponka) — прокладка из водонепроницаемого материала (например металла) в швах гидротехнических сооружений.

расположения консоли принимается равной $0,25P$, но не менее 4 м. В теле плотины на расстоянии $(1/5)u$ от напорной грани устраиваются смотровые галереи (потерны) размером 2×3 м или 3×4 м для наблюдения за состоянием бетона и для сбора профильтровавшейся через бетон воды (здесь u — глубина расположения потерны от НПУ ВБ).

3. *Водобой* представляет собой горизонтальную бетонную плиту, примыкающую к флютбету со стороны нижнего бьефа. Он предназначен для гашения энергии и восприятия динамического воздействия сбрасываемого с водослива потока воды. Толщина плиты водобоя определяется по эмпирической формуле В. Д. Домбровского, м:

$$t_b = 0,15v_c \sqrt{h_c},$$

где v_c , h_c — соответственно скорость течения и глубина в сжатом сечении (см. практическую работу № 2).

Длина водобоя l_b зависит от длины гидравлического прыжка l_n при донном режиме сопряжения бьефов и от наличия или отсутствия гасителей энергии на водобое. При отсутствии гасителей энергии длина водобоя принимается равной $l_b = (1 \dots 1,25)l_n$, при наличии — $l_b = (0,7 \dots 0,8)l_n$.

4. *Рисберма*⁵ располагается за водобоем и предназначена для успокоения и рассеивания энергии потока воды. Она состоит из двух частей. Верховая часть, примыкающая к водобоем, устраивается из горизонтально уложенных бетонных плит толщиной 0,5 – 1 м с размерами в плане от 2×2 до 6×6 м. Для выхода фильтрационной воды в плитах устраиваются дренажные отверстия (колодцы), заполненные камнем, размерами в плане от $0,25 \times 0,25$ до 1×1 м. Отверстия располагаются в плане в шахматном порядке через 5 – 10 м. Длину горизонтального участка рисбермы рекомендуется принимать в пределах от l_b до $2l_b$. Полная длина рисбермы может быть принята равной $l = 6H - l_p$.

Низовая (концевая) часть рисбермы выполняется в виде упора из бетона, железобетона, шпунта, ряжей или в виде предохранительного (успокоительного) ковша. Концевой участок рисбермы в виде упора устраивается при наличии в основании неразмываемых слоев грунта, расположенных на незначительной глубине. Успокоительный ковш представляет собой по-

⁵ Рисберма (голл. *gisberm*) — укрепленный участок русла реки в нижнем бьефе за водобоем.

нижение дна реки за рисбермой, с целью увеличения площади живого сечения и уменьшения скорости течения до неразмывающих значений для данного вида грунта. Концевой участок рисбермы в этом случае выполняется из бетонных плит толщиной 0,2 – 0,4 м и размерами в плане от 1 × 1 до 2 × 2 м. Плиты укладываются с уклоном 1:4 – 1:6 в сторону ковша.

Глубина ковша h_k от уровня нижнего бьефа в период паводка определяется по формуле

$$h_k = k_p \sqrt{\frac{q_p}{v_H}}$$

где k_p — коэффициент, зависящий от условий размыва, принимаемый при успокоенном потоке в пределах крепления равным 1,05 – 1,10; v_H — неразмывающая скорость течения для грунта при глубине потока 1 м.

Для песчаных грунтов при среднем диаметре частиц 0,25 – 2 мм v_H равна 0,4 – 0,7 м/с; для глинистых грунтов с удельным сцеплением $c = 5 - 25$ кПа, $v_H = 0,8 - 1,5$ м/с.

Дно ковша покрывают слоем мелкого камня толщиной 1 – 3 м для возможности образования отмостки в случае размыва грунта за рисбермой. Длина ковша по основанию принимается в пределах 10 – 30 м. Низовой откос ковша устраивается с креплением или без крепления с уклоном 1:3 – 1:5 с повышением до естественного дна реки.

При $h < t$ ковш за рисбермой не устраивается.

5. *Шпунтовые стенки*⁶ являются эффективными вертикальными противодиффузионными элементами. Они увеличивают длину пути фильтрации воды, снижают градиент напора, что позволяет уменьшить фильтрационное противодавление на флотбет плотины. Шпунтовые стенки выполняются из стального, железобетонного или деревянного шпунта. Наибольшее распространение получил стальной плоский шпунт толщиной 8 – 10 мм и длиной до 25 м. Шпунтовые стенки располагаются в один, два или три ряда.

Один ряд шпунта устраивается: у верхней грани флотбета в месте примыкания понура к плотине (при большой толщине несвязного водопроницаемого слоя грунта); в начале понура (при ограниченной толщине водопроницаемого слоя, допускающей возможность забивки шпунта до водоупора).

⁶ Шпунтовая стенка (польск. szpunt, нем. spund) — сплошная стенка, образованная забитыми в грунт шпунтинами.

Два ряда шпунта (в начале понура и в начале флютбета) устраивают при большой толщине несвязного водопроницаемого слоя грунта, особенно при устройстве анкерного понура.

Три ряда шпунта (в начале понура, в начале и в конце флютбета) устраивают также при большой толщине несвязного водопроницаемого слоя грунта, подверженного механической и химической *суффозии*⁷. Третий шпунтовый ряд в конце флютбета выполняется перфорированным (с отверстиями) для возможности выхода фильтрующей воды и недопущения выпора грунта.

Длина понурного шпунта и шпунта у верхней грани флютбета для плотин с низким коэффициентом фильтрации грунта основания (глины, суглинки) назначается в пределах 3 – 5 м. В виду того, что коэффициент фильтрации шпунтовых соединений соизмерим с коэффициентом фильтрации грунта, выполняют заделку замков шпунтин, в связи с чем забивку шпунта осуществляют пакетами из нескольких шпунтин. Большая глубина забивки шпунта в связных грунтах нецелесообразна.

Длина шпунта для остальных типов грунтов назначается в соответствии с нижеприведенными рекомендациями.

Длина понурного шпунта S_1 :

– при малой толщине T водопроницаемого слоя грунта принимается равной $S_1 = T$;

– при большой толщине T — S_1 принимается от 2 м до $0,5H$.

Длина шпунта S_2 у верхней грани флютбета принимается равной $(0,5 - 1,5) H$, но не более 25 м.

Если шпунты S_1 и S_2 не забиты в водоупор (они называются висячими), то расстояние между шпунтами должно быть в пределах $(0,75 \dots 1,0)(S_1 + S_2)$, так как в противном случае эффективность шпунтов в гашении фильтрационного напора резко уменьшается.

Длина шпунта S_3 в конце флютбета принимается равной 3 – 5 м. Соединение шпунта с бетоном понура или флютбета осуществляется устройством в бетоне над верхом шпунта ниши, заполненной битумной мастикой, что позволяет снизить воздействие понура на шпунт.

При устройстве плотины на связных глинистых грунтах применение шпунтовых стенок в качестве противofильтрационных завес не рекоменду-

⁷ Суффозия (латинск. Suffossio — подкапывание) — вынос фильтрационным потоком воды мелких частиц грунта и растворенных водой веществ.

ется, так как коэффициент фильтрации глины соизмерим с коэффициентом фильтрации стального шпунта.

6. *Обратный фильтр* устраивается под всеми горизонтальными участками подземного контура плотины: понуром, флютбетом, водобоем, рисбермой. Назначение обратного фильтра — препятствовать выносу частиц грунта из-под плотины фильтрационным потоком воды. Обратный фильтр выполняется в два или три слоя грунта разной крупности общей толщиной 0,6 – 1,0 м. Слои грунта располагаются с возрастанием крупности частиц снизу вверх, например, песок, гравий, галька.

7. *Затворы плотины* в зависимости от их конструкции, располагаются на гребне плотины или в пазах быков. Наибольшее распространение получили плоские затворы, вследствие простоты устройства и надежности работы. Плоские затворы располагаются в пазах быков. В каждом пролете устанавливаются два затвора: рабочий на гребне плотины и ремонтный на консоли оголовка плотины со стороны верхнего бьефа (см. рис. 3.1). Высота плоского затвора определена в практической работе № 1. Конструирование плоского затвора рассматривается в практической работе № 5.

Размеры пазов в быках зависят от ширины пролета $b_{пр}$ и принимаются равными:

- при $b_{пр} \leq 10$ м ширина паза $\frac{1}{14} b_{пр}$, глубина паза $\frac{1}{14} b_{пр}$;
- при $b_{пр} > 10$ м ширина паза $\frac{1}{10} b_{пр}$, глубина паза $\frac{1}{20} b_{пр}$.

Толщина быка между пазами принимается в пределах 1 – 1,5 м.

8. *Быки плотины* являются монолитными бетонными (железобетонными) конструкциями, флютбеты которых имеют те же размеры, что и тело плотины. Размеры верхнего строения быков зависят от типа и конструкции затворов, схемы механизмов для подъема затворов, конструкции и размеров транспортных переходов через плотину.

Высота и толщина быков определена в практической работе № 1. Длина быков принимается равной длине флютбета плотины. Для подъема и опускания затворов используются краны соответствующей грузоподъемности. При применении козловых кранов по верхнему строению быков прокладываются подкрановые балки и рельсовые пути (см. рис. 3.1).

Расстояние от пазов затворов до подкрановых путей принимается не менее 2 м. Расстояние от подкрановых путей до границы быка принимается не менее 5 м (для проезда служебного автотранспорта). Транспортные переходы через плотину осуществляются на тех же высотных отметках, что и через другие сооружения гидроузла: ГЭС, судоходные шлюзы, земляные плотины и др. Отметка верха транспортного перехода может быть принята равной на 2 – 3 м выше НПУ ВБ. Она ниже отметки верха быков, поэтому на верхнем строении быков со стороны нижнего бьефа устраивается уступ от подкрановых путей к транспортному переходу (см. рис. 3.1). Ширина транспортного перехода зависит от класса сооружения и типа транспортного перехода: железнодорожный, автомобильный, железнодорожный и автомобильный. Класс сооружения определяется по СП 58.13330.2012 в зависимости от грунтов основания, высоты сооружения, социально-экономической ответственности и условий эксплуатации.

Ширина транспортного перехода принимается в зависимости от класса сооружения в соответствии с табл. 3.1.

При большой длине быков транспортные переходы могут быть устроены и со стороны верхнего бьефа, а иногда – отдельные автомобильные и железнодорожные переходы со стороны верхнего и нижнего бьефов.

Таблица 3.1

Ширина транспортного перехода через бетонную плотину, м

| Класс сооружения | Тип транспортного перехода | | | | |
|------------------|----------------------------|-----------------|------------|---------------------------------|----------------|
| | Автомобильный | Железнодорожный | | Автомобильный и железнодорожный | |
| | | Однопутный | Двухпутный | Ж/д однопутный | Ж/д двухпутный |
| I | 15,0 | 5,0 | 7,5 | 28,0 | 30,5 |
| II | 7,5 | 5,0 | 7,5 | 20,5 | 23,0 |
| III | 7,0 | 5,0 | 7,5 | 20,0 | 22,5 |
| IV | 6,0 | 5,0 | 7,5 | 19,0 | 21,5 |

Проверка достаточности длины пути фильтрации воды под плотинной, из условия недопущения выноса грунта, осуществляется путем сравнения приведенной длины пути фильтрации $L_{пр}$ с допустимой длиной $L_{доп}$:

$$L_{пр} \geq L_{доп} .$$

Приведенная длина пути фильтрации, м, определяется по формуле

$$L_{\text{пр}} = m \sum l_v + \sum l_h,$$

где m — коэффициент, учитывающий большие потери фильтрационного напора на вертикальных путях фильтрации по сравнению с потерями на горизонтальных путях; $m = 1,5$ для песчаных грунтов и $m = 2,5$ для глинистых грунтов; l_v — длины вертикальных путей фильтрации подземного контура (рис. 3.1): участки 1–2; 3–4–5; 6–7–8; 9–10; 11–12; l_h — длины горизонтальных путей фильтрации: участки 2–3; 5–6; 8–9; 10–11.

Допустимая длина пути фильтрации, м, определяется по формуле

$$L_{\text{доп}} = CH,$$

где C — коэффициент, принимаемый для песка в пределах 10 ... 12, для глины — 7 ... 9.

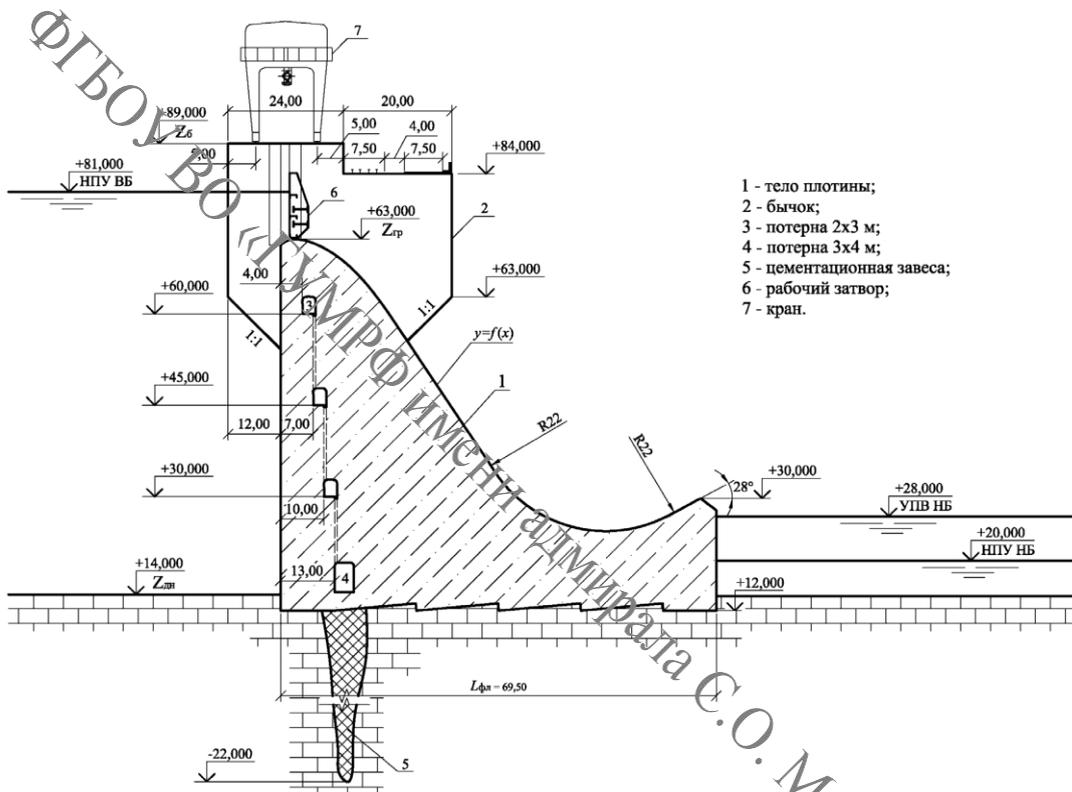
Превышение приведенной длины пути фильтрации над допустимой длиной допускается в пределах 10 %. При больших значениях $L_{\text{пр}}$ рекомендуется уменьшать длину шпунтов S_1 и S_2 , а затем понура.

При $L_{\text{пр}} < L_{\text{доп}}$ рекомендуется увеличивать длину шпунтов S_1 и S_2 , а затем понура. По окончательно принятым размерам вычерчивается поперечное сечение плотины.

Поперечное сечение плотины на скальном основании

Водосливная плотина на скальном основании состоит из следующих основных частей (рис. 3.2): флютбета; противофильтрационной завесы; тела плотины на флютбете; быков; рабочего и ремонтного затворов на гребне плотины; оборудования для подъема и опускания затворов (кранов и подкрановых путей), располагаемого на быках; транспортных переходов через плотину (железнодорожного и автомобильного), прокладываемых через быки.

Флютбет плотины на скальном основании заглубляется в скалу на 1,5 – 2 м, так как поверхностный слой скалы может иметь трещины. Подошва флютбета выполняется в виде уступов, подошвы которых по отношению к горизонту должны составлять около 5°. Длина флютбета $L_{\text{фл}}$ зависит от размеров носка плотины; она определена в практической работе № 2.



Примечание: размеры указаны в метрах.

Рис. 3.2. Поперечный разрез бетонной плотины с высоким уступом

Противофильтрационная завеса представляет собой вертикальную скважину в скале глубиной $(0,5 \dots 0,8)H$, в которую под давлением нагнетается цементный раствор. Он заполняет трещины в скале и образует вертикальную преграду для движения фильтрационной воды. Ось завесы располагается на расстоянии $(0,1 \dots 0,2)L_{\text{пл}}$ от напорной грани плотины. Толщина завесы в месте ее примыкания к флютбету принимается равной $(1/10 \dots 1/8)H$. Шаг скважин по длине плотины составляет 2 м.

Тело плотины на скальном основании сконструировано в практической работе № 2. Оно состоит из водослива, построенного по координатам Кригера-Офицера, и носка для отброса воды в нижний бьеф. В теле плотины на расстоянии $1/5 u$ от напорной грани (здесь u — глубина расположения потерны от НПУ ВБ) устраиваются смотровые галереи (потерны) размером 2×3 м для наблюдения за состоянием бетона и отвода профильтровавшейся через бетон воды. Нижняя потерна выполняется больших размеров (3×4 м) для возможности размещения бурового оборудования на случай повторной цементации завесы. Потерны располагаются по высоте плотины через 10 – 20 м. Отвод профильтровавшейся воды из верхних потерн в нижние осуществляется по вертикальным дренажным трубам.

Затворы плотин на скальном основании устраиваются так же, как и у плотин на нескальном основании (см. начало практической работы).

Быки плотины на скальном основании выполняются неразрезными. Их высота и толщина определены в практической работе № 1. Длина быков зависит от конструкции и размеров затворов, оборудования для подъема и опускания затворов, вида и размеров транспортных переходов. При применении плоских затворов, козловых кранов, железнодорожного и автомобильного транспортных переходов, построение верхней части быков можно выполнить, используя рекомендации для конструирования быков плотин на нескальном основании (см. начало практической работы). Особенностью быков плотин на скальном основании является то, что их длина превышает размеры тела плотины (рис. 3.2). Поскольку быки неразрезные, нет необходимости доводить их до флютбета. Нижняя часть быков располагается примерно на уровне верхней потерны и сопрягается с телом плотины под углом 45° . По окончательно принятым размерам вычерчивается поперечное сечение плотины.

Практическая работа № 4.

ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОЧНОСТИ БЕТОННЫХ ВОДОСЛИВНЫХ ПЛОТИН

Проверка устойчивости бетонной плотины на сдвиг осуществляется для секции плотины, путем сравнения сдвигающей силы гидростатического давления воды со стороны верхнего бьефа, с удерживающими силами: трением по плоскости подошвы флютбета, сцеплением бетона с грунтом основания и гидростатическим давлением воды со стороны нижнего бьефа.

При выполнении проверки устойчивости бетонных плотин следует придерживаться следующих рекомендаций.

Выполняются чертежи поперечного сечения плотины со всеми размерами и высотными отметками (рис. 4.1, 4.2). Для плотин на нескальном основании в состав поперечного сечения плотины следует включать тело плотины с флютбетом, быки, рабочие затворы, понур. Для плотин на скальном основании в состав поперечного сечения плотины включаются тело плотины с флютбетом, рабочие затворы (рис. 4.2).

Определение сил, действующих на секцию плотины

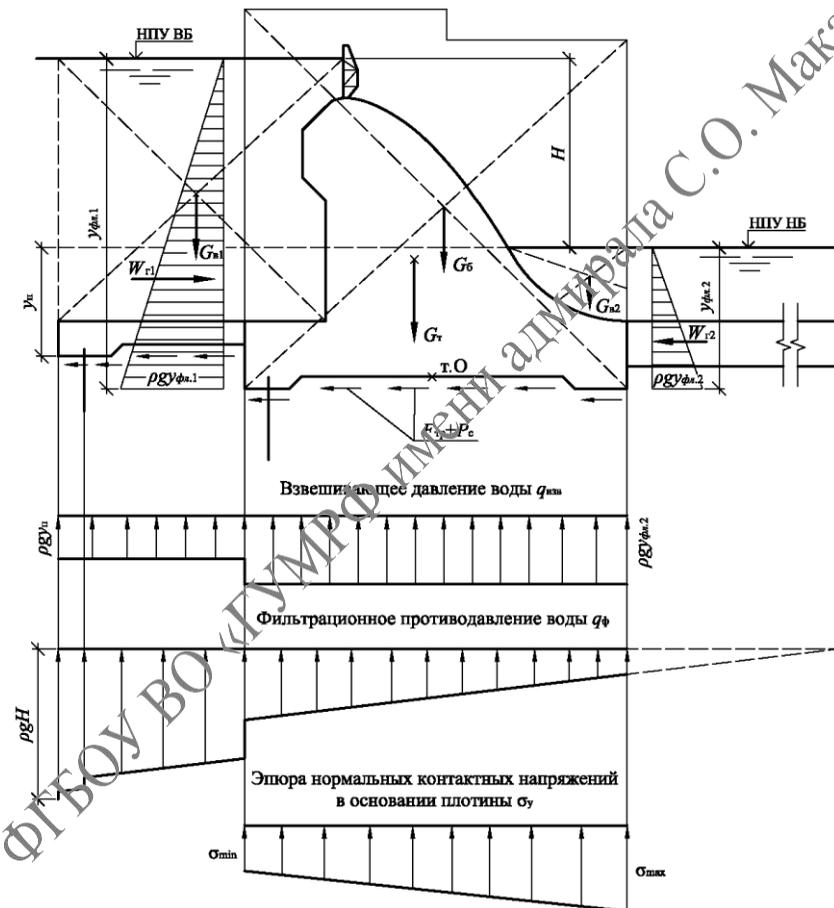
Вертикальные силы:

- плотины на нескальном основании: вес тела плотины, вода над телом плотины, рабочие затворы, быки, понур, вода над понуром; взвешивающее и фильтрационное давление воды, действующие снизу на флютбет плотины и понур;
- плотины на скальном основании: вес тела плотины, вода над телом плотины, рабочие затворы, взвешивающее и фильтрационное давление воды, действующие снизу на флютбет плотины.

При определении собственного веса можно придерживаться следующих рекомендаций.

Для рассматриваемых элементов (тела плотины, быков, понура) определяются с использованием САПР (например, AutoCAD) площади поперечного сечения F_i и положения центров тяжести (прил. Б).

Для плотин на нескальном основании также определяются плечи центров тяжести относительно центра флютбета (точка O) (рис. 4.1). Объемы элементарных тел V_i вычисляются путем умножения площадей F_i на длину элемента l_i в пределах секции плотины. Для плотин на скальном основании эта длина равна длине секции (см. практическую работу № 1). Для плотин на нескальном основании длины элементов разные: для тела плотины длина l равна произведению числа пролетов в секции на длину пролета; для быков — сумме толщин быков в секции; для понура — длине секции.



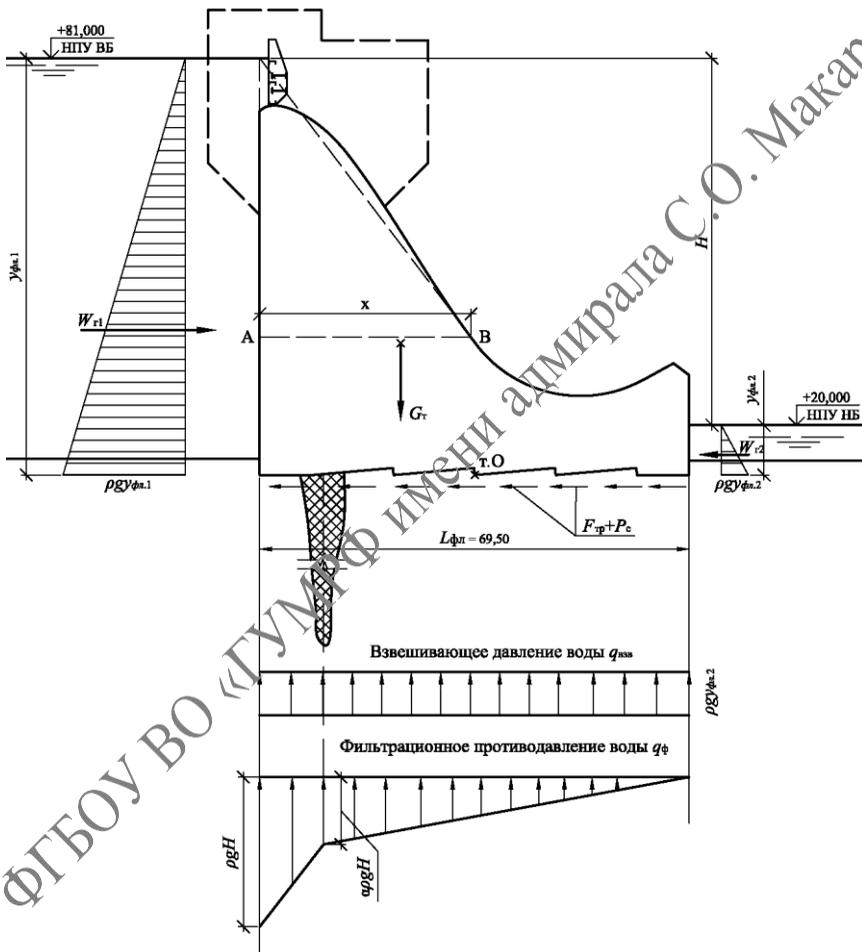
Примечание: при оформлении практической работы числовые значения сил и характерных ординат эпюр следует подписывать.

Рис. 4.1. К расчету устойчивости на сдвиг бетонной плотины на нескальном основании

Вес элементов железобетонных и бетонных элементов G_i определяется по формуле

$$G_i = \rho_b g V_i \gamma_f .$$

где ρ_b — плотность бетона, принимаемая равной 2,40 – 2,50 т/м³, g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый для бетона равным 0,95, для воды — 1,0.



Примечание: при оформлении практической работы числовые значения сил и характерных ординат эпюр следует подписывать.

Рис. 4.2. К расчету устойчивости на сдвиг бетонной плотины на скальном основании

Вычисления F_i, V_i, G_i, G рекомендуется осуществлять в форме табл. 4.1. Для плотин на нескальном основании вычисляются также моменты M_i весов G_i относительно центра тяжести площади подошвы флютбета (точка O) (за исключением понура) и суммарный момент M .

Аналогично вышеизложенному, определяется вес воды над элементами плотины, при этом плотность воды $\rho = 1,0, \text{ т/м}^3$.

Таблица 4.1

К расчету бетонной плотины и ее основания на прочность и устойчивость

| № п/п | Площадь $F_i, \text{ м}^2$ | Длина $l_i, \text{ м}$ | Объем $V_i=[2] \cdot [3], \text{ м}^3$ | Плотность $\rho, \text{ т/м}^3$ | Вес $G_i = g[4] \cdot [5] \cdot \gamma_f, \text{ кН}$ | Плечо, м | Момент $M_i=[6] \cdot [7], \text{ кНм}$ |
|---|----------------------------|------------------------|--|---------------------------------|---|----------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| А. Плотины на нескальном основании | | | | | | | |
| 1. Тело плотины | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | G_T | ... | M_T |
| 2. Быки | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | G_B | ... | M_B |
| 3. Вода над телом плотины | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | G_{BT} | ... | M_{BT} |
| 4. Понур | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | G_P | — | — |
| 5. Вода над понуром | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | G_{BP} | — | — |
| Б. Плотины на скальном основании | | | | | | | |
| 1. Тело плотины | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | G_T | — | — |
| 2. Вода над телом плотины | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | G_{BT} | — | — |

Примечания. 1. В таблице следует заполнять ячейки, обозначенные знаком «...». 2. При вычислении моментов сил относительно точки O присваивается знак «+» для момента, направленного по часовой стрелке, и «-» — против часовой стрелки.

Вес затворов определяется приближенно по эмпирическим формулам, полученным на основе опыта проектирования и эксплуатации обо-

рудования ГТС. Для плоского затвора рекомендуется формула А. Р. Резинского, кН

$$G_3 = 0,55F\sqrt{F},$$

где F — площадь перекрываемого затвором отверстия, равная $F = b_{\text{пр}} H_0^2$.

Точка приложения веса затвора G_3 приближенно находится на гребне плотины в середине ширины паза. Определяется момент M_3 от веса затвора относительно точки O .

Взвешивающее давление воды на плотину, кН, определяется для флютбета по формуле

$$W_{\text{взв.фл}} = \rho_v g y_{\text{фл}} L_{\text{фл}} l_c,$$

где $y_{\text{фл}}$ — глубина погружения подошвы флютбета относительно НПУ НБ.

Для плотин на глинистом основании дополнительно определяется взвешивающее давление воды, кН, для понура по формуле

$$W_{\text{взв.п.}} = \rho_v g y_{\text{п}} l_{\text{п}} l_c,$$

где $y_{\text{п}}$ — глубина погружения подошвы понура относительно НПУ НБ.

Точка приложения силы $W_{\text{взв.фл}}$ находится в центре тяжести площади подошвы флютбета в точке O , поэтому момент от $W_{\text{взв.фл}}$ относительно точки O равен нулю.

Фильтрационное противодействие на флютбет плотины определяется разными способами для плотин на нескальном и скальном основаниях. Для плотин на нескальных основаниях фильтрационное давление воды может определяться различными аналитическими или экспериментальными способами [4], [7]. С достаточной для учебных целей точностью, можно использовать метод контурной фильтрации (способ Бляя)⁸, который изложен в третьей практической работе.

Согласно способу В. Бляя строится эпюра изменения фильтрационного напора по длине подземного контура. По этой эпюре определяются значения фильтрационного напора $h_{\text{фи}}$ в местах изломов подземного контура. Фильтрационное давление в этих местах, кПа равно

$$q_{\text{фи}} = h_{\text{фи}} \rho_v g, \text{ кПа.}$$

⁸ В соответствии со СП 40.13330.2012. Плотины бетонные и железобетонные, для предварительных расчетов рекомендуется использовать приближенные аналитические методы расчета (коэффициентов сопротивления, фрагментов и др.).

По значениям $q_{\phi i}$ строится эпюра фильтрационного давления на плотину (см. рис. 4.1), после чего определяется площадь всей эпюры F_{ϕ} , при этом рекомендуется использовать САПР.

Величины фильтрационного давления W_{ϕ} определяются по формуле

$$W_{\phi} = F_{\phi} l_c, \text{кН.} \quad (4.1)$$

Для части эпюры фильтрационного противодавления, действующего на флютбет, определяется положение центра тяжести площади F_{ϕ} и расстояние (плечи) от него до центра тяжести площади подошвы флютбета точки O . Вычисляются моменты M_{ϕ} величин фильтрационного давления W_{ϕ} на флютбет относительно точки O и суммарный момент $M_{\phi \text{ фл}}$. Вычисления F_{ϕ} , W_{ϕ} , M_{ϕ} рекомендуется осуществлять в форме табл. 4.2.

Для плотин на скальном основании эпюра фильтрационного напора строится по рекомендациям СНиП 2.06.06-85 [12], составленным на основании натуральных исследований. Фильтрационный напор в начале флютбета принимается равным напору H . По оси противофильтрационной завесы фильтрационный напор принимается равным αH , где α — коэффициент, равный 0,40 для сооружений I, II классов и 0,30 — для сооружений III, IV классов. Фильтрационный напор в конце флютбета принимается равным нулю. Изменение фильтрационного напора от H до αH , и от αH до нуля является линейным (рис. 4.2). Для построения эпюры фильтрационного давления значения фильтрационного напора умножаются на $\rho_w g$.

Таблица 4.2

Определение фильтрационного противодавления воды для плотин на нескальном основании

| № п/п | Площадь F_{ϕ} , кН/м | Длина l_c , м | Сила, W_{ϕ} , кН | Плечо, м | Момент, $M_{\phi} = [4] \cdot [5]$, кНм |
|---------|---------------------------|-----------------|-----------------------|----------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Флютбет | | | | | |
| ... | ... | ... | $W_{\phi \text{ фл}}$ | ... | $M_{\phi \text{ фл}}$ |
| Понур | | | | | |
| ... | ... | ... | $W_{\phi \text{ п}}$ | — | — |

Примечания. 1. В таблице следует заполнять ячейки, обозначенные знаком «...».

По аналогии с плотинами на нескальном основании определяется площадь эпюры F_{ϕ} , значения фильтрационного давления W_{ϕ} по формуле (4.1).

Горизонтальные силы, действующие на плотину:

- гидростатическое давление воды со стороны верхнего бьефа;
- гидростатическое давление воды со стороны нижнего бьефа.

Для определения гидростатического давления со стороны верхнего бьефа вычисляется его величина q_{r1} на уровне подошвы флютбета, кПа:

$$q_{r1} = \rho_w g y_{\text{фл1}},$$

где $y_{\text{фл1}}$ — величина заглубления подошвы флютбета от НПУ ВБ.

Строится эпюра гидростатического давления со стороны верхнего бьефа, имеющая вид треугольника (рис. 4.1, 4.2).

Определяется площадь эпюры $E_{r1} = q_{r1} \frac{y_{\text{фл1}}}{2}$ и общая величина гидростатического давления, кН, со стороны верхнего бьефа по формуле

$$W_{r1} = E_{r1} l.$$

Находится плечо силы W_{r1} относительно точки O , равное $y_{\text{фл1}}/3$, и ее момент, кНм, относительно этой точки $M_{r1} = W_{r1} \frac{y_{\text{фл1}}}{3}$.

Для определения гидростатического давления со стороны нижнего бьефа вычисляется его величина q_{r2} , кПа, на уровне подошвы флютбета

$$q_{r2} = \rho_w g y_{\text{фл2}},$$

где $y_{\text{фл2}}$ — глубина заглубления подошвы флютбета под НПУ НБ.

Строится эпюра гидростатического давления со стороны нижнего бьефа, имеющая вид треугольника (рис. 4.1, 4.2). Определяется площадь эпюры

$E_{r2} = q_{r2} \frac{y_{\text{фл2}}}{2}$ и общая величина гидростатического давления, кН, со стороны нижнего бьефа по формуле

$$W_{r2} = E_{r2} l.$$

Находится плечо силы W_{r2} относительно точки O , равное $y_{\text{фл2}}/3$, и ее момент, кНм, относительно этой точки: $M_{r2} = W_{r2} \frac{y_{\text{фл2}}}{3}$.

Для плотин на связных грунтах основания (глины, суглинки, супеси и т. п.) определяется сила сцепления флютбета и понура с основанием по формуле

$$P_c = (F_{\text{фл}} + F_n) c, \text{ кН},$$

где $F_{\text{фл}}$ — площадь подошвы флютбета, равная $F_{\text{фл}} = L_{\text{фл}} l_c$, м²; $F_{\text{п}}$ — площадь подошвы понура, равная $F_{\text{п}} = L_{\text{п}} l_c$, м²; c — удельное сцепление бетона с глинистым грунтом, в среднем $c = 45 - 50$, кПа.

Для плотин на скальном основании определяется сила сцепления флютбета с основанием по формуле

$$P_c = F_{\text{фл}} c, \text{ кН},$$

где $F_{\text{фл}}$ — площадь подошвы флютбета, определяемая также, как для плотины на нескальном основании, м²; c — удельное сцепление бетона со скалой, в среднем $c = 400$ кПа.

Проверка устойчивости бетонной плотины выполняется для первой группы предельных состояний по формуле

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R, \quad (4.2)$$

где γ_{lc} — коэффициент сочетания нагрузок и воздействий в период нормальной эксплуатации, равный 1,00; F — сдвигающая сила — гидростатическое давление воды со стороны верхнего бьефа $W_{г1}$; γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый при нескальных и полускальных грунтах равным 1,00; при скальных грунтах $\gamma_c = 0,95$; γ_n — коэффициент надежности по ответственности сооружений, принимаемый в зависимости от класса сооружения: для I кл. — 1,25; для II кл. — 1,20; для III кл. — 1,15; для IV кл. — 1,10; R — удерживающая сила, определяемая по нижеприведенной последовательности.

Удерживающая сила для плотин на нескальном основании:

$$R = (G_{\tau} + G_{\sigma} + G_{\text{вт}} + G_{\text{п}} + G_{\text{вп}} + n_3 G_3 - W_{\text{взв.фл}} - W_{\text{взв.п}} - W_{\text{ф.фл}} - W_{\text{ф.п}}) f + W_{\tau 2} + P_c,$$

где f — коэффициент трения бетона по грунту основания, численно равный $f = \text{tg}(\varphi)$ (φ — угол внутреннего трения грунта основания), принимаемый равным 0,20 – 0,30 для глинистых грунтов и 0,40 – 0,50 для песчаных грунтов; n — количество рабочих затворов в секции.

Проверка устойчивости бетонной плотины на скальном основании выполняется по формуле (4.2), в которой удерживающая сила R , кН, определяется по формуле

$$R = (G_{\tau} + G_{\text{вт}} + n_3 G_3 - W_{\text{взв.фл}} - W_{\text{ф.фл}}) \alpha f_c + W_{\tau 2} + P_c,$$

где f_c — коэффициент трения бетона по скале, принимаемый равным 0,75 – 0,80;
 α — коэффициент, учитывающий наличие необнаруженных трещин в основании, принимаемый равным 0,50.

Для плотин на нескальном основании определяются напряжения, кПа, в грунте основания под флютбетом по формуле

$$\sigma_{\text{мин}}^{\text{макс}} = -\frac{N}{F_{\text{фл}}} \pm \frac{M_o}{W_{\text{фл}}},$$

где N — сумма всех вертикальных сил, действующих на плотину в пределах флютбета, кН

$$N = G_{\text{т}} + G_{\text{б}} + G_{\text{вт}} + G_{\text{з}} - W_{\text{взв.фл}} - W_{\text{ф.фл}},$$

$F_{\text{фл}}$ — площадь подошвы флютбета, равная $F_{\text{фл}} = L \cdot l$, м²; M_o — сумма моментов всех вертикальных и горизонтальных сил, действующих на плотину в пределах флютбета относительно центра тяжести площади подошвы флютбета точки O , кНм

$$M_o = M_{\text{т}} + M_{\text{б}} + M_{\text{вт}} + M_{\text{з}} + M_{\text{ф.фл}} + M_{\text{г1}} + M_{\text{г2}},$$

$W_{\text{фл}}$ — момент сопротивления площади подошвы флютбета

$$\gamma_{\text{гс}} |\sigma_{\text{макс}}| \leq \frac{\gamma_{\text{с}}}{\gamma_{\text{г}}} 1,5R.$$

По значениям $\sigma_{\text{мин}}$ и $\sigma_{\text{макс}}$ строится эпюра напряжений в грунте основания (см. рис. 4.1).

Проверяется несущая способность грунта основания на появление в нем пластических деформаций по формуле

$$\sigma_{\text{макс}} < 0,$$

где $\rho_{\text{гр.взв}}$ — плотность грунта, взвешенного в воде, принимаемая равной 1,00 т/м³; R — расчетное сопротивление грунта основания, определяемое по результатам инженерно-геологических изысканий. Для предварительных расчетов рекомендуется принимать $R = R_0$ в соответствии с п. 2.182 Пособия к СНиП 2.02.01-83.

Проверка прочности бетонной плотины

Проверка прочности бетонных плотин на нескальном основании обычно не проводится, поскольку они имеют распластанный профиль (определя-

емый в основном условиями сопряжения бьефов) и большие размеры поперечного сечения, при которых прочность заведомо обеспечена.

Бетонные плотины на скальном основании строятся при больших и средних напорах и имеют большую высоту. Проверка их прочности производится по наиболее опасному сечению AB , которое намечается в месте, где начинается сопряжение кривой водослива с носком (рис. 4.2). Точка B пересечения кривой водослива с линией сечения соединяется прямой линией с точкой пересечения уровня НПУ ВБ с линией напорной грани плотины. Таким образом, поперечное сечение плотины приводится к расчетному треугольному профилю (рис. 4.2).

Обозначим катеты треугольника x и y , а угол при вершине через α .

При $\alpha \geq 35^\circ$ прочность плотины считается обеспеченной.

Действующие силы: собственный вес и гидростатическое давление воды со стороны верхнего бьефа. Расчет выполняется для одного погонного метра плотины по длине.

Собственный вес G_6 , кН, находится по формуле

$$G_6 = \rho_6 g V_6 \gamma_f = \rho_6 g \frac{x y}{2} \cdot \gamma_f,$$

где γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый для бетона равным 1,05.

Гидростатическое давление воды со стороны верхнего бьефа, кН, определяется по формуле

$$E = \rho_w g \cdot \frac{y^2}{2} \cdot \gamma_f,$$

где γ_f — для воды равен 1,0.

Определяются плечи сил G_6 и E относительно центра тяжести сечения AB : для силы G_6 плечо равно $\frac{x}{6}$; для силы E — $\frac{y}{3}$.

Вычисляется суммарный момент сил относительно центра тяжести сечения AB :

$$M_0 = E \frac{y}{3} - G_6 \frac{x}{6}.$$

Определяются напряжения в крайних точках сечения A и B , кПа. Нормальные к оси x (направленные по оси y):

$$\sigma^A = \frac{G_6}{F} + \frac{M_0}{W}; \quad \sigma^B = \frac{G_6}{F} - \frac{M_0}{W},$$

где F — площадь сечения, равная $F = x \cdot 1,0$, м²; W — момент сопротивления сечения AB : $W = \frac{1,0 \cdot x^2}{6}$.

Нормальные к оси y (направленные по оси x), кПа:

$$\sigma_x = -\rho_b g y, \quad \sigma_x = \sigma_y \operatorname{tg} \alpha,$$

касательные:

$\tau_{xy}^A = 0$, так как напорная грань плотины — вертикальна

$$\tau_{xy}^B = \sigma_y^B \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

По найденным величинам напряжений строятся эпюры нормальных и касательных напряжений.

С использованием нормальных и касательных напряжений вычисляются главные напряжения в крайних точках сечения, кПа, по следующим формулам:

главные напряжения в точке A

$$\sigma^A = \frac{\sigma_x^A + \sigma_y^A}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x^A - \sigma_y^A}{2} \right)^2 + (\tau^A)^2}, \quad (4.3)$$

главные напряжения в точке B

$$\sigma^B = \frac{\sigma_x^B + \sigma_y^B}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x^B - \sigma_y^B}{2} \right)^2 + (\tau^B)^2}. \quad (4.4)$$

При вычислении главных напряжений по формулам (4.3) и (4.4) напряжения σ_x , σ_y и τ_{xy} берутся по абсолютным значениям, без учета их знака.

Проверка прочности бетонной плотины по сечению AB выполняется по первой группе предельных состояний по формуле:

$$\sigma_y^A < 0; \quad \sigma_y^A \geq \frac{1}{4} \rho_b g y; \quad \gamma_{lc} \sigma_{\max} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R_b,$$

где $|\sigma_{\max}|$ — абсолютное значение максимального главного напряжения; R_b — расчетное сопротивление бетона на сжатие; для бетонов марок В12,5;

B15; B20, равное соответственно 4500, 8500, 11500 кПа.

Практическая работа № 5. ГРУНТОВЫЕ ПЛОТИНЫ

Грунтовые плотины строятся в составе гидроузлов для сопряжения бетонных сооружений между собой, а также с берегом. Они являются напорными сооружениями и входят в состав напорного фронта гидроузла. По конструкции грунтовые плотины подразделяются следующим образом:

- однородные, не имеющие специальных противofильтрационных устройств;
- плотины с ядром — противofильтрационным грунтовым элементом в центре поперечного сечения;
- плотины с экраном — противofильтрационным элементом, расположенным ближе к верховому откосу;
- плотины с диафрагмой — противofильтрационным негрунтовым элементом (бетон, железобетон, асфальтобетон, металл, дерево, полимеры) в центре поперечного сечения.

В практической работе № 5 рассматриваются плотины однородные и с ядром.

Однородная грунтовая плотина

Однородные грунтовые плотины строятся при малых и средних напорах. Их поперечное сечение напоминает трапецию с уменьшающимися сверху вниз уклонами откосов (рис. 5.1). По гребню плотины устраивается транспортный переход. Ширина гребня B зависит от типа транспортного перехода и может быть принята по табл. 5.1 [8].

При определении размеров и построении поперечного сечения однородной плотины можно придерживаться следующих рекомендаций.

Отметка гребня, м, определяется с учетом наката ветровой волны на верховой откос по формуле

$$Z_{гр} = НПУ ВВ + d_0,$$

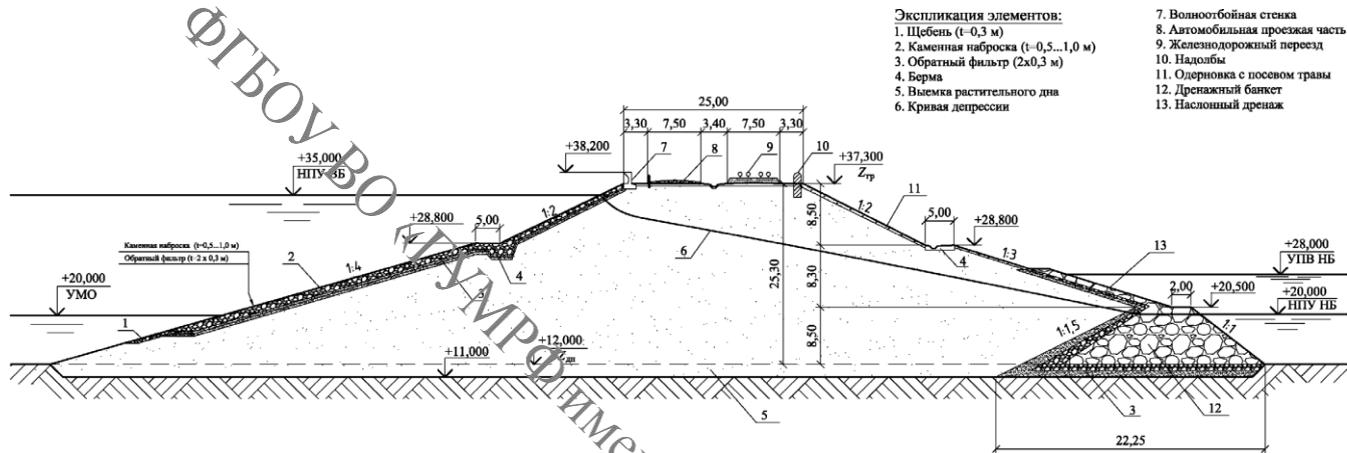


Рис. 5.1. Однородная грунтовая плотина на нескальном основании

где d_0 — возвышение гребня плотины над НПУ ВБ, зависящее от волнового режима в верхнем бьефе и вычисляемое по формуле

$$d_0 = h_n + a_0 + a,$$

здесь h_n — высота наката ветровой волны на откос 1,5 – 2,0 м; a_0 — ветровой нагон воды, равный 0,5 – 1,0 м; a — запас, принимаемый равным не менее 0,5 – 1,0 м.

Таблица 5.1

Ширина гребня B грунтовой плотины при устройстве транспортных переходов, м

| Класс сооружения | Тип транспортного перехода | | | | |
|------------------|----------------------------|-----------------|------------|----------------------|----------------|
| | Автомобильный | Железнодорожный | | Авто и ж/д транспорт | |
| | | однопутный | двухпутный | ж/д однопутный | ж/д двухпутный |
| I | 27,5 | 13 | 15,5 | 40,5 | 42,5 |
| II | 15 | 13 | 15,5 | 28 | 30,5 |
| III | 12 | 13 | 15,5 | 25 | 27,5 |
| IV | 10 | 13 | 15,5 | 23 | 25,5 |

На гребне плотины, у грани верхового откоса, устраивается волноотбойная стенка высотой 1,2 – 1,5 м и толщиной поверху 0,3 – 0,5 м (см. рис. 5.1). Она имеет криволинейный профиль с наклоном в сторону верхнего бьефа для обрушения волны в сторону водохранилища.

Верховые откосы устраиваются с уменьшением уклонов $1:m_1$ от гребня к дну: верхний откос (первый от гребня) имеет уклон 1:2, далее ниже бермы откос рекомендуется уподоблять с уклоном до 1:6. Верхний откос имеет крепление из бетонных плит толщиной 0,2 – 0,3 м или каменной наброски толщиной 0,5 – 1,0 м на обратном фильтре при высоте волн не более 1,0 м. Верх крепления располагается на отметке гребня плотины, низ — на 1,5 – 2,5 м ниже уровня сработки верхнего бьефа. Изменение уклонов откосов выполняется через 7 – 15 м по высоте плотины. В месте изменения уклонов располагаются бермы шириной 2 – 5 м для увеличения устойчивости откосов и креплений.

Низовой откос, также как и верховой, выполняется с уменьшением их уклонов $1:m_2$ от гребня к дну от 1:2 до 1:4. В месте примыкания нижнего откоса к дну реки устраивается дренажный банкет (каменная призма). Он отсыпается из камня, а со стороны верхнего бьефа и дна имеет обратный фильтр. Ширина призмы по верху составляет 1 – 2 м; возвышение над НПУ НБ

⁹ Берма (польск. *berma*) – горизонтальная площадка между откосами.

0,5 – 1,0 м. Откосы призмы принимаются равными 1:1,5 со стороны верхнего бьефа, и 1:1 со стороны нижнего бьефа и дна реки. На низовом откосе от НПУ НБ до уровня паводка нижнего бьефа укладывается наклонный дренаж в виде каменного крепления толщиной 0,5 – 1,0 м на слое обратного фильтра. Общая толщина наклонного дренажа с обратным фильтром принимается равной 1,0 – 1,5 м; возвышение над уровнем паводка нижнего бьефа 0,5 – 1,0 м.

Тело однородной плотины обычно отсыпается из песчаных грунтов. Для лучшего сцепления грунта тела плотины с грунтом дна реки верхний слой грунта дна снимается на глубину не менее 1,0 м.

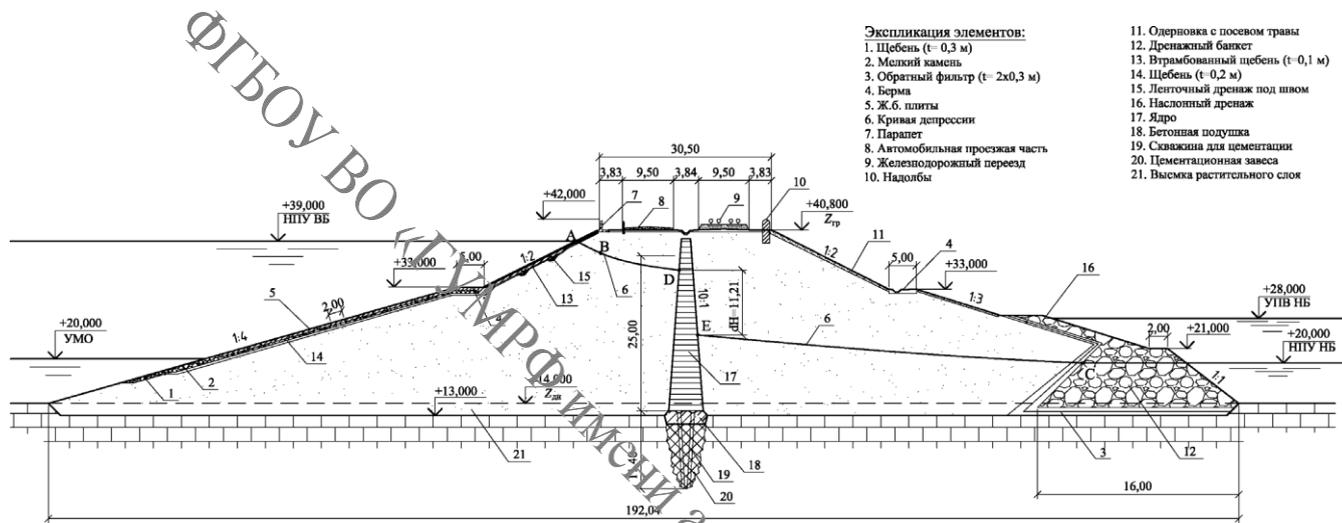
Плотина с ядром

Плотины с ядром состоят из двух элементов: тела и ядра. Они возводятся преимущественно на скальных и глинистых грунтах.

Тело плотины с ядром при нескальных основаниях имеет ту же конструкцию и размеры, что и тело однородной плотины (рис. 5.2). Для плотин на скальном основании тело плотины обычно проектируют из крупнообломочного камня и песчано-гравелистого грунта.

Ядро располагается посередине поперечного сечения плотины и устраивается из материала, имеющего малый коэффициент фильтрации (глина, суглинок). Назначение ядра — уменьшить скорость фильтрации через него и понизить уровень грунтовых вод в плотине (рис. 5.2). Верх ядра располагается ниже гребня на глубину промерзания грунта в данном районе (1,2 – 1,5 м на Северо-Западе России), так как при замерзании глинистые грунты теряют свои свойства. Одновременно верх ядра должен возвышаться над НПУ ВБ не менее, чем на высоту капиллярного подъема воды (равную для песков средней крупности 0,15 – 0,35 м; для мелких песков — до 1,0 м), чтобы вода не «переливалась» через ядро.

Толщина ядра в его верхней части $\delta_{\text{яв}}$ принимается равной 0,8 – 1,5 м, в нижней части $\delta_{\text{ян}} = \frac{1}{7}P$, где P — высота плотины, равная $P = Z_{\text{гр}} - Z_{\text{дн}}$. Ядро заглубляется в грунт основания на 1 – 2 м. При скальных грунтах по оси ядра устраивается цементационная завеса такого же размера, что и при бетонной плотине (см. практическую работу № 3). При песчаных грунтах по оси ядра забивается шпунт на глубину, достаточную для создания преград фильтрационному потоку воды (не более 24 м). При глинистых грунтах основания устройство шпунта не рекомендуется в виду того, что противифльтрационные свойства шпунта оказываются соизмеримыми со свойствами грунта.



Примечание: размеры указаны в метрах.

Рис. 5.2. Грунтовая плотина с ядром на скальном основании

Фильтрационный расчет грунтовых плотин

Одной из важнейших целей фильтрационных расчетов грунтовых плотин является определение положения уровня грунтовых вод в теле плотины.

Линия, характеризующая поверхность уровня грунтовых вод в поперечном сечении плотины, называется *кривой депрессии*. Разработано несколько способов расчета депрессионной кривой: Н. Н. Павловского, Р. Р. Чугаева, В. П. Недриги, В. И. Аравина, С. Н. Нумерова и др. [4], [7], [8]. В практической работе № 5 рассматривается приближенный способ Р. Р. Чугаева.

При определении положения кривой депрессии в теле грунтовой плотины рекомендуется придерживаться следующей последовательности.

Поперечное сечение плотины приводится к расчетному профилю путем осреднения уклона верхового $1:m_1$ откоса по формуле

$$m_{1cp} = \frac{m_1^B h_1^B + m_2^B h_2^B + m_3^B h_3^B + \dots}{P},$$

где $m_1^B, m_2^B, m_3^B, \dots$ — заложения верхового откоса, считая их сверху вниз; $h_1^B, h_2^B, h_3^B, \dots$ — высоты участков верхового откоса с заложениями $m_1^B, m_2^B, m_3^B, \dots$ соответственно.

Осреднение низового откоса в виду особенностей расчета плотин с дренажным банкетом не требуется.

С использованием полученного значения m_{1cp} , а также известных P и B строится расчетное сечение плотины, имеющее вид трапеции в том же масштабе, что и исходная плотина (рис. 5.3). На нем показываются отметки НПУ ВБ, НПУ НБ, $Z_{тр}$ и $Z_{дн}$. Дренажная призма в расчете кривой фильтрации не учитывается.

Натурные измерения и теоретические расчеты показали, что потери фильтрационного напора малы на верховом участке плотины от начала верхового откоса до створа, проведенного через начало гребня плотины. Р. Р. Чугаев предложил заменить треугольное сечение верхового участка плотины на эквивалентное прямоугольное, отнеся створ поступления фильтрационного потока на расстояние S_1 в сторону верхнего бьефа от гребня плотины:

$$S_1 = m_{1cp}(d_0 + 0,4y_1),$$

где d_0 — превышение гребня плотины над НПУ ВБ, $d_0 = Z_{тр} - \text{НПУ ВБ}$; y_1 — глубина воды в верхнем бьефе, $y_1 = \text{НПУ ВБ} - Z_{дн}$.

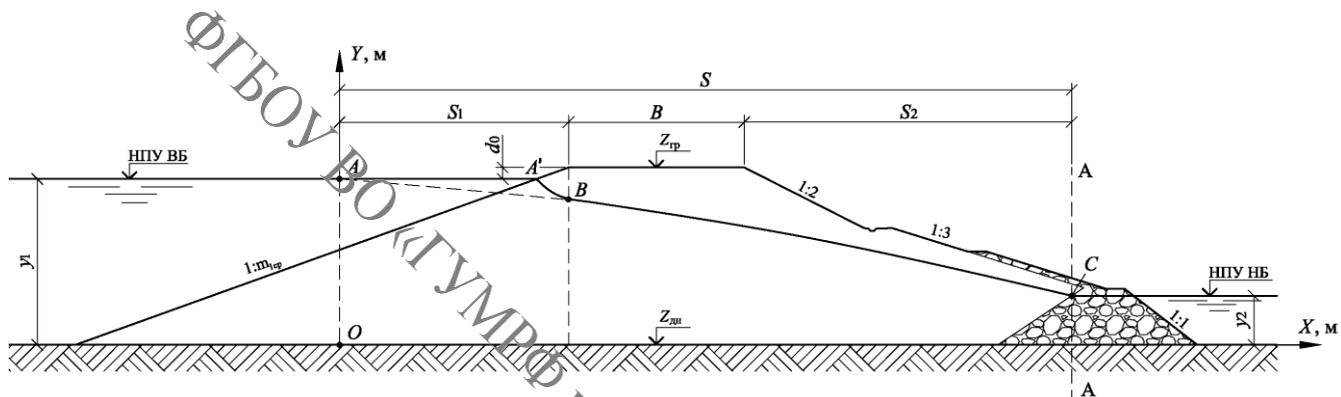


Рис. 5.3. Расчетная схема для построения кривой депрессии в однородной грунтовой плотине

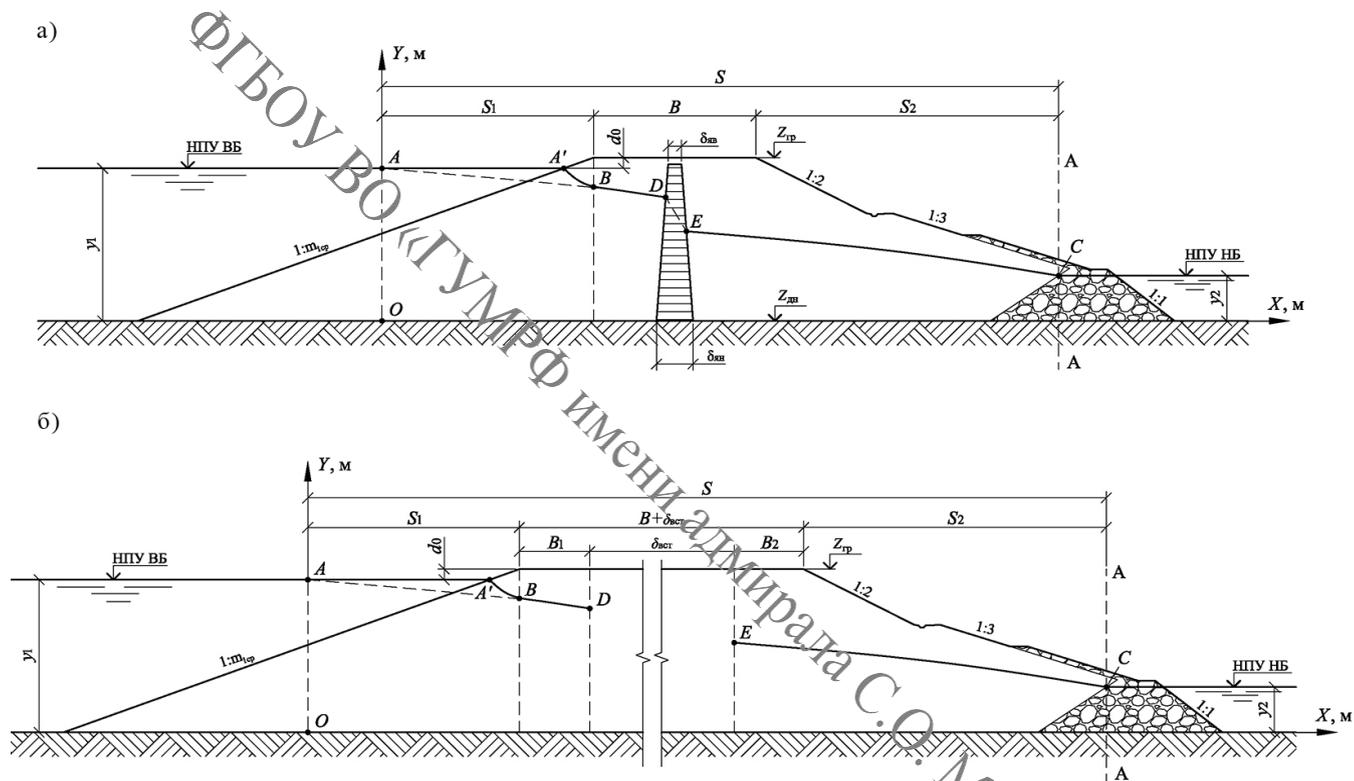


Рис. 5.4. Расчетная схема для построения кривой депрессии в грунтовой плотине с ядром:
 а — исходный профиль плотины; б — расчетный профиль

Оси координат x и y помещаются в начало нового (условного) сечения плотины (рис. 5.4, 5.5). В точке A пересечения оси y и уровня верхнего бьефа — начало условной кривой фильтрации. В точке C пересечения верхового откоса дренажного банкета и уровня нижнего бьефа — окончание кривой фильтрации.

Длина расчетного участка S кривой фильтрации по оси x :

$$S = S_1 + B + S_2,$$

где S_2 — расстояние по горизонтали от гребня плотины до точки C (снимается с чертежа плотины).

Расчет координат кривой фильтрации в осях x и y осуществляется по формуле Дюпюи, преобразованной для данной расчетной схемы к виду [7]:

$$y = \sqrt{y_1 \left(1 - \frac{x}{S} \right) \left(1 + y_2 \frac{x}{S} \right)}, \quad (5.1)$$

где x — координата вдоль оси x , изменяющаяся от 0 до S (рекомендуется выполнить расчет для 10-12 точек); y_2 — глубина в нижнем бьефе при НПУ НБ, $y_2 = \text{НПУ НБ} - Z_{\text{дн}}$.

Кривая фильтрации строится сначала на расчетном сечении плотины, а затем по координатам x и y она переносится на исходный профиль. Контролем правильности выполнения расчета и построения кривой фильтрации является положение точки C : на исходной плотине она должна располагаться на уровне нижнего бьефа в пределах дренажной призмы. Кривая фильтрации в верхней части исходной плотины от точки A' до точки B проводится в виде плавной линии таким образом, чтобы она приходилась по нормали к верховому откосу и по касательной к нижележащему участку кривой депрессии.

При фильтрационном расчете плотины с ядром материал ядра заменяется на материал тела плотины из условия равенства потерь напора в ядре $\Delta H_{\text{я}}$ и вставке из материала плотины $\Delta H_{\text{вст}}$:

$$\Delta H_{\text{я}} = \Delta H_{\text{вст}}. \quad (5.2)$$

После замены таким образом материала ядра образуется условный профиль с однородным грунтом, для которого выполняется расчет как для одноднородной земляной плотины.

Положение кривой депрессии для плотины с ядром рекомендуется рассчитывать в последовательности, изложенной ниже.

1. Определяется средняя толщина ядра $\delta_{\text{явр}}$:

$$\delta_{\text{явр}} = \frac{\delta_{\text{яв}} + \delta_{\text{ян}}}{2},$$

где $\delta_{\text{яв}}$, $\delta_{\text{ян}}$ — толщина ядра соответственно по низу и по верху.

2. Из условия (5.2) определяется толщина вставки $\delta_{\text{вст}}$ из материала тела плотины вместо материала ядра по формуле

$$\delta_{\text{вст}} = \delta_{\text{явр}} \frac{k_{\text{ф.пл}}}{k_{\text{ф.я}}},$$

где $k_{\text{ф.пл}}$, $k_{\text{ф.я}}$ — коэффициенты фильтрации соответственно материала тела плотины и ядра.

3. Рассматривается однородная приведенная грунтовая плотина, в которой толщина вставки в средней части (вместо ядра) равна $\delta_{\text{вст}}$. Ширина гребня этой плотины будет складываться из трех частей: B_1 от начала гребня до начала вставки, вставки $\delta_{\text{вст}}$ и B_2 от конца вставки до конца гребня (рис. 5.4).

Размеры B_1 и B_2 определяются по формуле

$$B_1 = B_2 = \frac{B - \delta_{\text{вст}}}{2}.$$

Фильтрационный расчет приведенной однородной грунтовой плотины выполняется в той же последовательности, что и расчет рассмотренной ранее исходной однородной плотины. При этом учитывается то обстоятельство, что соотношение коэффициентов фильтрации тела плотины $k_{\text{ф.пл}}$ и ядра $k_{\text{ф.я}}$ составляет не менее 100, и в этой связи размер вставки $\delta_{\text{вст}}$ получится равным нескольким сотням метров. При выполнении чертежа приведенной однородной грунтовой плотины и ее расчетного сечения можно сделать разрыв в месте расположения вставки. При выполнении фильтрационного расчета приведенной грунтовой плотины необходимо определить положение точек кривой фильтрации при ее входе во вставку (ядро) при $x = S_1 + B_1$, и при ее выходе из вставки (ядра) при $x = S_1 + B_1 + \delta_{\text{вст}}$. Остальные 10–12 точек на кривой фильтрации можно взять в тех же точках, которые рекомендованы ранее при расчете однородной грунтовой плотины. Расчет точек кривой фильтрации выполняется по формуле (5.1), в которой величина S определена с учетом вставки $\delta_{\text{вст}}$.

$$S = S_1 + B_1 + \delta_{\text{вст}} + B_2 + S_2.$$

Из-за малой толщины ядра расчеты промежуточных точек кривой фильтрации внутри ядра (и вставки) можно не выполнять.

После выполнения фильтрационного расчета приведенной однородной грунтовой плотины кривая фильтрации переносится на исходную плотину с ядром по координатам x и y . Контроль правильности выполнения фильтрационного расчета тот же, что и ранее для однородной грунтовой плотины.

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Практическая работа № 6. ЗАТВОРЫ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

Затворы бетонных плотин предназначены для перекрытия их водопропускных отверстий. В настоящее время применяются следующие типы затворов: поверхностные, располагаемые на гребне плотины; глубинные, перекрывающие донные водопропускные отверстия. В практической работе № 6 рассматриваются поверхностные затворы. По способу передачи давления воды на сооружение поверхностные затворы подразделяются на следующие типы:

- передающие давление на быки и устои — плоские, сегментные, цилиндрические;
- передающие давление на гребень плотины — секторные, крышевидные, клапанные, откатные, с поворотными фермами, с поворотными рамами, подкосные, тканевые;
- передающие давление на гребень и быки — мостовые, клапанные, плавучие (батопорты);
- не передающие давление на сооружение — кольцевые.

Наиболее распространенным типом затворов является плоский, имеющий простую конструкцию и показавший в процессе эксплуатации надежность в работе. Он и рассматривается в практической работе № 6.

В конструктивном отношении плоский затвор представляет собой металлический щит, состоящий из набора балочных элементов, обшивки, опорных частей, уплотнений (рис. 6.1 и прил. В). В набор балочных элементов затвора входят ригели, стрингеры, поперечные вертикальные фермы (диафрагмы), стойки пролетные, стойки опорные, горизонтальные фермы.

Ригели представляют собой горизонтальные балки двутаврового сечения, составленные из листовой стали. Ригели являются несущими элементами затвора: они воспринимают гидростатическое давление воды и передают его через опоры на бетон быков и устоев.

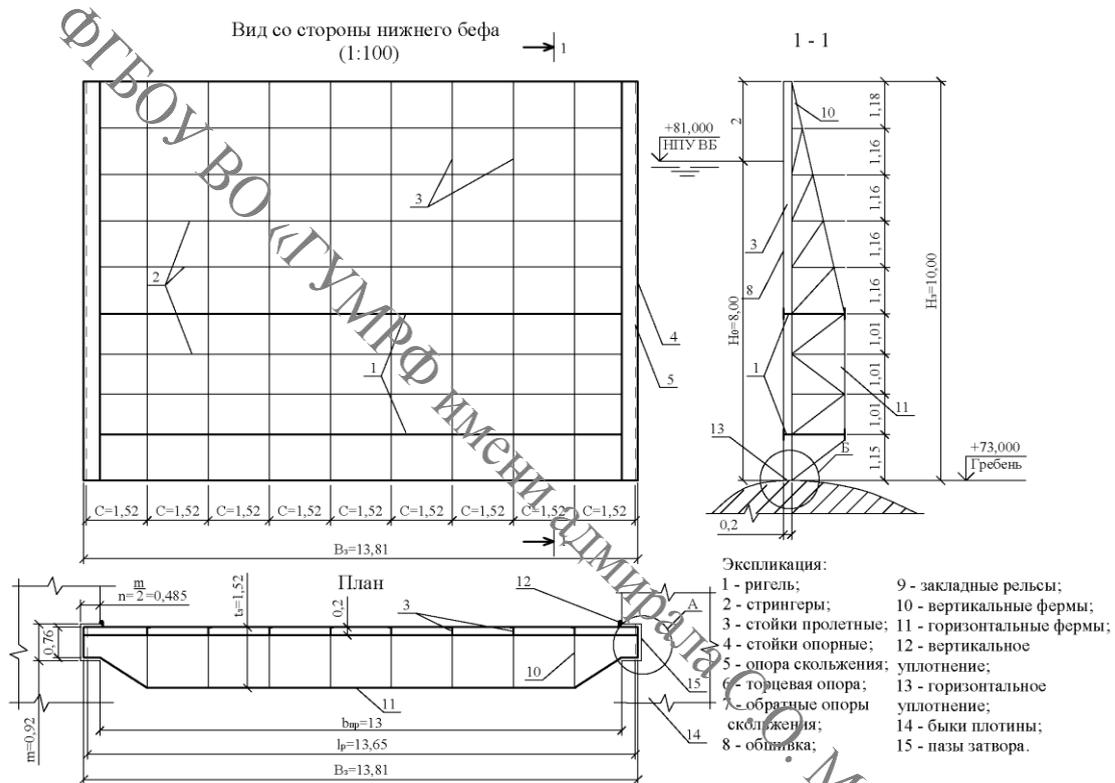


Рис. 6.1. Конструкция плоского затвора

Стрингеры являются вспомогательными горизонтальными элементами набора, располагаемыми по всей высоте затвора. Они выполняются в виде балок из двутавров или швеллеров, размеры которых подбираются по сортаменту.

Диафрагмы обеспечивают жесткость затвора в поперечном направлении и устраиваются в виде вертикальных ферм.

Стойки пролетные являются вспомогательными вертикальными элементами набора, располагаемыми по всей длине затвора. Они, как и стрингеры, выполняются в виде балок из двутавров или швеллеров.

Стойки опорные служат для размещения на них опорных частей затвора. Они изготавливаются в виде вертикальных балок коробчатого сечения из листовой стали.

Горизонтальные фермы обеспечивают жесткость затвора в горизонтальном направлении. Они крепятся к полкам ригелей со стороны нижнего бьефа.

Обшивка предназначена для обеспечения водонепроницаемости затвора. Она изготавливается из листовой стали и крепится к набору сваркой.

Опорными частями затвора являются колеса, катки, опоры скольжения. С появлением синтетических материалов и сплавов все чаще применяются опоры скольжения из фторопласта.

Уплотнения служат для обеспечения водонепроницаемости в местах примыкания металлических элементов затвора к бетону. Горизонтальное уплотнение крепится к нижнему стрингеру затвора по всей его длине. Вертикальные боковые уплотнения располагаются по всей высоте затвора и крепятся к обшивке.

Пазы затвора представляют собой углубления (ниши) в бетоне быков, в которых размещаются опорные стойки затвора. В бетон пазов заделываются *закладные части*, на которые опирается затвор — рельсы. Для уменьшения сил трения в местах примыкания уплотнений в бетон заделываются двутавры, швеллеры или производится облицовка бетона листовой сталью.

При конструировании плоского затвора можно придерживаться следующих рекомендаций.

Исходными данными для конструирования затвора являются: ширина пролета водопропускного отверстия $b_{пр}$, напор на гребне плотины H_0 ; высота затвора H_3 (см. практические работы № 1 – 3).

Определение положения ригелей

Определение положения ригелей производится с использованием эпюры гидростатического давления воды на затвор (рис. 6.1). Наиболее распространенным типом затвора является двухригельный. Ригели должны быть равномерно нагружены, тогда их размеры можно принять одинаковыми. Равенство нагрузки на ригели будет обеспечено, если их расставить на равном расстоянии от равнодействующей гидростатического давления.

По предложению Б. Ю. Калиновича это расстояние можно принять равным $a = H_0/5,25$ (все размеры металлоконструкций определяются в миллиметрах). Величина a подобрана из условия равенства изгибающих моментов в стойке в месте ее опирания на верхний ригель и в пролете между ригелями. Другие размеры по вертикали показаны на рис. 6.1.

Размеры затвора

Размеры затвора зависят от ширины пролета $b_{\text{пр}}$. Расчетная длина пролета l_p между осями опор принимается равной:

$$\text{при } b_{\text{пр}} < 10 \text{ м} \text{ — } l_p = 1,07 b_{\text{пр}};$$

$$\text{при } b_{\text{пр}} > 10 \text{ м} \text{ — } l_p = 1,05 b_{\text{пр}}.$$

Толщина затвора в пролете t_p зависит от l_p и принимается равной:

$$\text{при } l_p < 5 \text{ м} \text{ — } t_p = \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{6} \right) l_p;$$

$$\text{при } 5 < l_p < 10 \text{ м} \text{ — } t_p = \left(\frac{1}{6} \dots \frac{1}{9} \right) l_p;$$

$$\text{при } 10 < l_p < 17 \text{ м} \text{ — } t_p = \left(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{10} \right) l_p;$$

$$\text{при } l_p > 17 \text{ м} \text{ — } t_p = \left(\frac{1}{9} \dots \frac{1}{12} \right) l_p.$$

В пазух толщина затвора уменьшается до $t_p/2$. Размеры пазов зависят от конструкции опор затвора; предварительные размеры пазов принимаются равными:

– ширина m :

$$\text{при } b_{\text{пр}} < 10 \text{ м} \text{ — } m = \left(\frac{1}{7} \div \frac{1}{8} \right) b_{\text{пр}};$$

$$\text{при } b_{\text{пр}} > 10 \text{ м} \text{ — } m = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{11} \right) b_{\text{пр}};$$

– глубина $n = \frac{m}{2}$.

Для образования набора затвора шаг пролетных стоек c и диафрагм по длине l_p выбирается в пределах $c = 1,5 \dots 2,0$, м. Шаг стрингеров d по высоте затвора H_3 выбирается в пределах $d = 1,0 \dots 1,5$, м. При выборе шагов c и d рекомендуется соблюдать соотношение $1 < \frac{c}{d} < 1,5$.

Толщина обшивки δ_0 принимается равной $\delta_0 = 10 \dots 20$, мм.

Конструирование ригеля

Конструирование ригеля заключается в определении размеров его поперечного сечения (рис. 6.1). Высота стенки принимается равной толщине затвора $h_{ст} = t$. Толщина стенки δ_0 , мм, определяется по эмпирической формуле

$$\delta_{ст} = 7 + \frac{3 h_{ст}}{1000}, \quad (6.1)$$

где $h_{ст}$ в формуле (6.1) подставляется в миллиметрах.

Полученная толщина стенки $\delta_{ст}$ округляется в большую сторону до целого числа в миллиметрах. Толщина полки $\delta_{п}$ ригеля принимается равной толщине стенки $\delta_{ст} = \delta_{п}$. Ширина полки $b_{п}$ принимается равной $b_{п} = (20 \dots 30) \delta_{п}$.

Конструирование стрингера

Размеры стрингера зависят от шага пролетных стоек c . Сечение стрингера рекомендуется принимать в виде швеллера с высотой стенки

$h_c = \left(\frac{1}{7} \div \frac{1}{8} \right) c$. По высоте h_c выбирается швеллер из сортамента и выписываются его размеры.

Пролетные стойки устраиваются из швеллеров того же размера, что и стрингеры.

Опоры затвора рекомендуется принимать скользящие с использованием ДСП-Бгт или АСМ К-112 (АСМ — антифрикционный самосмазывающийся материал). Такие же опоры устраиваются с торцов затвора и со стороны верхнего бьефа — для уменьшения вибрации и перекосов затвора при его подъеме и опускании. Опоры устраиваются как по всей высоте затвора, так и из отдельных элементов.

Вертикальные уплотнения изготавливаются из профильной резины и крепятся к затвору с помощью уголков и швеллеров (см. прил. В). Размер уплотнения b_y принимается равным $b_y = 0,20 \dots 0,30$, м.

Усилие для подъема затвора T_n , кН, определяется по формуле

$$T_n = k_1 G_3 + k_2 (F_{тр1} + F_{тр2}) + W_r,$$

где G_3 — вес затвора, определённый ранее в практической работе № 4, кН;

$F_{тр1}$ — силы трения в опорах скольжения, кН, вычисляемые по формуле

$$F_{тр1} = E b_{np} f_1,$$

где E — гидростатическое давление воды на затвор, кН/м

$$E = \rho_v g \frac{H_0^2}{2},$$

f_1 — коэффициент трения фторопласта по нержавеющей стали, равный $f_1 = 0,05 \dots 0,07$; $F_{тр2}$ — силы трения в вертикальных уплотнениях, кН, вычисляемые по формуле

$$F_{тр2} = E b_y f_2,$$

где b_y — размер уплотнения, м; f_2 — коэффициент трения резины по металлу, равный $f_2 = 0,5 \dots 0,6$; W_r — гидродинамическая сила, действующая на затвор в момент отрыва его нижнего уплотнения от гребня плотины и направленная вниз (явление подсоса).

W_r , кН, определяется по формуле

$$W_r = \rho_v g q_r F_r,$$

где q_r — величина подсоса, выраженная в метрах водяного столба; F_r — площадь действия подсоса, равная $F_r = b_{пр} h_c$; h_c — размер нижнего уплотнения, принимаемый равным высоте стенки стрингера; k_1, k_2 — коэффициенты запаса, принимаемые равными соответственно 1,10 и 1,20.

Определение мощности привода затвора

Мощность привода затвора N , кВт, определяется по формуле

$$N = 0,01634 \frac{T_n v_3}{\eta}$$

где v_3 — скорость подъема затвора, принимаемая равной: $v_3 = 0,30 \dots 0,45$, м/мин; ζ η — коэффициент полезного действия привода, принимаемый равным $\eta = 0,60 \dots 0,80$.

Усилие для опускания затвора, кН, вычисляется по формуле

$$T_{\text{оп}} = k G - k (F_{\text{тр1}} + F_{\text{тр2}}) + W_{\text{взв}}, \quad (6.2)$$

где $W_{\text{взв}}$ — взвешивающее давление воды при опускании затвора, кН, максимальная величина которого $W_{\text{взв}} = \rho g H h b$, k — коэффициент запаса, принимаемый при опускании затвора равным: $k_3 = 0,90$.

При вычислении $T_{\text{оп}}$ по формуле (6.2) могут быть два случая:

$T_{\text{оп}} > 0$ — собственного веса затвора достаточно для опускания затвора на гребень плотины;

$T_{\text{оп}} < 0$ — собственного веса затвора недостаточно для его опускания и требуется пригрузить его дополнительным грузом-балластом.

Вес балласта, кН

$$G = k (F_{\text{тр1}} + F_{\text{тр2}}) + W_{\text{взв}} - k_3$$

После конструирования элементов затвора выполняются чертежи: вид затвора со стороны нижнего бьефа; план, поперечный разрез; опора скольжения; горизонтальное уплотнение.

При конструировании затвора рекомендуется типовыми схемами, приведенными в прил. В

Задание на выполнение

| № п/п | Наименование данных | Варианты | | | | | | | | |
|-------|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 1 | Расчетный расход воды, $Q_{расч}$, м ³ /с | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 2300 | |
| 2 | Отметка НПУ верхнего бьефа, НПУ ВБ, м | +43,00 | +38,00 | +37,00 | +45,00 | +60,00 | +62,00 | +64,00 | +35,00 | |
| 3 | Отметка уровня мертвого объема, УМО, м | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +21,00 | +21,00 | +21,00 | +22,00 | +17,00 | |
| 4 | Отметка уровня нижнего бьефа при пропуске паводка, УПВ НБ, м | +26,00 | +24,00 | 24,00 | +27,00 | +27,00 | +25,00 | +26,00 | +20,00 | |
| 5 | Отметка НПУ нижнего бьефа, НПУ НБ, м | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +21,00 | +21,00 | +21,00 | +22,00 | +17,00 | |
| 6 | Отметка dna реки, $Z_{дн}$, м | +16,00 | +16,00 | +15,00 | +14,00 | +14,00 | +14,00 | +15,00 | +10,00 | |
| 7 | Грунт основания ¹⁰ | П | П | Г | П | С | С | С | П | |
| 8 | Коэффициенты фильтрации, м/сут. — основания | 4,00 | — | — | — | — | — | — | 3,50 | |
| | — тела грунтовой плотины | 4,00 | 1,00 | 4,00 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,50 | |
| | — ядра | — | 0,01 | — | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | — | |
| 9 | Тип грунтовой плотины ¹¹ | О | Я | О | Я | Я | Я | Я | О | |

¹⁰ П — песок, Г — глина, С — скала.

¹¹ О — однородная, Я — с ядром.

практических работ

| заданий | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| | 3300 | 4300 | 5300 | 6300 | 7300 | 8300 | 9300 | 2600 | 3600 | 4600 |
| | +37,00 | +34,00 | +48,00 | +50,00 | +62,00 | +64,00 | +69,00 | +39,00 | +39,00 | +53,00 |
| | +17,00 | +14,00 | +21,00 | +19,00 | +23,00 | +22,00 | +24,00 | +18,00 | +15,00 | +22,00 |
| | +20,00 | +18,00 | +25,00 | +25,00 | +27,00 | +26,00 | +29,00 | +21,00 | +19,00 | +26,00 |
| | +17,00 | +14,00 | +21,00 | +19,00 | +23,00 | +22,00 | +24,00 | +18,00 | +15,00 | +22,00 |
| | +10,00 | +7,00 | +12,00 | +12,00 | +14,00 | +15,00 | +16,00 | +11,00 | +8,00 | +13,00 |
| | П | Г | П | П | С | С | С | П | Г | П |
| | | | | | | | | | | |
| | 3,50 | | 4,00 | - | - | - | - | 5,00 | - | 4,00 |
| | 3,50 | 3,50 | 4,00 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 4,00 |
| | | - | - | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | - | - | - |
| | О | О | О | Я | Я | Я | Я | О | О | О |

| № п/п | Наименование данных | Варианты | | | | | | | | |
|----------|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | |
| 1 | Расчетный расход воды, $Q_{расч}$, м ³ /с | 5600 | 7600 | 8600 | 9600 | 1900 | 2900 | 3900 | 4900 | |
| 2 | Отметка НПУ верхнего бьефа, НПУ ВБ, м | +67,00 | +69,00 | +71,00 | +73,00 | +44,00 | +39,00 | +38,00 | +46,00 | |
| 3 | Отметка уровня мертвого объема, УМО, м | +23,00 | +22,00 | +20,00 | +20,00 | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +21,00 | |
| 4 | Отметка уровня нижнего бьефа при пропуске паводка, УПВ НБ, м | +27,00 | +26,00 | +24,00 | +24,00 | +26,00 | +24,00 | 24,00 | +27,00 | |
| 5 | Отметка НПУ нижнего бьефа, НПУ НБ, м | +23,00 | +22,00 | +20,00 | +20,00 | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +21,00 | |
| 6 | Отметка дна реки, $Z_{дно}$, м | +12,00 | +12,00 | +12,00 | +12,00 | +16,00 | +16,00 | +15,00 | +14,00 | |
| 7 | Грунт основания ¹² | С | | С | С | П | П | Г | П | |
| 8 | Коэффициенты фильтрации, м/сут: | | | | | | | | | |
| | – основания | – | – | – | – | 4,00 | – | – | – | |
| | – тела грунтовой плотины – ядра | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,00 | 1,00 | 4,00 | 1,20 | |
| 9 | Тип грунтовой плотины ¹³ | Я | Я | Я | Я | О | Я | О | Я | |

¹² П — песок, Г — глина, С — скала.

¹³ О — однородная, Я — с ядром.

Приложение А (Продолжение)

| заданий | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| | 5900 | 6900 | 7900 | 8900 | 9900 | 10900 | 1700 | 2200 | 3200 | 4200 |
| | +60,00 | +64,00 | +66,00 | +68,00 | +70,00 | +72,00 | +44,00 | +39,00 | +38,00 | +46,00 |
| | +22,00 | +20,00 | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +19,00 | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +21,00 |
| | +27,00 | +25,00 | +28,00 | +25,00 | +26,00 | +24,00 | +26,00 | +24,00 | 24,00 | +27,00 |
| | +22,00 | +20,00 | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +19,00 | +23,00 | +20,00 | +21,00 | +21,00 |
| | +14,00 | +11,00 | +11,00 | +12,00 | +14,00 | +10,00 | +16,00 | +16,00 | +15,00 | +14,00 |
| | С | С | С | С | С | С | Г | П | Г | П |
| | | | | | | | | | | |
| | - | - | - | - | - | - | - | 4,00 | - | 4,00 |
| | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,00 | 3,50 | 4,00 | 5,00 |
| | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | - | - | - | - |
| | Я | Я | Я | Я | Я | Я | О | О | О | О |

| № п/п | Наименование данных | Варианты | | | | | | | | |
|-------|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | |
| 1 | Расчетный расход воды, $Q_{расч}$, м ³ /с | 5200 | 6200 | 7200 | 8200 | 2400 | 4400 | 1700 | 3400 | |
| 2 | Отметка НПУ верхнего бьефа, НПУ ВБ, м | +70,00 | +72,00 | +74,00 | +76,00 | +47,00 | +42,00 | +41,00 | +49,00 | |
| 3 | Отметка уровня мертвого объема, УМО, м | +22,00 | +21,00 | +19,00 | +19,00 | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +20,00 | |
| 4 | Отметка уровня нижнего бьефа при пропуске паводка, УПВ НБ, м | +26,00 | +25,00 | +23,00 | +23,00 | +25,00 | +23,00 | 23,00 | +26,00 | |
| 5 | Отметка НПУ нижнего бьефа, НПУ НБ, м | +22,00 | +21,00 | +19,00 | +19,00 | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +20,00 | |
| 6 | Отметка дна реки, $Z_{дно}$, м | +11,00 | +11,00 | +11,00 | +11,00 | +15,00 | +15,00 | +14,00 | +13,00 | |
| 7 | Грунт основания ¹⁴ | С | С | С | С | П | П | Г | П | |
| 8 | Коэффициенты фильтрации, м/сут: | | | | | | | | | |
| | – основания; | – | – | – | – | 4,00 | – | – | – | |
| | – тела грунтовой плотины | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,00 | 1,00 | 4,00 | 1,20 | |
| | – ядра | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | – | 0,01 | – | 0,01 | |
| 9 | Тип грунтовой плотины ¹⁵ | Я | Я | Я | Я | О | Я | О | Я | |

¹⁴ П — песок, Г — глина, С — скала.

¹⁵ О — однородная, Я — с ядром.

Приложение А (Продолжение)

| заданий | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| | 11200 | 9200 | 9000 | 10200 | 5400 | 6400 | 2500 | 2750 | 3550 | 4050 |
| | +63,00 | +67,00 | +69,00 | +71,00 | +73,00 | +75,00 | +49,00 | +42,00 | +41,00 | +49,00 |
| | +21,00 | +19,00 | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +18,00 | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +20,00 |
| | +26,00 | +24,00 | +27,00 | +24,00 | +25,00 | +23,00 | +25,00 | +23,00 | 23,00 | +26,00 |
| | +21,00 | +19,00 | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +18,00 | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +20,00 |
| | +13,00 | +10,00 | +10,00 | +11,00 | +13,00 | +9,00 | +15,00 | +15,00 | +14,00 | +13,00 |
| | С | С | С | С | С | С | П | П | Г | П |
| | | | | | | | | | | |
| | - | - | - | - | - | - | 4,00 | 4,00 | - | 4,00 |
| | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,00 | 3,50 | 4,00 | 5,00 |
| | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | - | - | - | - |
| | Я | Я | Я | Я | Я | Я | О | О | О | О |

| № п/п | Наименование данных | Варианты | | | | | | | | |
|-------|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | |
| 1 | Расчетный расход воды, $Q_{расч}$, м ³ /с | 1700 | 2700 | 3700 | 4700 | 5700 | 6700 | 7700 | 8700 | |
| 2 | Отметка НПУ верхнего бьефа, НПУ ВБ, м | +44,00 | +39,00 | +38,00 | +46,00 | +61,00 | +63,00 | +65,00 | +69,00 | |
| 3 | Отметка уровня мертвого объема, УМО, м | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +20,00 | +20,00 | +20,00 | +21,00 | +19,00 | |
| 4 | Отметка уровня нижнего бьефа при пропуске паводка, УПВ НБ, м | +25,00 | +23,00 | 23,00 | +26,00 | +26,00 | +24,00 | +25,00 | +24,00 | |
| 5 | Отметка НПУ нижнего бьефа, НПУ НБ, м | +22,00 | +19,00 | +20,00 | +20,00 | +20,00 | +20,00 | +21,00 | +19,00 | |
| 6 | Отметка дна реки, $Z_{дн}$, м | +15,00 | +15,00 | +14,00 | +13,00 | +13,00 | +13,00 | +14,00 | +11,00 | |
| 7 | Грунт основания ¹⁶ | П | П | Г | П | С | С | С | С | |
| 8 | Коэффициенты фильтрации, м/сут: | | | | | | | | | |
| | – основания | 4,00 | – | – | – | – | – | – | – | |
| | – тела грунтовой плотины | 4,00 | 1,00 | 4,00 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| | – ядра | – | 0,01 | – | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| 9 | Тип грунтовой плотины ¹⁷ | О | Я | О | Я | Я | Я | Я | Я | |

¹⁶ П — песок, Г — глина, С — скала.

¹⁷ О — однородная, Я — с ядром.

Приложение А (Окончание)

| заданий | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| | 9700 | 10700 | 11700 | 2500 | 3500 | 4500 | 6500 | 7500 | 8500 | 9500 |
| | +71,00 | +73,00 | +76,00 | +40,00 | +40,00 | +54,00 | +70,00 | +70,00 | +70,00 | +54,00 |
| | +19,00 | +18,00 | +17,00 | +17,00 | +14,00 | +21,00 | +23,00 | +17,00 | +14,00 | +21,00 |
| | +25,00 | +23,00 | +22,00 | +20,00 | +18,00 | +25,00 | +28,00 | +20,00 | +18,00 | +25,00 |
| | +19,00 | +18,00 | +17,00 | +17,00 | +14,00 | +21,00 | +23,00 | +17,00 | +14,00 | +21,00 |
| | +13,00 | +9,00 | +8,00 | +10,00 | +7,00 | +12,00 | +15,00 | +10,00 | +7,00 | +12,00 |
| | С | С | С | П | Г | П | С | П | Г | П |
| | | | | | | | | | | |
| | – | – | – | 5,00 | – | 4,00 | – | 5,00 | – | 4,00 |
| | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 4,00 | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 4,00 |
| | 0,01 | 0,01 | 0,01 | – | – | – | 0,01 | – | – | – |
| | Я | Я | Я | О | О | О | Я | О | О | О |

Инструкция по определению центра тяжести сложных фигур в среде AUTOCAD 2012

Необходимость определения центра тяжести сложных фигур возникает в практической работе №4 в связи с вычислением моментов сил относительно точки, расположенной в центре флютбета плотины (рис. Б.1). Ниже представлена последовательность операций по определению координат X и Y центра тяжести тела водосливной плотины.

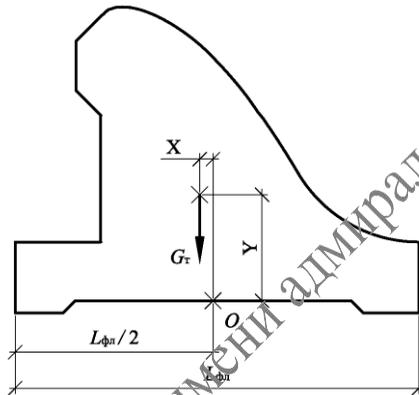


Рис. Б.1. Тело бетонной водосливной плотины

Для определения центра тяжести сложной геометрической фигуры рекомендуется придерживаться следующей последовательности.

После вычерчивания контура тела сооружения необходимо перенести начало координат в точку O , расположенную по центру основания плотины. Для этого следует воспользоваться командой **Начало** панели инструментов ПСК (рис. Б.2).



Рис. Б.2. Панель ПСК с указанием команды **Начало**

Перенос начала координат осуществляется с помощью курсора мыши.

Далее необходимо преобразовать объект (контур тела сооружения) в объект-область, для которого станет возможным вывод информации о геометрических характеристиках. С этой целью следует активировать команду **Область** панели инструментов **Рисование** (рис. Б.3).



Рис. Б.3. Панель **Рисование** с указанием команды **Область**

После выбора команды **Область** необходимо выделить линии, обозначающие контур сооружения; по окончании выделения нажать клавишу **Enter**.

Для созданного объекта-области вывод информации о геометрических характеристиках осуществляется с помощью команды **Геометрия и масса** панели инструментов **Сведения** (рис. Б.4).



Рис. Б.4. Панель **Сведения** с указанием команды **Геометрия и масса**

После активации команды **Геометрия и масса** необходимо выбрать интересующий объект и нажать клавишу **Enter**.

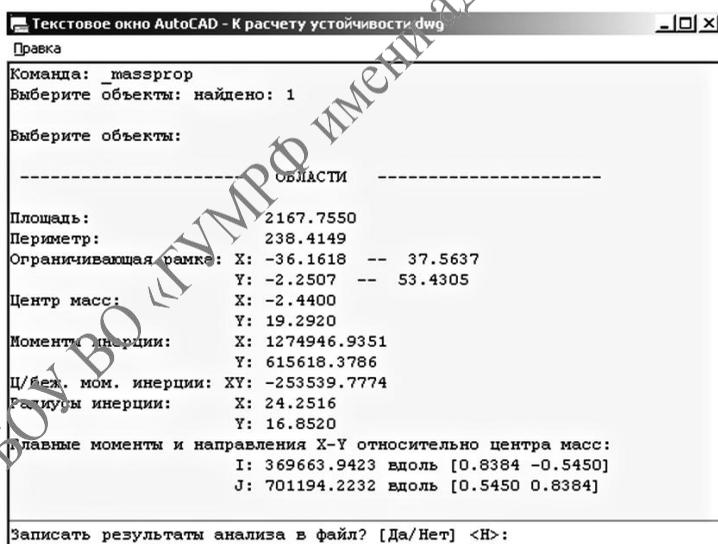


Рис. Б.5. Текстовое окно с информацией о геометрии и массе

Искомые координаты X и Y центра тяжести тела водосливной плотины необходимо взять из сведений о центре масс.

Типовые схемы узлов уплотнений и опорно-ходовых частей
плоских затворов

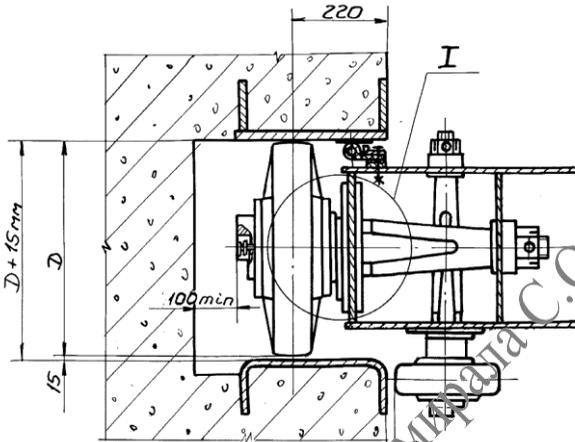


Рис. В.1. Установка в пазы затвора с колесами диаметром 350 – 700 мм на консольных осях и уплотнением с безнапорной стороны

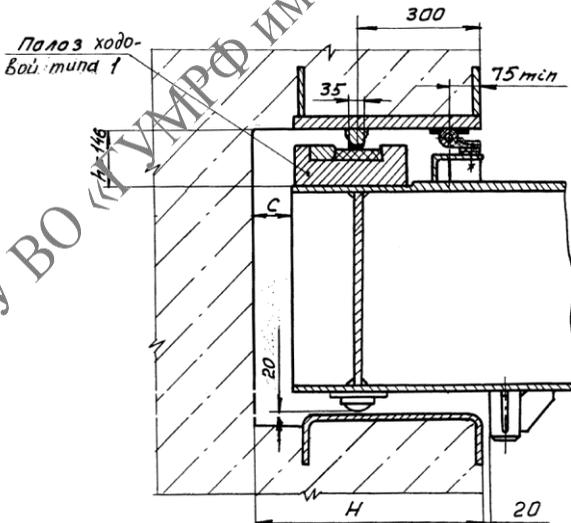


Рис. В.2. Установка в пазы затвора со скользящим полозом первого типа и уплотнением с безнапорной стороны

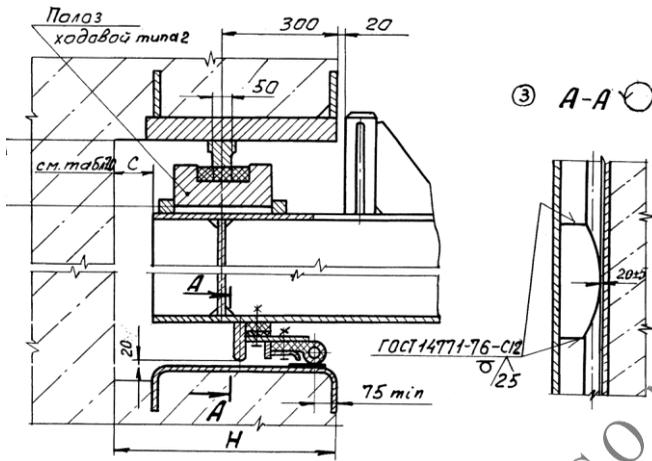


Рис. В.3. Установка в пазы затвора со скользящим полозом второго типа и уплотнением с напорной стороны

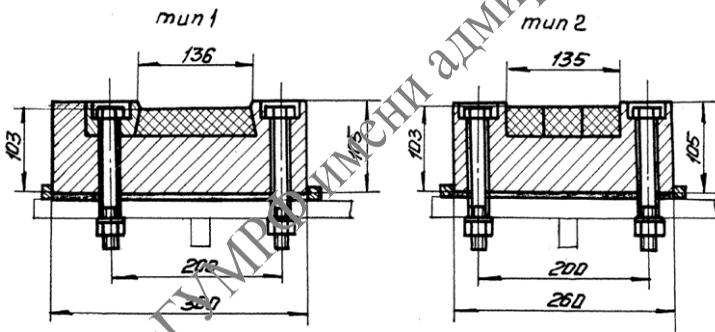


Рис. В.4. Полоз ходовой

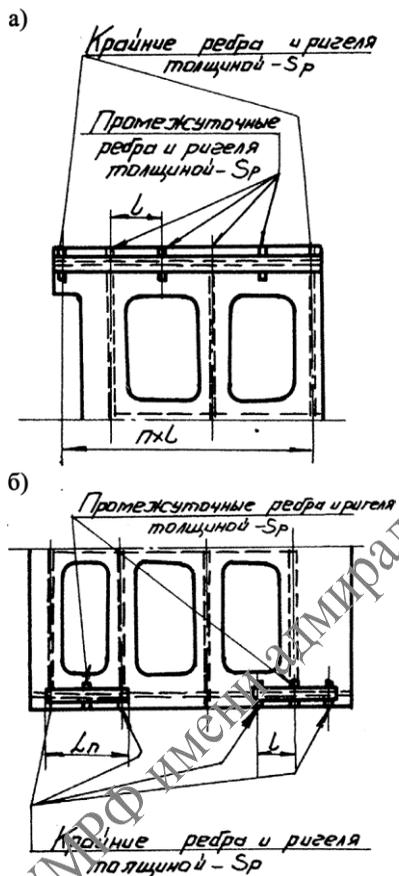


Рис. В.5. Разновидности полозьев плоского затвора: а — сплошной полоз на всю высоту затвора; б — полоз из отдельных элементов

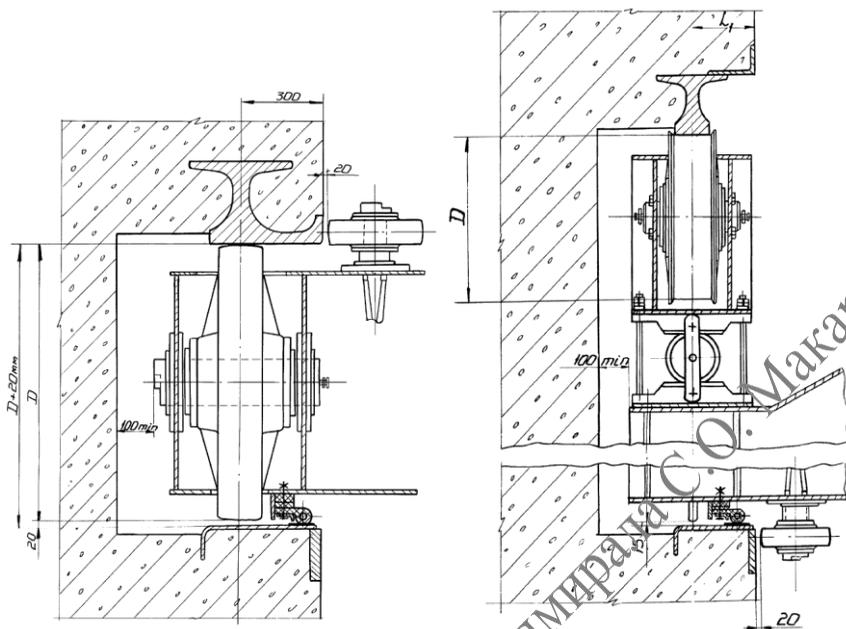


Рис. В.6. Установка в пазы затвора с колесами диаметром 800 – 1300 мм на двух опорах и уплотнением с напорной стороны

Рис. В.7. Установка в пазы затвора со сварными балансирными тележками и уплотнением с напорной стороны

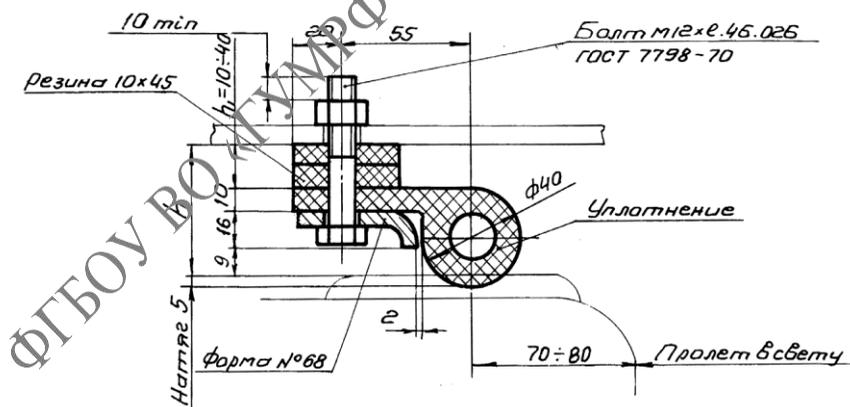


Рис. В.8. Конструкция вертикального уплотнения для затворов с напором до 15 м при расположении с напорной стороны

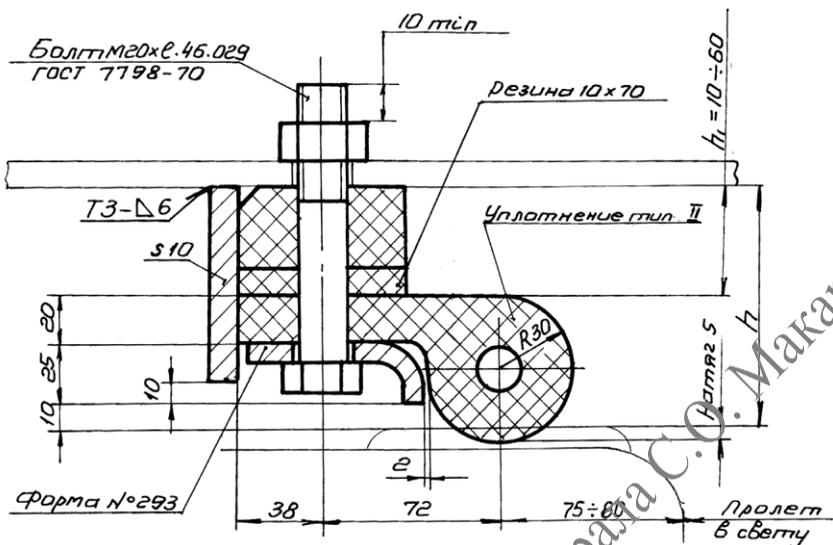


Рис. В.9. Конструкция вертикального уплотнения для затворов с напором от 10 до 20 м при расположении с напорной стор

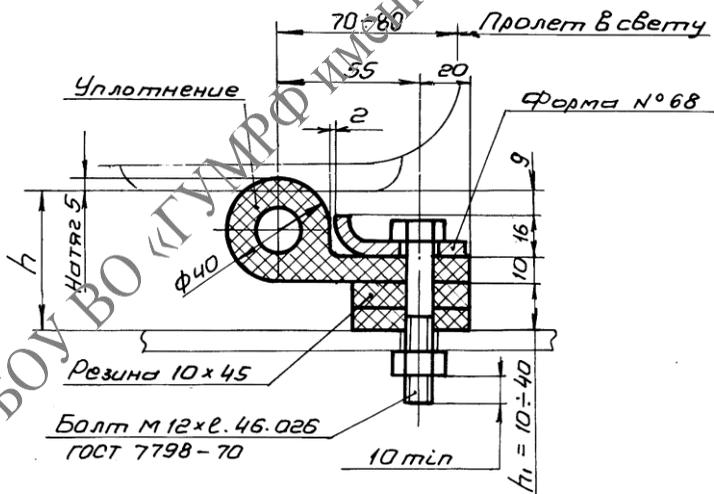


Рис. В.10. Конструкция вертикального уплотнения для затворов с напором до 15 м при расположении с безнапорной стороны

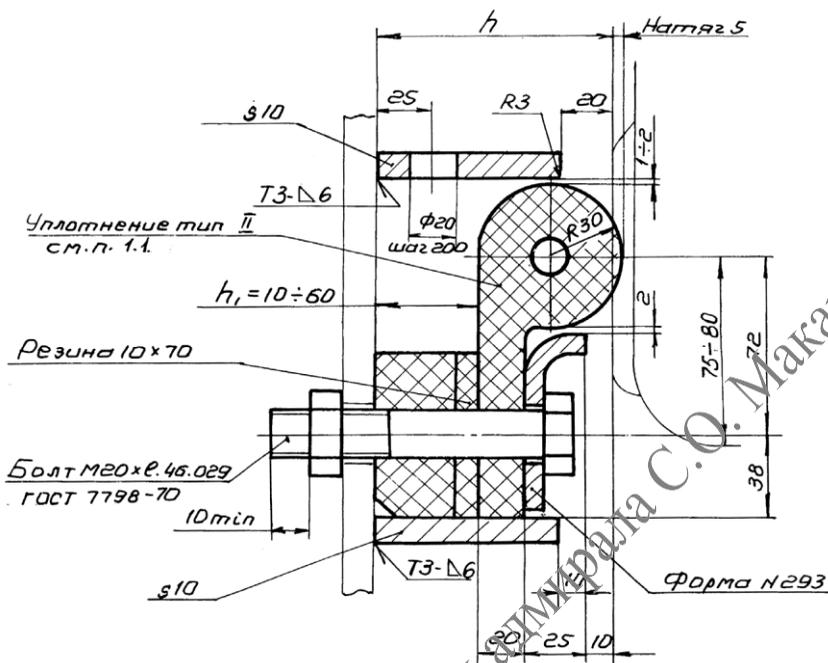


Рис. В.11. Конструкция вертикального уплотнения для затворов с напором от 10 до 20 м при расположении с безнапорной стороны

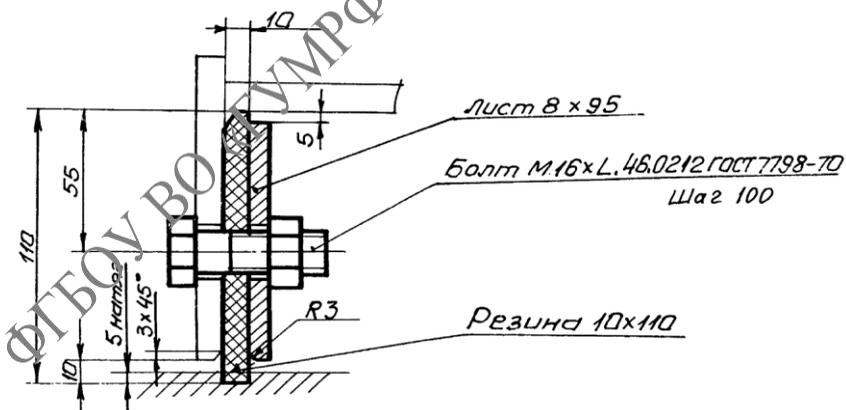


Рис. В.12. Конструкция нижнего уплотнения для затворов с напором до 15 м

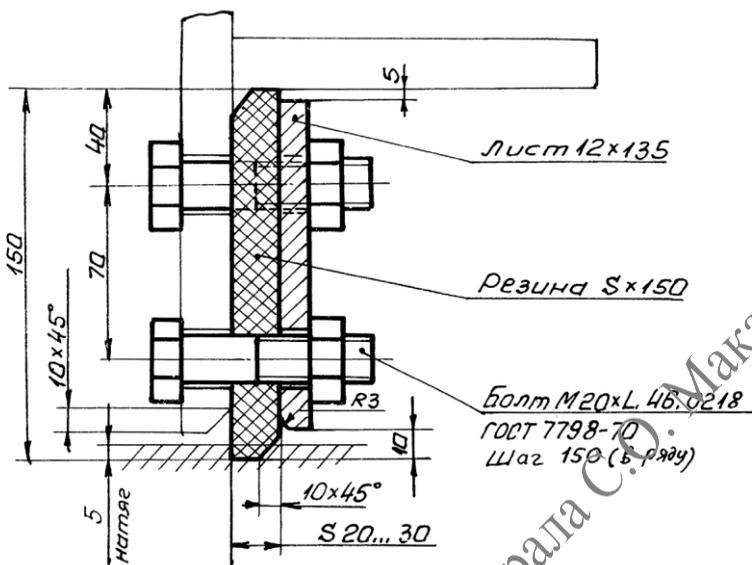


Рис. В.13. Конструкция нижнего уплотнения для затворов с напором от 15 до 60 м

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О.Макарова»

Перечень вопросов к защите практических работ

Общие вопросы

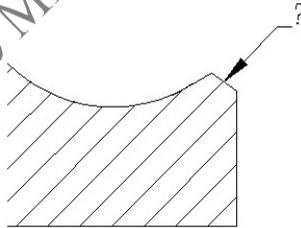
1. Дайте определение гидротехнического сооружения.
2. Что называют гидроузлом?
3. Чем плотина отличается от дамбы?
4. Чем отличается бетонная плотина от железобетонной?
5. Что такое НПУ?
6. Что такое ФПУ?
7. Что такое УМО?
8. Что такое ВБ и НБ?
9. Что такое напор на сооружение?
10. Чему равно гидростатическое давление воды в водоеме на глубине 10 м, выраженное в м вод. ст., кг/см² и в кПа?
11. Чему равна плотность воды в кг/см³, кг/м³, кг/л?
12. Чему равен объемный вес воды в кН/м³?

Водосливной фронты бетонной плотины

1. Что называют удельным расходом воды?
2. Какие формы входных граней бычков Вы знаете?
3. Как обозначается коэффициент подтопления?
4. В каких пределах изменяется коэффициент подтопления?
5. Когда учитывается коэффициент подтопления?
6. Что такое m ? Что характеризует m ?
7. Чему равно ориентировочное значение коэффициента m для плотин практического профиля?
8. Что такое вакуум?
9. В каких пределах изменяется значение вакуума в м вод. ст. и в кг/см²?
10. Преимущества и недостатки вакуумных и безвакуумных профилей водосливной плотины.
11. С какой целью устраивают температурные и температурно-осадочные швы?
12. Как часто устраивают температурно-осадочные швы в бетонных плотинах?
13. Назначения бычков плотин.
14. Почему удельный расход на рисберме меньше удельного расхода на гребне плотины?

Сопряжение бьефов

1. По каким координатам строится водосливная грань бетонных плотин практического профиля безвакуумного очертания?
2. Какие режимы сопряжения бьефов используются при проектировании водосливных плотин?
3. В каких случаях применяется донный режим сопряжения бьефов?
4. В каких случаях применяется режим сопряжения с отбросом струи?
5. В каком случае применяется поверхностный режим?
6. Почему высота сечения сбрасываемого с плотины потока уменьшается по мере понижения отметки?
7. Условие возникновения отогнанного прыжка.
8. Условие возникновения затопленного прыжка.
9. Почему отогнанный прыжок не допускается при проектировании водосливных плотин?
10. Чем определяется длина водобоя?
11. Мероприятия по созданию условий затопления прыжка.
12. Что такое неразмывающая скорость?
13. Чему равна неразмывающая скорость для песка средней крупности, известняка и бетона?
14. При каком угле наклона носка плотины отброс струи окажется максимальным?
15. Почему при проектировании водосливных плотин с высоким уступом ограничиваются величиной угла носка равной 30° ?
16. С какой целью за носком водосливной плотины устраивают короткую наклонную грань (см. рисунок)?



17. Что является критерием при определении угла наклона схода струи и высоты носка?
18. От чего зависит глубина воронки размыва?

Поперечное сечение бетонной водосливной плотины

1. Что такое понур, где располагается?
2. Что такое рисберма, где располагается?

3. Что такое водобой, где располагается?
4. Что такое флютбет и где располагается?
5. С какой целью устраиваются смотровые потерны?
6. Что собой представляет дренаж, расположенный вдоль напорной грани бетонной плотины?
7. С какой целью флютбет бетонной плотины на скальном основании устраивается ступенчатым?
8. Под каким углом к горизонту расположены ступени флюتبета бетонной плотины и почему?
9. С какой целью устраивается цементационная завеса?
10. Почему нижняя потерна бетонных плотин на скальном основании имеет большие размеры по сравнению с вышерасположенными?
11. Для чего нужен ремонтный затвор и где он располагается?
12. Из каких элементов состоит бетонная водосливная плотина?
13. Назначение понура.
14. Назначение водобоя.
15. Назначение рисбермы.
16. С какой целью устраивают консоль флюتبета у напорной грани тела плотины?
17. В каком случае устраивается водобойный колодец?
18. Назначение успокоительного ковша.
19. Куда отводится вода из смотровой потерны (и на какую высотную отметку)?
20. При каких условиях устраивается грунтовый понур?
21. Из какого материала устраивается грунтовый понур и каким образом обеспечивается его фильтрационная прочность?

Проверка устойчивости и прочности бетонных водосливных плотин

1. Какие расчетные случаи для ГТС Вы знаете?
2. Как виды сочетания нагрузок для ГТС Вы знаете?
3. При каком уровне воды в верхнем бьефе рассчитывают плотину в основном сочетании нагрузок?
4. При каком уровне воды в верхнем бьефе рассчитывают плотину в особом сочетании нагрузок?
5. Чему равна равнодействующая гидростатического давления на глубине h (показать эпюру гидростатического давления, равнодействующую гидростатического давления и порядок вычисления).
6. При расчете устойчивости на плоский сдвиг бетонной плотины, какие горизонтальные силы являются сдвигающими, а какие удерживающими?
7. Чему равен фактический коэффициент общей устойчивости сооружения?
8. Чему равен допускаемый коэффициент общей устойчивости сооружения?

9. Что означает коэффициент устойчивости плотины на плоский сдвиг, равный 1,15?
10. Постройте эпюру фильтрационного противодавления, действующую на плотину треугольного профиля (без понура, шпунта, водобоя) для однородного грунта, подпишите значения ее ординат.
11. Какие виды потерь общей устойчивости характерны для плотин на скальном основании и чем они характеризуются?
12. Какие виды потерь общей устойчивости характерны для плотин на нескальном основании и чем они характеризуются?
13. Каким образом цементационная завеса оказывает влияние на устойчивость сооружения?
14. Какие требования предъявляют к величинам напряжений в грунте основания под подошвой тела сооружения?
15. Почему эффективность использования анкерного понура на песчаных грунтах значительно ниже, чем на глинистых?
16. Для какой части длины водосливного фронта сооружения выполняется расчет общей устойчивости плотины на плоский сдвиг?
17. Чему равна плотность бетона в $\text{кг}/\text{м}^3$?
18. Чему равен объемный вес бетона в $\text{кН}/\text{м}^3$?
19. Чему равна в общем случае сила трения?
20. Чему равен коэффициент трения бетона по грунту?
21. Как обозначается угол внутреннего трения грунта?
22. Ориентировочные значения угла внутреннего трения для песка и глины.
23. Что такое удельное сцепление, как обозначается, в чем измеряется?
24. Ориентировочные значения удельного сцепления для песка и глины в кПа .
25. Чему равна сила сцепления?

Грунтовые плотины

1. От чего зависит высотное положение гребня плотины?
2. От чего зависит ширина гребня плотины?
3. Какими нагрузками определяется конструкция верхового откоса?
4. Чем определяется конструкция низового откоса?
5. Что является критерием при определении уклонов верхового и низового откосов?
6. Назначение дренажа и обратного фильтра, устраиваемых на верховом откосе плотины.
7. С какой целью устраивают дренажный банкет у низового откоса?
8. Конструкция и назначение обратных фильтров.
9. Из чего выполняется грунтовый обратный фильтр?
10. Какой Вы знаете аналог грунтового обратного фильтра?

11. Какие конструктивные решения необходимо принять в случае, если кривая депрессии выйдет на низовой откос?
12. Что из себя представляют габионы?
13. Каким образом укладывают камень в габионы?
14. Какая минимальная величина заглубления кривой депрессии должна быть обеспечена при проектировании грунтовых плотин?
15. Какие требования предъявляются к высотному положению верха ядра грунтовой плотины?
16. Какой расчет необходимо выполнить для проверки фильтрационной прочности ядра плотины?
17. Условие фильтрационной прочности грунтовой плотины.
18. С какой целью устраивается ядро сооружения?
19. В каком случае положение кривой депрессии не зависит от рода грунта тела сооружения?
20. Что такое кривая депрессии?
21. Что такое эквипотенциали?
22. Что такое линия тока?
23. Что такое гидродинамическая сетка фильтрационного потока?
24. Постройте гидродинамическую сетку фильтрационного потока в теле однородной грунтовой плотины (плотину изобразить схематично).
25. Какие параметры фильтрационного потока меняются при изменении рода грунта в теле однородной плотины?
26. Для каких целей используется уравнение Дюпюи при расчете грунтовых плотин?
27. Чему равен градиент напора фильтрационного потока?
28. Для какой расчетной схемы было получено уравнение Дюпюи?
29. Что выполняется в практической работе для возможности применения уравнения Дюпюи?
30. Что называют заложением откоса?
31. Чему равен угол наклона откоса с уклоном 1:3 (расписать решение)?
32. Чему равен угол наклона откоса с заложением, равным 5 (расписать решение)?
33. Постройте верховой откос грунтовой плотины с заложением 2 от дна водоема (отметка минус 5,00 м) до гребня плотины (отметка +7,00 м). Без масштаба, соблюдая необходимые пропорции.

Затворы

1. Разновидности плоских поверхностных затворов (назовите минимум четыре вида).
2. Изобразите шандорный затвор.

3. Изобразите вальцовый затвор.
4. Изобразите плоский затвор.
5. Изобразите секторный затвор.
6. Изобразите сегментный затвор.
7. Из каких основных несущих элементов состоит плоский затвор?
8. Что такое уплотнение затвора?
9. Изобразите боковое резиновое уплотнение затвора.
10. Изобразите нижнее резиновое уплотнение затвора.
11. Принцип работы гибкого уплотнения затвора.
12. Разновидности опорно-ходовых частей затвора.
13. На что опирается затвор при полном закрытии?
14. В каких элементах затвора используется фторопласт?
15. В чем заключается преимущество фторопласта?

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Библиографический список

1. Чугаев Р. Р. Гидравлика: учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. — 4-е изд., доп. и перераб. — Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982. — 672 с.
2. Справочник по гидравлическим расчетам / под редакцией П. Г. Киселева. — 4-е изд., переработ. и доп. — М.: Энергия, 1972.
3. Методы расчета устойчивости и прочности гидротехнических сооружений (железобетонные конструкции на нескальных основаниях) / под ред. М. М. Гришина. — М.: Госстройиздат, 1961. — 392 с.
4. Гидротехнические сооружения: в 2 ч. / под ред. М. М. Гришина. — М.: Высшая школа, 1979. — Ч. 1. — 615 с.
5. Гидротехнические сооружения: в 2 ч. / под ред. М. М. Гришина. — М.: Высшая школа, 1979 — 336 с.
6. Чугаев Р. Р. Гидротехнические сооружения: в 2 ч. / Р. Р. Чугаев. — М.: Агропромиздат, 1985. — Ч. 1: Глухие плотины. — 318 с.
7. Чугаев Р. Р. Гидротехнические сооружения: в 2 ч. / Р. Р. Чугаев. — М.: Агропромиздат, 1985. — Ч. 2: Водосливные плотины. — 302 с.
8. Гидротехнические сооружения: справочник проектировщика / под ред. В. П. Недриги. — М.: Стройиздат, 1983. — 543 с.
9. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 634 с.
10. Свод правил: СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения / Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 / [Текст]: нормативно-технический материал. — М.: [ООО «Аналитик»], 2012. — 39 с.
11. Свод правил: СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82 / [Текст]: нормативно-технический материал. — М.: ООО «Аналитик», 2014. — 111 с.
12. Свод правил: СП 40.13330.2012. Плотины бетонные и железобетонные / Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85* / [Текст]: нормативно-технический материал. — М.: ООО «Аналитик», 2012. — 65 с.
13. Свод правил: СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов / Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* / [Текст]: нормативно-технический материал. — М.: ООО «Аналитик», 2012. — 85 с.

Рябов Георгий Георгиевич, канд. техн. наук, доц.,
Смирнов Руслан Сергеевич, вед. инженер,
Никитина Татьяна Юрьевна, ассистент,
Нычик Татьяна Юрьевна, ст. преподаватель

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Учебно-методическое пособие



198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2
Тел. 812-748-97-19, 748-97-23
E-mail: izdat@gumrf.ru

Ответственный за выпуск Сатикова Т. Ф.
Редактор Лазарева Е. В.
Компьютерная верстка Смирнова М. В.

Подписано в печать 28.12.2015 г.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 5,5. Тираж 100 экз. Заказ № 572/15