

027.8
Т-38
38422

**ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ**

**ПОДЗЕМНЫЙ КОНТУР
СОПРЯГАЮЩИХ УСТОЕВ ПЛОТИН**

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ

ПОДЗЕМНЫЙ КОНТУР
СОПРЯГАЮЩИХ УСТОЕВ ПЛОТИН

МСЭС-126-62

*Составлены во Всесоюзном научно-
исследовательском институте
гидротехники и.м. Б. Е. Веденеева
и утверждены Главэнергопроектом
МСЭС*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
МОСКВА

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
1962

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
ПОДЗЕМНЫЙ КОНТУР СОПРЯГАЮЩИХ УСТОЕВ ПЛОТИН

Редактор *И. А. Гиршкан*

Технический редактор *Е. Н. Боравская*

М-04723. 26-VII-1962 г. Печ. л. 1³/₄. Зак. 294. Тир. 1500.

Типография Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники
имени Б. Е. Веденеева. Ленинград, К-64, Гжатская ул., 21.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие технические условия и нормы (ТУиН) составлены в Фильтрационной лаборатории имени акад. Н. Н. Павловского Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники (ВНИИГ) имени Б. Е. Веденеева профессором, доктором технических наук Р. Р. Чугаевым.

При составлении ТУиН были использованы соответствующие литературные источники и результаты исследований ВНИИГ, позволившие по-новому осветить основные вопросы проектирования подземного контура сопрягающих устоев.

ТУиН разработаны в предположении, что строительные работы по возведению проектируемого сооружения будут осуществляться вполне удовлетворительно с соблюдением указаний СНиП и действующих строительных норм.

ТУиН охватывают следующие основные вопросы:

- 1) различные проектные соображения, связанные с проектированием подземного контура устоев;
- 2) упрощенный расчет фильтрации воды в обход устоя;
- 3) расчет фильтрационной прочности засыпки пазухи устоя.

Необходимо подчеркнуть, что вопросы, излагаемые в настоящих ТУиН, тесно связаны с вопросами, освещенными в Технических условиях и нормах проектирования гидротехнических сооружений «Подземный контур плотин на скальном основании, МЭС-125-57».

Для ознакомления с основными принципами, положенными в основу даваемой в настоящих ТУиН методики, рекомендуется обращаться к книге профессора, доктора технических наук Р. Р. Чугаева «Подземный контур гидротехнических сооружений», Госэнергоиздат, 1962.

В этой книге обосновывается и более подробно разъясняется существо различных новых предложений, приводимых в ТУиН.

Просьба ко всем организациям и лицам, которые будут пользоваться настоящими ТУиН, прислать свои замечания по адресу: Ленинград, К-64, Гжатская ул., 21, Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева.

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР	Ведомственные строительные нормы	МСЭС-126-62
	Подземный контур сопрягающих устоев плотин <hr style="width: 10%; margin: auto;"/> Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений	

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

§ 1. Область применения. В настоящих Технических условиях и нормах рассматривается случай сопрягающего устоя, пазуха которого заполнена песчаным или глинистым грунтом.

ТУиН распространяются на проектирование подземного контура сопрягающих устоев плотин и других напорных гидротехнических сооружений всех классов по капитальности, входящих в состав энергетических и комплексно энергетических гидроузлов.

§ 2. Терминология. Сопрягающим устоем плотины (или другого напорного гидротехнического сооружения) называется береговой устой, а также устой, сопрягающий данное сооружение с земляной плотинной.

При рассмотрении горизонтального сечения сопрягающего устоя надлежит различать линию, ограничивающую сопрягающий устой с внутренней его стороны (со стороны грунта засыпки) и отделяющую все конструктивные его части (верховую обратную стенку или верховое откосное крыло, продольную стенку, шпору устоя, низовую обратную стенку или низовое откосное крыло, дренаж низовой части устоя и т. п.) от грунта берега или грунта земляной плотины, с которой сопрягается устой. Указанная линия может быть названа действительным подземным контуром устоя. Просто подземным контуром устоя условно называется та часть упомянутой линии, которая ограничивает с боку (с внутренней стороны устоя) только водонепроницаемые элементы устоя, сопрягающиеся непосредственно с грунтом берега или грунтом, образующим земляную плотину (например, линию 1—2—3—4—5—6 на рис. 1).

Под рациональным подземным контуром проектируемого устоя надлежит понимать такой подземный его контур (из целого ряда возможных), при котором, с одной стороны, устой

Внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники (ВНИИГ) им. Б. Е. Веленеева	Утверждены Главэнергопроектом 7 октября 1961 г.	Срок введения 7 октября 1961 г.
--	---	--

и засыпка его пазухи будут прочны и устойчивы, с другой же стороны, в наиболее рациональной форме будут сочетаться следующие условия: а) экономичность плотины, б) простота производства строительных работ и сроки их выполнения, в) возможность использования для постройки плотины местных строительных материалов, г) удобство эксплуатации сооружения.

Фильтрационной прочностью грунта называется способность его сопротивляться механической суффозии и местному фильтрационному выпору.

§ 3. Общий порядок проектирования подземного контура устоя. Выбрав тип устоя и установив основные его размеры (см. ниже § 5), необходимо далее при помощи расчетов наметить ряд вариантов подземного контура данного устоя, равнопрочных как в отношении устойчивости и прочности стенок устоя, так и в отношении фильтрационной прочности засыпки пазухи устоя.

Устойчивость и прочность стенок устоя должны оцениваться при помощи статических расчетов.

Расчеты фильтрационной прочности засыпки пазухи устоя, при помощи которых в основном назначаются размеры подземного контура устоя, приводятся ниже в разделе IV.

Получив ряд равнопрочных вариантов устоя, характеризуемых приемлемым запасом прочности, рациональный подземный контур устанавливаем методом сравнения намеченных равнопрочных вариантов с учетом условий, перечисленных в § 2.

§ 4. Принятые обозначения основных величин (рис. 1):

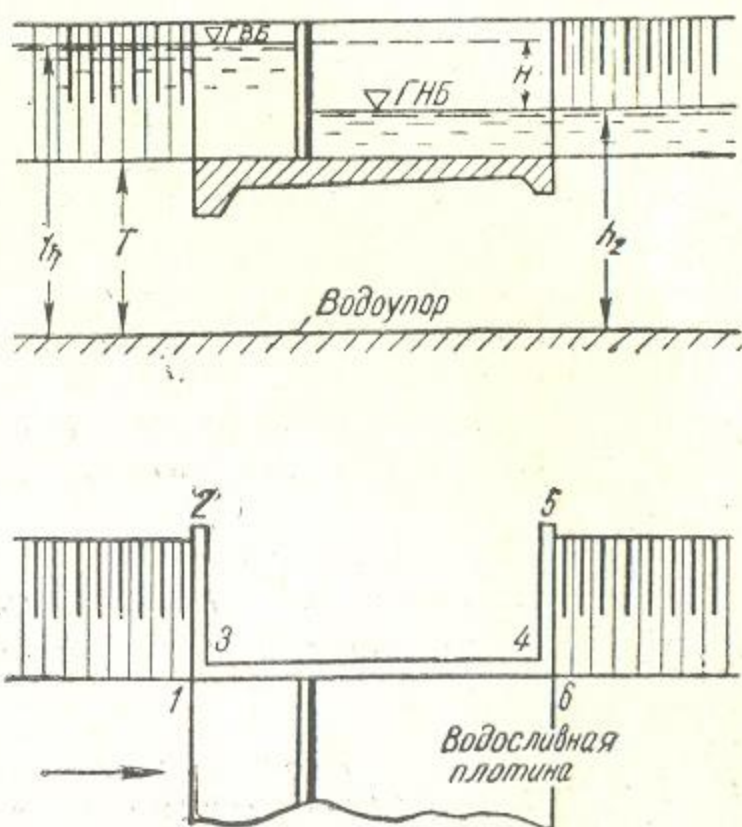


Рис. 1.

L — длина подземного контура, т. е. длина линии 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6;

H — напор на сооружении, т. е. разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах;

T — глубина залегания водоупора под дном верхнего или нижнего бьефа;

k — коэффициент фильтрации грунта;

J — пьезометрический уклон (иначе гидравлический уклон или градиент напора) в данной точке области фильтрации, равный

$$J = \frac{\Delta h}{\Delta l}, \quad (1)$$

где Δl — элементарная длина, измеренная в данной точке, вдоль линии тока; Δh — потеря напора на этой элементарной длине.

II. ДАННЫЕ ПРОЕКТНОГО ХАРАКТЕРА

§ 5. Общие указания. Надлежит различать следующие типы устоев.

1. Устой с обратными стенками, причем по расположению обратных стенок различают два случая:

а) случай, когда обратные стенки располагаются нормально к продольной стенке устоя (рис. 2, а);



Рис. 2.

б) случай, когда обратные стенки располагаются под некоторым углом, не равным 90° , к продольной стенке (рис. 2, б).

2. Устой с откосными крыльями, в частности с «ныряющими крыльями» (гребень крыльев уходит под горизонт воды); откосные крылья устоя могут быть прямолинейными (рис. 3) или криволинейными в плане.

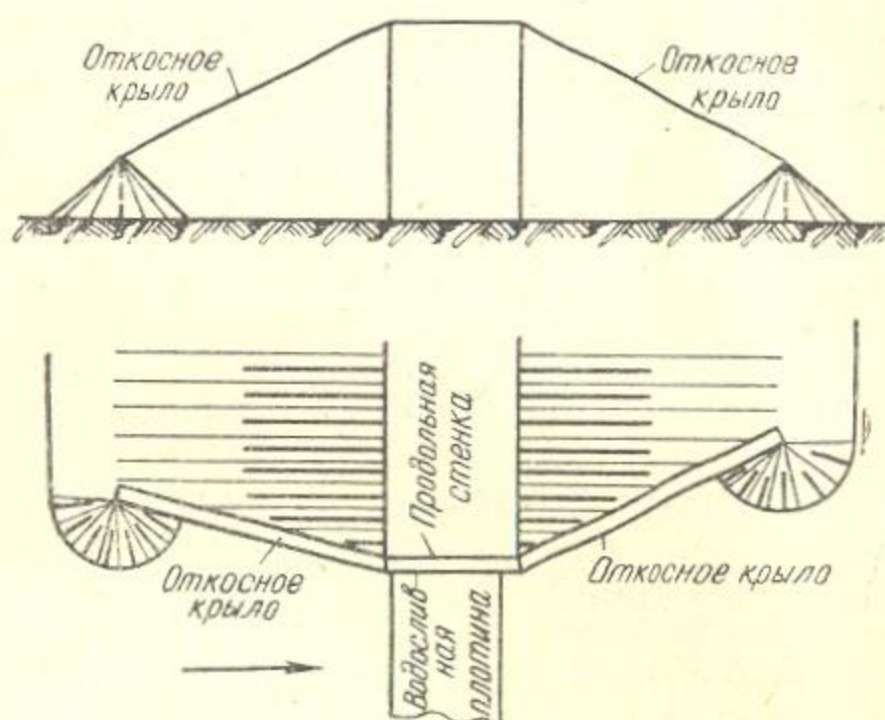


Рис. 3.

3. Устой с косыми плоскостями (рис. 4).

Могут применяться также устои комбинированного типа, когда, например, в верховой части устоя имеется обратная стенка, а в низовой—откосное крыло и т. п.



Рис. 4.

Тип устоя, а также его основные размеры следует выбирать в зависимости от следующих главных факторов:

- а) условий пропуска воды через отверстия плотины;
- б) конфигурации грунтового массива, к которому примыкает бетонная плотина;
- в) типа и размеров затворов плотины, перекрывающих отверстия плотины;
- г) размещения затворов плотины и их подъемных механизмов;
- д) размещения на плотине служебных и проезжих мостов.

Условия фильтрации воды в обход устоя при выборе его типа, как правило, играют второстепенную роль. Эти условия должны учитываться в основном только при проектировании внутренней поверхности устоя (поверхности устоя, обращенного в сторону грунта).

При проектировании внутренней поверхности устоя надлежит учитывать следующие основные соображения:

а) грунт, примыкающий к внутренней поверхности устоя, по возможности должен быть маловодопроницаем, с тем чтобы не получить излишне большого фильтрационного расхода воды в этом месте;

б) этот грунт не должен быть размываемым фильтрационным потоком;

в) давление грунтовой воды на низовую часть устоя должно быть по возможности меньшим, а следовательно кривая депрессии, опоясывающая устоя, должна лежать в этом месте возможно ниже;

г) опасность выщелачивания бетона, образующего устоя, за счет фильтрации через него воды должна быть по возможности меньшей.

Как следствие указанных основных соображений надлежит различать следующие вопросы, связанные с проектированием внутренней поверхности устоя:

1) проектирование внутреннего очертания устоя в вертикальном поперечном его сечении;

2) проектирование внутреннего очертания устоя в плане, т. е. проектирование подземного контура устоя;

3) проектирование засыпки пазухи устоя (выбор грунта для образования той части насыпи, которая непосредственно примыкает к устою), а также проектирование производства работ по образованию этой засыпки;

4) проектирование способа обработки внутренней поверхности бетонного устоя с учетом соображений, указанных выше в п. г.

При проектировании внутреннего очертания устоя в вертикальном поперечном сечении надлежит руководствоваться следующими указаниями:

1) рассматриваемое очертание должно быть прямолинейным или в виде прямой ломаной линии;

2) каждая грань, образующая внутреннюю поверхность устоя, должна иметь некоторый уклон (в вертикальном направлении), обуславливающий уширение стенки устоя к низу; этот уклон должен обеспечить: плотное прижатие грунта к устою; достаточно удобное уплотнение грунта непосредственно у стенок устоя; условия, при которых в первый период эксплуатации (особенно в период насыщения грунта водой) осадка грунта в пазухе устоя не привела бы к появлению зон разрыхления («трещин») грунта, опасных с точки зрения возникновения сосредоточенной фильтрации.

Ограничивая, например, бетонный устой ломаной линией, как показано на рис. 5, необходимо учитывать следующее обстоятельство. Если грань AB является относительно пологой (например, угол $\alpha \leq \varphi$, где φ — угол внутреннего трения грунта), то массив грунта ABD благодаря наличию по линии AB сил трения будет давать осадку «на месте», в то время как массив $DBCE$ будет

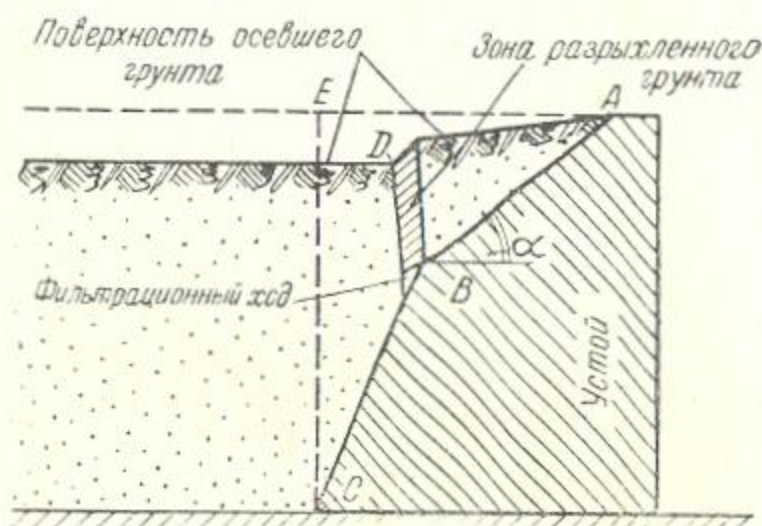


Рис. 5.

при осадке скользить по поверхности BC . В результате в области линии DB может появиться опасная область разрыхления грунта.

§ 6. Проектирование подземного контура устоя. При проектировании подземного контура устоя приходится встречаться со случаем безнапорной фильтрации в обход сооружения.

Чтобы создать условия, при которых в области нижнего бьефа не мог бы возникнуть местный фильтрационный выпор или внешняя суффозия в низовой части устоя, должен быть устроен соответствующий дренаж, защищенный обратным фильтром.

При сопряжении устоя с земляной плотиной указанный дренаж может быть осуществлен как продолжение дренажа земляной плотины, причем в районе устоя должно быть запроектировано соответствующее сопряжение дренажа земляной части плотины с дренажем водосливной части плотины (если таковой имеется).

Примечание. В некоторых случаях выпуск дренажных вод в нижний бьеф может быть осуществлен через особые отверстия, устроенные в стенке самого устоя.

Следует учитывать, что, приближая дренаж устоя к верхнему бьефу, мы при этом: а) снижаем депрессионную поверхность фильтрационного потока и следовательно уменьшаем давление грунтовой воды на стенку устоя, б) укорачиваем длину подземного контура устоя и следовательно снижаем фильтрационную прочность засыпки пазухи устоя.

С целью увеличить длину подземного контура устоя и тем самым обеспечить большую фильтрационную прочность грунта, при-

мыкающего к устью, может быть устроена длинная шпора, идущая обычно нормально (в плане) к продольной стенке устоя и врезающаяся в грунтовый массив, к которому примыкает устой (рис. 6).

Длинная шпора должна располагаться в плане не ниже линии затворов плотины. Необходимая длина шпоры (если она устраивается), а также местоположение упомянутого выше дренажа

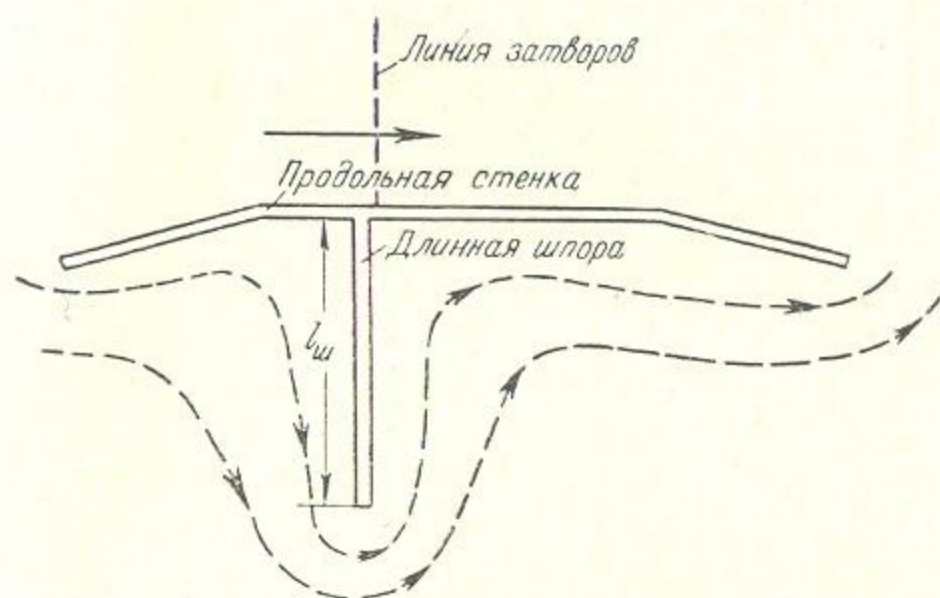


Рис. 6.

должны быть установлены на основании расчета фильтрационной прочности засыпки устоя (см. ниже). При этом в общем случае следует рассматривать ряд равнопрочных вариантов подземного контура устоя и выбирать на основании сравнения этих вариантов рациональный подземный контур (§ 3).

При сравнении этих вариантов необходимо учитывать снижение давления грунтовой воды на устой, обусловленное приближением дренажа к верхнему бьефу (см. выше).

Длинная шпора должна быть устроена так, чтобы она не могла «оторваться» от продольной стенки устоя (чтобы при возможных деформациях устоя между продольной стенкой устоя и стенкой шпоры не образовалась неуплотненная щель—шов, через которую могла бы проникать грунтовая вода).

Длинная шпора может выполняться:

а) в виде бетонной или железобетонной стенки, причем толщина такой стенки должна увеличиваться к низу (боковые грани стенки должны иметь уклон, равный, например, 1:10);

б) в виде ядра, выполненного из маловодопроницаемого глинистого грунта, также уширяющегося к низу;

в) в виде свайной шпунтовой стенки.

Если под бетонной или железобетонной стенкой или под ядром устраивается свайный шпунтовый ряд, то этот шпунтовый ряд должен быть увязан с соответствующим шпунтовым рядом плотины. При устройстве такого шпунтового ряда может иметь место

схема сопряжения длинной шпоры с плотиной, представленная на рис. 7. В этом случае, установив расчетом длину шпоры $l_{ш}$ и глубину погружения шпунта S под водосливной частью плотины (см. ТУиН МЭС-125-57), размеры $S'_{ш}$, $S''_{ш}$, ..., а также длины l' , l'' , ... (рис. 7) определяем по соображению с величинами S и $l_{ш}$, учитывая необходимость иметь вдоль линии тока ab , cd и т. п. (рис. 7) равнопрочные пути фильтрации (пути фильтрации примерно одинаковой длины или длины, закономерно изменяющиеся от длины подземного контура плотины до длины подземного контура устоя).

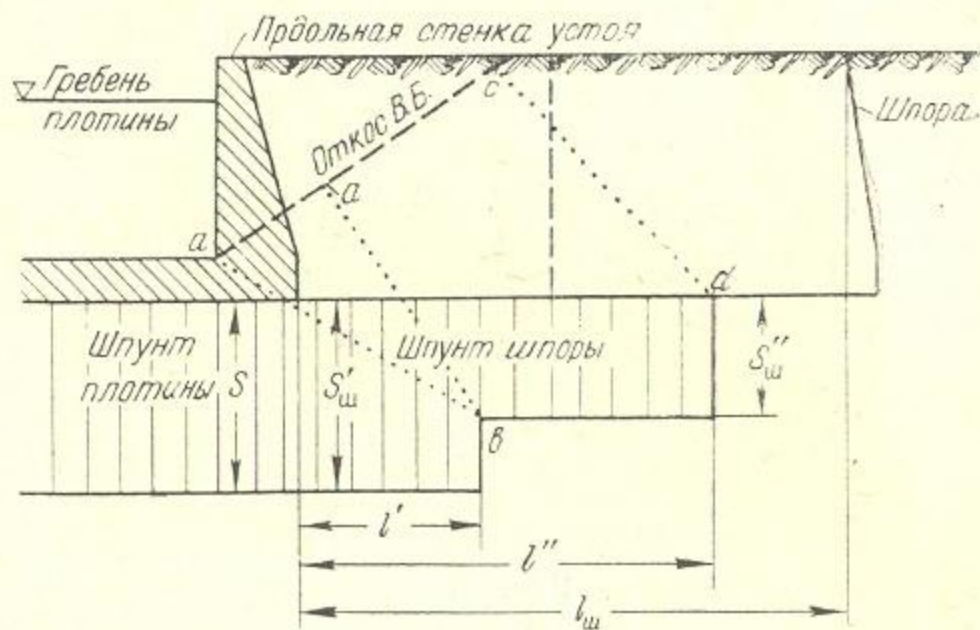


Рис. 7.

При отсутствии длинной шпоры шпунтовые ряды плотины должны проходить под устоем и врезываться в берег, перекрывая пути фильтрации. Размеры этих участков береговых шпунтов должны назначаться аналогично сказанному в отношении схемы на рис. 7.



Рис. 8.

Помимо длинных шпор при проектировании бетонных и железобетонных устоев могут устраиваться короткие шпоры (рис. 8).

При проектировании коротких шпор необходимо учитывать следующие соображения.

1) В том случае, если устой в результате давления на него грунта несколько отклонится от начального своего положения, то

после возможной усадки грунта засыпки на некоторых продольных участках шва сопряжения устоя с грунтом могут появиться зоны разрыхления грунта («щели»), нежелательные с точки зрения сосредоточенной фильтрации. При этом, очевидно, наличие коротких шпор будет весьма полезным, поскольку по боковым их поверхностям упомянутая зона разрыхленного грунта не возникает.

2) Можно предположить, что шов сопряжения устоя с грунтом имеет ослабленную фильтрационную прочность; в связи с этим, чтобы достигнуть «равнопрочности» различных путей фильтрации (намеченных вдоль различных линий тока), желательно развить длину указанного шва за счет устройства коротких шпор.

Примечание. Следует иметь в виду, что шов сопряжения устоя с грунтом существенно отличается от шва сопряжения плотины с грунтом. В случае плотины бетон всегда прижимается своим весом к грунту. В случае же устоя благодаря деформациям грунта засыпки устоя и благодаря деформациям самого устоя достаточного прижатия бетона к грунту может не оказаться.

3) Устройство коротких шпор усложняет и удорожает устой.

III. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ЗАДАННОГО ПОДЗЕМНОГО КОНТУРА СОПРЯГАЮЩЕГО УСТОЯ ПРИ ЗАДАНЫХ ОТМЕТКАХ ДНА РУСЛА И ГОРИЗОНТОВ ВОДЫ В ВЕРХНЕМ И НИЖНЕМ БЬЕФАХ

§ 7. Задачи фильтрационного расчета. Расчет безнапорной фильтрации в обход устоя при заданных отметках дна русла и горизонтов воды в верхнем и нижнем бьефах в общем случае должен преследовать следующие цели:

1) построение опоясывающей устоя кривой депрессии, необходимой для статического расчета устоя;

2) определение пьезометрического уклона, контролирующего общую фильтрационную прочность засыпки пазухи устоя.

§ 8. Метод фильтрационного расчета. Как правило, при фильтрационном расчете следует исходить из условий так называемой плановой фильтрации, при наличии которой живые сечения представляют собой цилиндрические поверхности с вертикальными образующими. При этом для расчета надлежит применять метод, изложенный в приложении.

Для сооружений I и II классов по капитальности при наличии: а) резко выраженной пространственной фильтрации, б) относительно большого притока воды со стороны территории берега, в) значительной неоднородности грунта в районе подземного контура устоя фильтрационный расчет должен выполняться с помощью экспериментального метода электрогидродинамических аналогий.

IV. РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА ЗАСЫПКИ ПАЗУХИ СОПРЯГАЮЩЕГО УСТОЯ

§ 9. Общие положения. Исходные данные. В общем случае форма и окончательные размеры подземного контура устоя должны назначаться в соответствии с предварительно установленным внешним его очертанием (§ 5), а также в результате выполнения ряда поверочных расчетов: а) статических расчетов, служащих для оценки устойчивости и прочности стенок устоя и их основания, и б) расчетов фильтрационной прочности грунта засыпки пазухи устоя.

Расчет фильтрационной прочности засыпки пазухи устоя должен выполняться в предположении, что на сооружение действует максимальный напор, отвечающий нормальным условиям эксплуатации.

При расчете фильтрационной прочности грунта засыпки пазухи устоя заиление дренажа, устроенного в низовой части устоя, не должно учитываться.

Оценка фильтрационной прочности грунта засыпки пазухи устоя должна выполняться из рассмотрения только общей фильтрационной прочности грунта (см. § 16 ТУиН МЭС-125-57). Местная фильтрационная прочность (см. там же) грунта в низовой части устоя должна быть обеспечена устройством надлежащего дренажа с обратным фильтром, запроектированным в соответствии с Инструкцией МЭС 10-57.

Вопросы общей устойчивости земляных откосов грунтового массива, с которым сопрягается устой, должны решаться на основании соответствующих ТУиН.

§ 10. Метод расчета общей фильтрационной прочности грунта засыпки пазухи устоя. Расчет общей фильтрационной прочности засыпки пазухи устоя должен носить поверочный характер.

В связи с этим следует считать, что для расчета устоя его подземный контур в первом приближении нам задан.

Проверку общей фильтрационной прочности засыпки устоя надлежит выполнять следующим образом:

1) предполагаем, что водоупор находится на уровне дна нижнего бьефа (вне зависимости от его действительного положения);

2) заменяем заданный устой воображаемым флютбетом (см. приложение), причем полагаем, что на этом флютбете действует напор, равный расчетному напору H на устье;

3) определяем для указанного воображаемого флютбета согласно ТУиН МЭС-125-57 величину так называемого контролирующего градиента J_k .

4) наконец, сопоставляем найденное значение J_k с допускарным его значением $(J_k)_д$. В случае, если

$$J_k \leq (J_k)_д,$$

запроектированный подземный контур устоя считаем прочным в фильтрационном отношении.

Численные значения допускаемых величин $(J_k)_d$ при указанном расчете следует принимать по соображению с данными, приведенными в ТУиН МЭС-125-57 (стр. 79).

В случае, если увеличение контролирующего уклона влечет за собой снижение стоимости сооружения, следует при проектировании его подземного контура добиваться равенства

$$J_k = (J_k)_d.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ

РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В ОБХОД УСТОЯ¹

1°. Описание потока грунтовой воды, получающегося при фильтрации в обход устоя

В общем случае, когда фундамент устоя не сопрягается с водоупором, расположенным на значительной глубине, при фильтрации в обход устоя получается пространственная картина движения грунтовых вод; при этом в районе устоя безнапорная фильтрация (собственно в обход устоя) сочетается с напорной фильтрацией под плотиной.

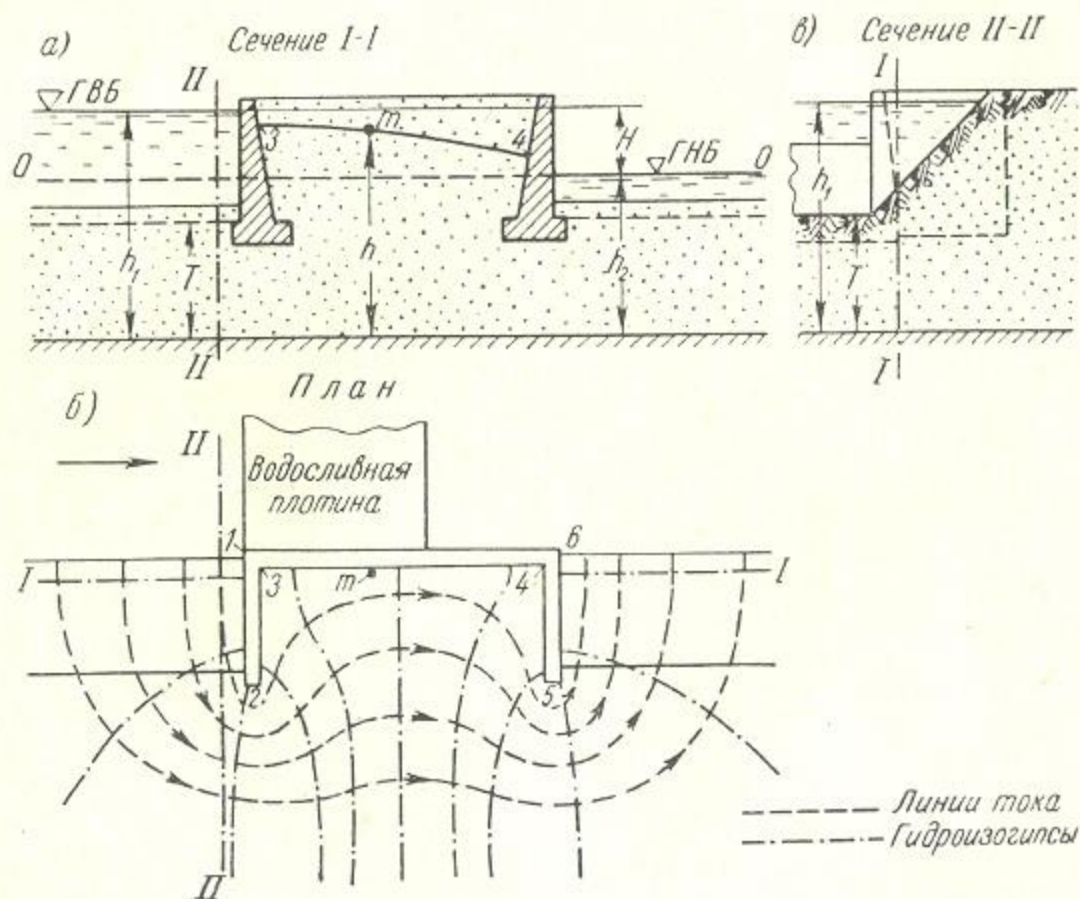


Рис. 9.

На рис. 9, б пунктиром показаны линии тока безнапорной части потока; пунктиром с точкой—гидроизогипсы, представляю-

¹ Излагаемый ниже метод разработан Р. Р. Чугаевым.

щие депрессионную поверхность фильтрационного потока. Входным живым сечением является здесь поверхность откоса и дно верхнего бьефа; выходным живым сечением—поверхность откоса и дно нижнего бьефа.

Если фундамент устоя не сопрягается с глубоко расположенным водоупором, то можно ожидать дополнительную полунапорную фильтрацию воды под стенками устоя. В некоторых случаях может иметь место дополнительный фильтрационный поток воды со стороны берега, движущийся в направлении нижнего бьефа.

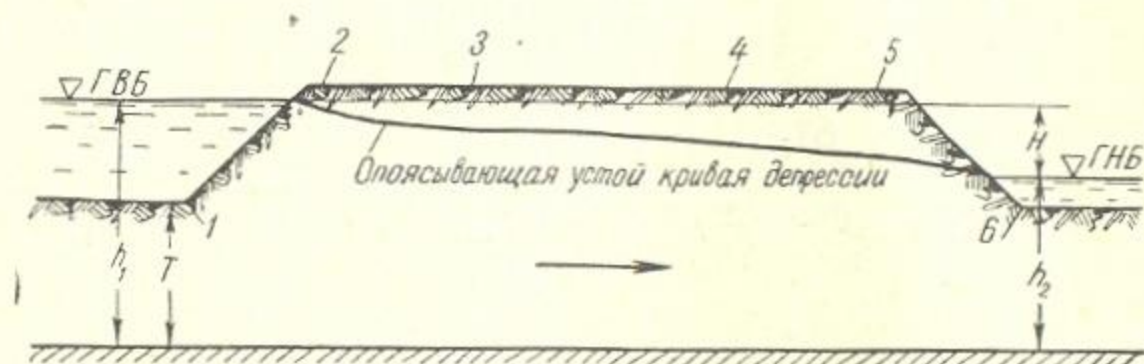


Рис. 10.

Можно считать, что внутренняя поверхность устоя (подземный контур устоя 1—2—3—4—5—6; рис. 9, б) опоясывается кривой депрессии; часть этой кривой депрессии, относящаяся к продольной стенке устоя, представлена на рис. 9, а в виде линии 3—4. Очевидно этот участок кривой депрессии и определяет величину давления грунтовой воды на продольную стенку устоя.

Если наметить путь фильтрационного потока по линии 1—2—3—4—5—6 (рис. 9, б) и затем развернуть его в одной плоскости, то в результате получим картину, представленную на рис. 10¹. Как видно, эта картина сходна с картиной фильтрации воды через земляную плотину, расположенную на водопроницаемом основании. Имея это в виду, при расчете фильтрации в обход устоя можно воспользоваться приемом, применяемым при расчете земляной плотины на водопроницаемом основании (см. п. 2^о).

2^о. Расчет фильтрации воды через земляную плотину, расположенную на водопроницаемом основании²

1) Случай однородной земляной плотины. При изложении этого расчета будем пользоваться рис. 11, на котором представлена земляная плотина без дренажа на водопроницаемом основании.

¹ На рис. 10 изображена развертка подземного контура устоя, выполненного без дренажа.

² Данный способ расчета основан на анализе некоторых точных гидромеханических решений С. Н. Нумерова.

Обозначим через A и B урезы воды соответственно в верхнем и нижнем бьефах. Откладываем от точек A и B соответственно влево и вправо величины $0,4 h_1$ и $0,4 h_2$, где h_1 и h_2 — превышение горизонта воды верхнего и нижнего бьефов под водопором MN .

В результате получаем прямоугольный грунтовой массив $4'—4''—3''—3'$, расположенный на водопоре MN . Имея глубины воды в бьефах этого массива (h_1 и h_2), находим по Дюпюи вели-

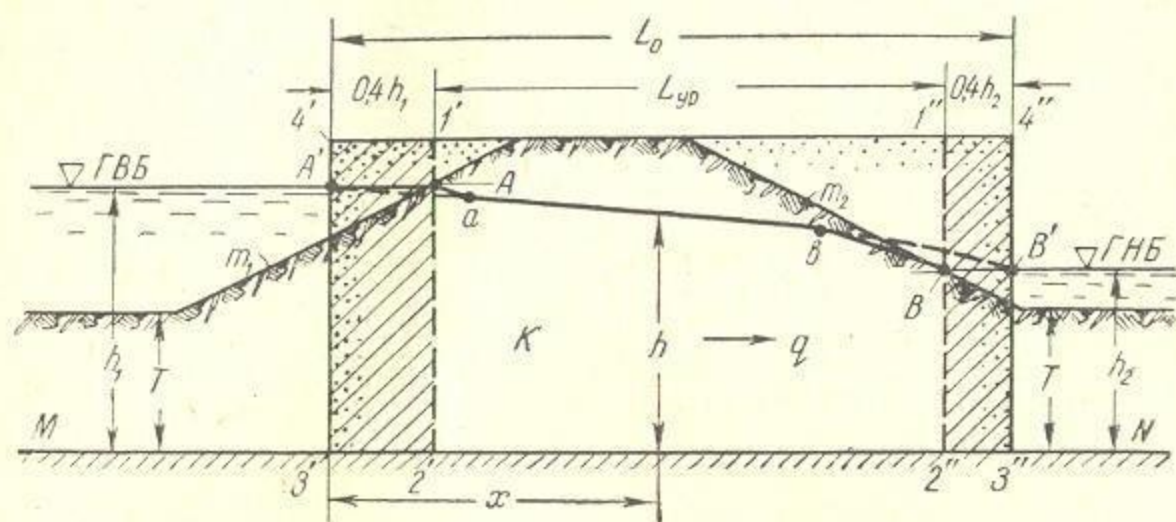


Рис. 11.

чину удельного фильтрационного расхода для рассматриваемой земляной плотины

$$q = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_0} k, \quad (1)$$

где

$$L_0 = L_{ур} + 0,4h_1 + 0,4h_2, \quad (2)$$

причем здесь $L_{ур}$ — расстояние по горизонтали между урезами A и B ; L_0 — ширина прямоугольного массива, которым мы заменяем земляную плотину.

Как видно, при указанной замене мы считаем, что потери напора в верховом клине плотины и его основании равны потерям напора в прямоугольном массиве $1'—2'—3'—4'$ шириной, равной $0,4 h_1$; что же касается потерь напора в низовом клине плотины и его основании, то эти потери считаем равными потерям в прямоугольном массиве $1''—2''—3''—4''$ шириной $0,4 h_2$.

Имея расход q , определенный формулой (1), строим для условного прямоугольного массива $4'—4''—3''—3'$ кривую депрессии $A'—B'$, причем пользуемся обычным уравнением Дюпюи

$$h = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{L_0} (h_1^2 - h_2^2)}, \quad (3)$$

где x и h — размеры, показанные на чертеже.

Наконец, проводим визуально участки искомой кривой депрессии $A-a$ и $b-B$, с таким расчетом, чтобы участок $A-a$ подходил нормально к верховому откосу, а участок $b-B$ подходил касательно к низовому откосу (промежутком высачивания на низовом откосе здесь пренебрегаем).

В результате получаем кривую депрессии $A-a-b-B$ для плотины на водопроницаемом основании.

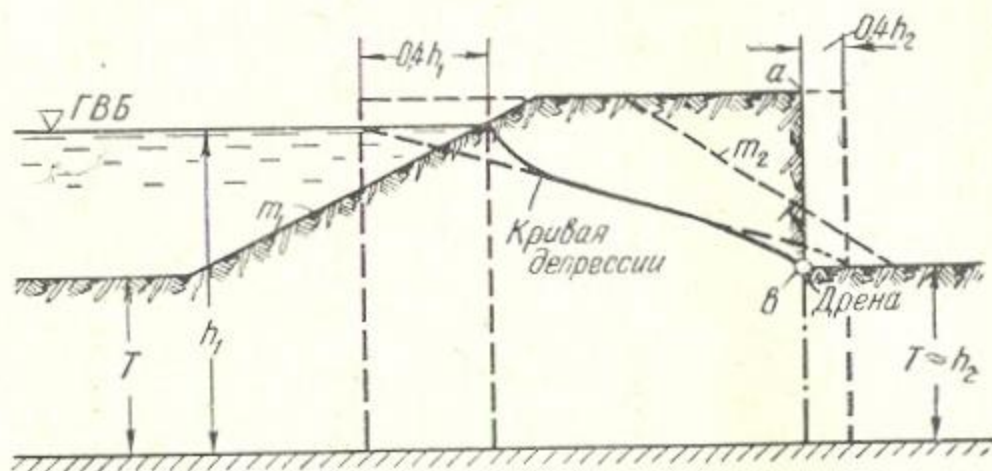


Рис. 12.

Когда в области низового клина плотины устраивается дренаж (что обычно и должно иметь место), то в этом случае с гидравлической точки зрения мы будем иметь земляную плотину как бы с вертикальным низовым откосом $a-b$, намеченным по оси дренажа. При приведении такой земляной плотины к прямоугольному массиву, получаем картину, представленную на рис. 12.

Примечание. В случае низового откоса величину, равную $0,4h_2$, правильнее было бы откладывать не от вертикали $1'-2''$, проведенной через урез (рис. 11), а от вертикали, проведенной через точку откоса, лежащую в середине промежутка высачивания фильтрационного потока на низовом откосе.

Высота a_0 промежутка высачивания в случае сухого нижнего бьефа при $h_2 = T$ может быть определена по формуле

$$a_0 \approx (0,7 + m_2) \frac{q_0}{k},$$

где

$$\frac{q_0}{k} = \frac{h_1^2 - T^2}{2(L_0' + 0,4h_1)},$$

причем здесь L_0' — горизонтальное расстояние от уреза воды верхнего бьефа до подошвы низового откоса.

2) Случай плотины с ядром. Здесь, как и в предыдущем случае, верховой и низовой клинья плотины (вместе с их основанием) заменяем прямоугольными массивами (см. рис. 13, где эти массивы покрыты штриховкой). В результате получаем один прямоугольный массив $4'-4''-3''-3'$ с ядром.

Этот прямоугольный массив далее рассчитываем, применяя известный виртуальный способ Н. Н. Павловского. После этого визуально корректируем концы кривой депрессии, полученной для такого прямоугольного массива, причем и находим искомую кривую депрессии¹.

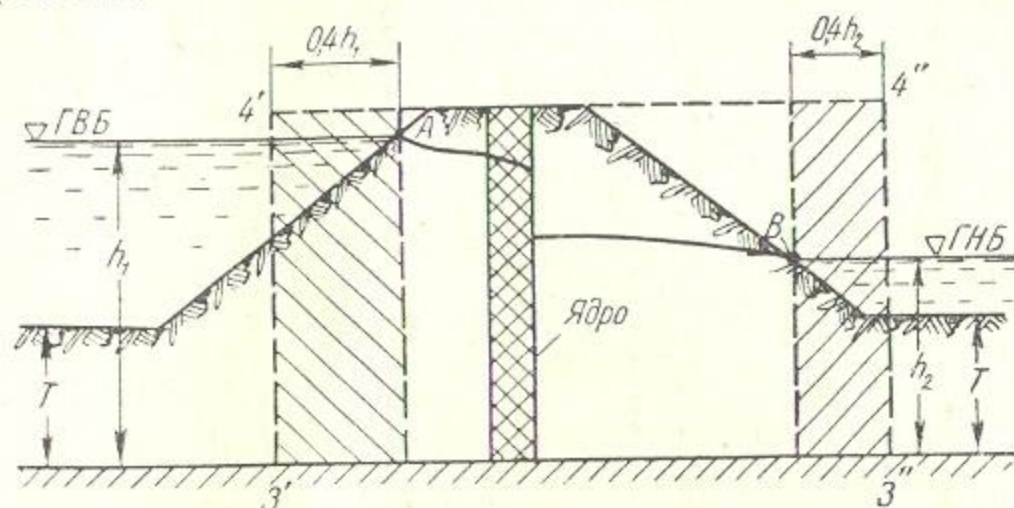


Рис. 13.

3) Активная зона фильтрации в основании плотины. Пользуясь изложенным выше методом, можно строить кривые депрессии для земляных плотин по уравнению Дюпюи при условии, если водоупор находится на конечной глубине. Однако водоупор часто может быть расположен практически на бесконечно большой глубине. В этом случае, чтобы построить кривую депрессии следует воспользоваться понятием активной зоны фильтрации в основании плотины.

Глубина залегания водоупора, ограничивающего снизу активную зону фильтрации, может быть принята в данном случае равной

$$(T_{ак})_{з.п} = 0,5L', \quad (4)$$

где L' — ширина плотины по основанию; размер $(T_{ак})_{з.п}$, определяющий глубину активной зоны, следует откладывать вниз от поверхности дна нижнего бьефа.

Имея в виду (4), расчетное положение водоупора (для которого осуществляется построение кривой депрессии) находим следующим образом:

а) если

$$T \leq (T_{ак})_{з.п}, \quad (5)$$

то величина $T_{расч}$ принимается

$$T_{расч} = T; \quad (6)$$

б) если

$$T > (T_{ак})_{з.п}, \quad (7)$$

¹ Случай, когда ядро не доходит до водоупора, здесь не рассматриваем.

то величина $T_{\text{расч}}$ принимается

$$T_{\text{расч}} = (T_{\text{ак}})_{\text{з.п}} = 0,5L'; \quad (8)$$

здесь T — глубина залегания действительного водоупора; $T_{\text{расч}}$ — глубина залегания расчетного водоупора. Величины T и $T_{\text{расч}}$ измеряются от поверхности дна нижнего бьефа.

Необходимо учитывать следующее:

а) при наличии неравенства (7) положение кривой депрессии практически не зависит от положения водоупора;

б) при наличии соотношения

$$0 < T < (T_{\text{ак}})_{\text{з.п}} \quad (9)$$

с увеличением T кривая депрессии земляной плотины несколько снижается;

в) при наличии соотношения (9) положение кривой депрессии все же относительно мало зависит от высотного положения водоупора. Поэтому в случае предварительных расчетов величину T в запас можно иногда принимать равной нулю, т. е. строить кривую депрессии для плотины на проницаемом основании в предположении, что основание ее является водонепроницаемым (при этом, разумеется, необходимо пользоваться изложенным выше методом).

3°. Упрощения, выполняемые для построения кривой депрессии при фильтрации в обход устоя

С целью привести фильтрационный поток, описанный в п. 1°, к виду так называемого «планового фильтрационного потока» (когда для расчета можно применить известный метод решения плановых задач фильтрации, предложенный Ф. Форхгеймером) вводим следующие упрощающие предположения.

1) По соображению с данными п. 2°, 3 считаем, что при

$$T \leq 0,5l_0' \quad (10)$$

расчетный водоупор совпадает с действительным водоупором; если же

$$T > 0,5l_0', \quad (11)$$

расчетный водоупор располагается на глубине под дном нижнего бьефа, равной

$$T_{\text{расч}} = 0,5l_0', \quad (12)$$

где l_0' — длина проекции устоя на направление его продольной стенки.

2) По соображению с данными п. 2° заменяем верховой и низовой откосы грунтового массива, к которому примыкает устой, вертикальными откосами, доходящими до водоупора. Эти

расчетные вертикальные откосы намечаем в расстоянии от уреза воды, равном (рис. 14):

а) для верхнего откоса

$$a_1 = 0,4h_1; \quad (13)$$

б) для нижнего откоса

$$a_2 = 0,4h_2, \quad (14)$$

где h_1 и h_2 — превышение горизонтов воды соответственно в верхнем и нижнем бьефах над расчетным водоупором.

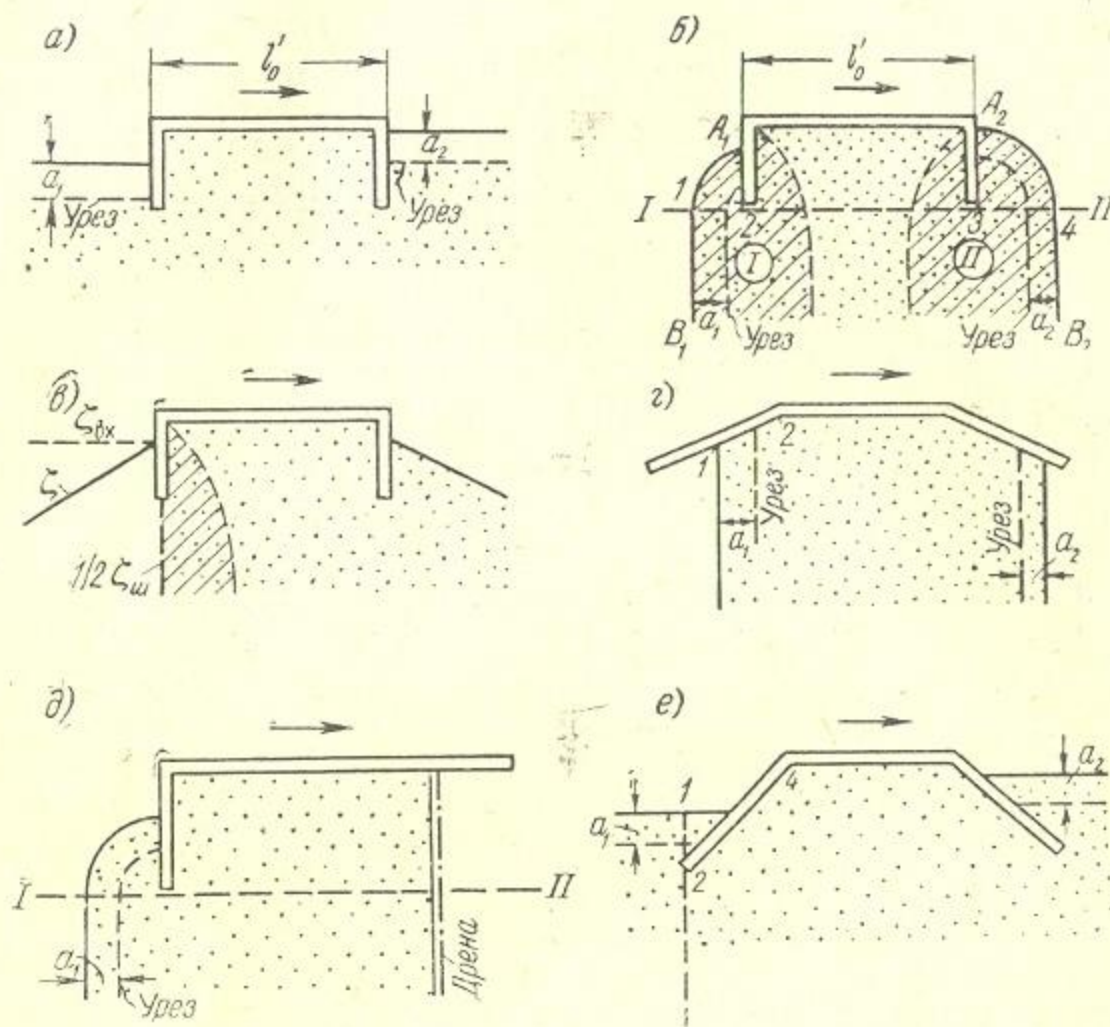


Рис. 14.

В результате такого упрощения можем в зависимости от конструктивных форм устоя получить различные схемы фильтрационного потока в плане; для примера на рис. 14 приводятся некоторые из таких схем.

3) Считаем условно, что все стенки устоя заглублены до поверхности расчетного водоупора.

4) Грунт, заполняющий пазуху устоя, принимаем однородным изотропным.

5) Притоком грунтовой воды со стороны берега пренебрегаем, рассматривая только фильтрацию воды из верхнего бьефа в нижний (как то показано на рис. 9).

6) Наконец, пренебрегаем промежутком высачивания на низовом вертикальном (расчетном) откосе; эта величина в данном случае всегда будет мала.

Принимая указанные допущения, получаем расчетный фильтрационный поток, характеризуемый примерно цилиндрическими живыми сечениями с вертикальными образующими; направляющие таких живых сечений будут гидроизогипсы депрессионной поверхности.

4°. Построение опоясывающей устой кривой депрессии по методу Ф. Форхгеймера

Согласно методу Ф. Форхгеймера для определения глубины h^1 в некоторой точке m , намеченной в любом месте опоясывающей кривой депрессии (рис. 9), можно написать следующее уравнение, предложенное В. И. Аравиным:

$$h^2 = (h_1^2 - h_2^2) h_r + h_2^2, \quad (15)$$

где h_r — приведенный напор в соответствующей точке воображаемого флютбета, имеющего тот же подземный контур, что и устой (рис. 14) при заглублении водоупора $T = \infty$ и при плоскости сравнения 0—0, расположенной на уровне горизонта воды нижнего бьефа. Такой воображаемый флютбет применительно к схемам устоя на рис. 9 и рис. 14, а представлен на рис. 15; на этом последнем чертеже показана соответственная точка m , а также плоскость сравнения 0—0.

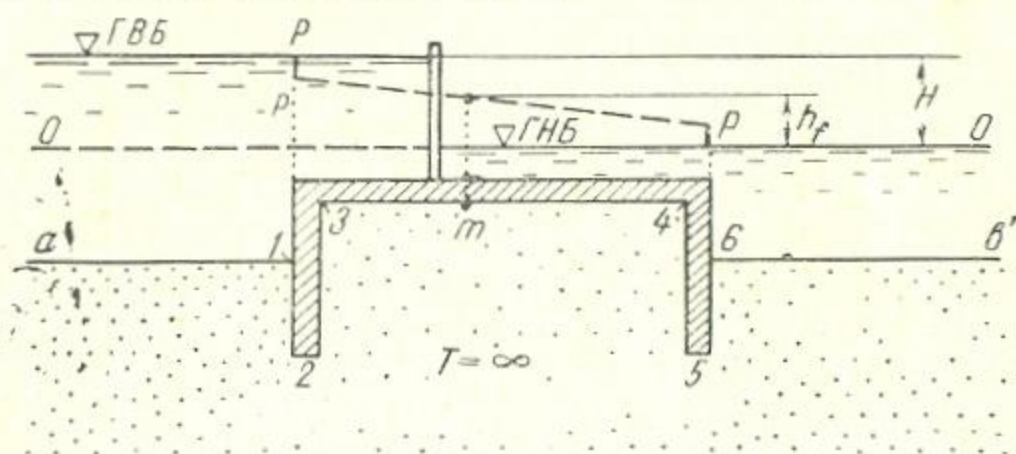


Рис. 15.

При указанной плоскости сравнения величина h_r для точки m схемы на рис. 15 (характеризуемой напорной фильтрацией) равна

$$h_r = \frac{h_f}{H}, \quad (16)$$

¹ Измеряемой от кривой депрессии до расчетного водоупора.

где H — напор на воображаемом флютбете, принимаемый равным напору H на устье (разности уровней воды верхнего и нижнего бьефов, рис. 9); h_f — напор в рассматриваемой точке m воображаемого флютбета или, что то же самое, потеря напора от точки m до нижнего бьефа (рис. 15).

Учитывая, что (см. рис. 9)

$$h_1 - h_2 = H, \quad (17)$$

из (15), подставив в него (16), получаем следующую расчетную зависимость, служащую для построения опоясывающей кривой депрессии

$$h = \sqrt{(h_1 + h_2) h_f + h_2^2}, \quad (18)$$

где величина h_f для данной точки m должна определяться из рассмотрения воображаемого флютбета при напоре H , равном напору на устье.

Величину h_f для любой точки m той или другой схемы устоя, представленной на рис. 14, находим по методу коэффициентов сопротивления (см. ТУиН МЭС-125-57). Зная h_f для различных точек подземного контура устоя, по формуле (18) можно найти глубины h в этих точках и по ним построить опоясывающую устой кривую депрессии.

5°. Дополнительные замечания о построении опоясывающей устой кривой депрессии

1) Наиболее существенным допущением из числа указанных в п. 3°, является допущение, согласно которому принимаются вместо «висячих» фундаментных частей устоя (если таковые имеются) условные фундаментные части, доходящие до расчетного водоупора (см. п. 3°, 3). Это допущение не дает запаса в расчете.

Имея это в виду, а также учитывая влияние расчетного водоупора на положение кривой депрессии (см. п. 2°), в случае фундаментных частей устоя, не доходящих до водоупора, расчетный водоупор в запас можно назначать на уровне дна нижнего бьефа, полагая $T=0$. При таком подходе расчет несколько упрощается.

2) При расчете устоя могут быть встречены случаи, когда к продольной стенке устоя AB примыкает или ядро, выполненное из маловодопроницаемого глинистого грунта, или шпунтовый свайный ряд (рис. 16).

В этом случае для расчета действительный устой следует заменять «виртуальным устоем».

Переходя от действительного устоя к виртуальному, следует отбрасывать ядро (или вертикальную шпунтовую диафрагму) и затем удлинять продольную стенку устоя до величины, равной:

а) в случае, когда отброшено ядро,

$$l_B = (l - t) + t \frac{k}{k_{\text{я}}}; \quad (19)$$

б) в случае, когда отброшена шпунтовая диафрагма,

$$l_b = l + \varphi; \quad (20)$$

здесь l — действительная длина продольной стенки устоя; t — средняя толщина ядра; $k_{я}$ — коэффициент фильтрации грунта, выполняющего ядро; k — коэффициент фильтрации остального грунта; φ — виртуальная толщина шпунта (см. ТУиН МЭС-125-57, стр. 70—71)

3) Выше отмечалось, что схемы устоя, изображенные на рис. 14, на определенном этапе расчета следует рассматривать как схемы воображаемого флютбета при $T = \infty$ и при напоре на них H , равном напору на устье. Именно из рассмотрения таких схем определяются величины h_f , входящие в формулу (18).

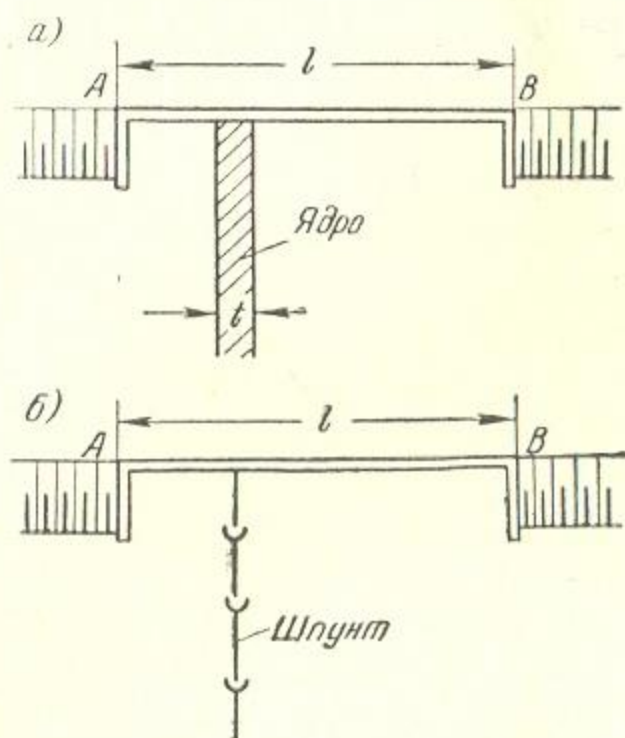


Рис. 16.

На рис. 15 приведен воображаемый флютбет, отвечающий схеме устоя, представленной на рис. 14, а. Такой воображаемый флютбет легко решается по методу коэффициентов сопротивления.

Поясним, дополнительно, каким образом по методу коэффициентов сопротивления решаются некоторые другие схемы, в частности, изображенные на рис. 14, б—е.

а) С х е м а н а р и с. 14, б. При рассмотрении этой схемы встречаемся с необходимостью знать коэффициент сопротивления ζ для фрагментов основания воображаемого флютбета I и II, ограниченных со стороны бьефов не горизонтальными линиями (что имело место в ТУиН МЭС-125-57), а кривыми линиями A_1B_1 и A_2B_2 .

Поскольку для таких фрагментов мы не располагаем величиной коэффициента сопротивления ζ , то в данном случае можно поступать следующим образом.

Намечаем вертикальное сечение $I-II$ (рис. 14, б). В этом сечении получаем прямоугольный грунтовой массив. Построив для такого массива кривую депрессии по Дюпюи (в предположении, что имеет место плоская задача), можем легко найти потерю напора Δh_1 на длине 1—2 массива и потерю напора Δh_2 на длине 3—4.

Далее при расчете величины h_f рассматриваем воображаемый флютбет (рис. 17, а)¹, считая, что напор на нем равен ($H - \Delta h_1 - \Delta h_2$).

Из рассмотрения такого воображаемого флютбета и определяем по методу коэффициентов сопротивления величину h_f для

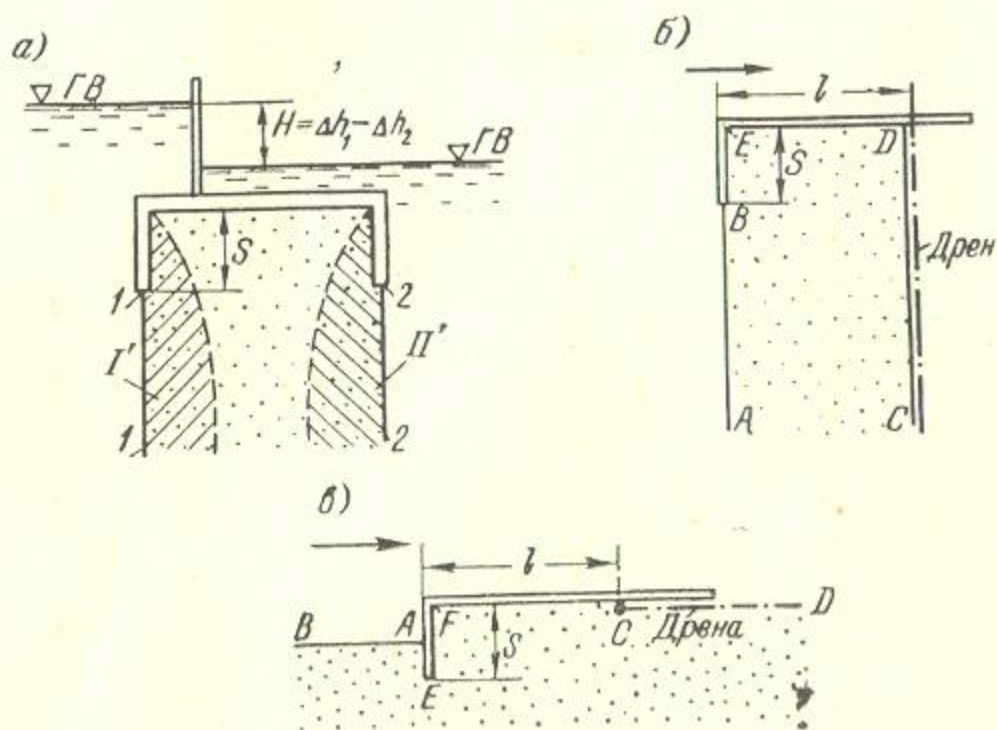


Рис. 17.

различных точек его подземного контура. Очевидно коэффициент сопротивления для фрагментов I' и II' будет равен $0,5 \zeta_{ш}$, где $\zeta_{ш}$ — коэффициент сопротивления для обычного внутреннего шпунта.

б) С х е м а н а р и с. 14, в, д. Эти схемы могут быть рассчитаны по методу коэффициентов сопротивления с помощью приема, поясненного в п. а.

В случае схемы, показанной на рис. 14, в, можно поступать еще и следующим образом. Намечаем условные входные живые сечения: горизонтальное и вертикальное (на чертеже показаны пунктиром).

Для горизонтального входного сечения находим, согласно ТУиН МЭС-125-57, величину $\zeta_{вх}$; для вертикального входного жи-

¹ Как видно, основание этого флютбета ограничено вертикальными линиями $i-1$ и $2-2$.

вого сечения коэффициент сопротивления равен $0,5 \zeta_{ш}$, где $\zeta_{ш}$ определяем по тем же ТУиН.

Искомое значение ζ для действительного (наклонного) входного живого сечения принимаем по интерполяции между величинами $\zeta_{вх}$ и $0,5 \zeta_{ш}$.

в) Схема на рис. 14, г. Здесь встречаемся с необходимостью определять величину ζ для слабо наклонных (не горизонтальных) элементов контура, например, элемента контура 1—2.

Очевидно при определении ζ в этом случае следует применять формулу для коэффициента сопротивления горизонтального элемента контура ζ_r , подставляя в нее вместо l проекцию линии 1—2 на горизонталь, и вместо T — некоторое среднее значение этой величины¹.

г) Схема на рис. 14, е. В этом случае следует наметить дополнительную вертикаль 1—2—3. Для фрагмента основания, расположенного левее линии 1—2—3, коэффициент сопротивления следует принимать равным половине величины коэффициента сопротивления для чистого шпунта ($0,5 \zeta_{ч.ш}$), считая глубину погружения чистого шпунта, равной длине отрезка 1—2. Величина $\zeta_{ч.ш}$ определяется по упомянутым выше ТУиН.

Наклонный элемент 2—4 подземного контура следует рассматривать, как указано в предыдущем п. в.

д) Схема на рис. 17, б. Эта схема устоя, обращенная в воображаемый флютбет, характеризуется подземным контуром BED ; входным живым сечением здесь является вертикальная линия AB , выходным — вертикальная линия, проведенная по оси дренажа устоя.

Суммарный коэффициент сопротивления для такой схемы равен

$$\Sigma \zeta = \frac{1}{2} \zeta_{ш} + \zeta_r, \quad (21)$$

где коэффициент сопротивления $\zeta_{ш}$ — коэффициент для обычного внутреннего шпунта; величина же ζ_r определяется по формуле

$$\zeta_r = \frac{l - \frac{1}{2}s}{T'_{ак}}; \quad (22)$$

размеры l и s показаны на чертеже; $T'_{ак}$ — глубина активной зоны фильтрации (см. ТУиН 125-57).

е) Схема на рис. 17, в. Эта схема устоя, обращенная в воображаемый флютбет, характеризуется подземным контуром

¹ Величины s , входящие в указанную формулу, в данном случае равны нулю.

AEFC; входное живое сечение показано линией *AB*; выходное — линией *CD*, проведенной по дренажу устоя.

Величина $\Sigma\zeta$ для такой схемы равна

$$\Sigma\zeta = \zeta_{\text{ш}} + \frac{l - \frac{1}{2}s}{T'_{\text{ак}}} + 0,44, \quad (23)$$

где обозначения *l* и *s* показаны на чертеже; остальные обозначения ясны из предыдущего изложения.

	Стр.
СОДЕРЖАНИЕ	
Предисловие	3
I. Общие положения	
§ 1. Область применения	5
§ 2. Терминология	5
§ 3. Общий порядок проектирования подземного контура устоя	6
§ 4. Принятые обозначения основных величин	6
II. Данные проектного характера	
§ 5. Общие указания	7
§ 6. Проектирование подземного контура устоя	10
III. Фильтрационный расчет заданного подземного контура сопрягающего устоя при заданных отметках дна русла и горизонтов воды в верхнем и нижнем бьефах	
§ 7. Задачи фильтрационного расчета	13
§ 8. Метод фильтрационного расчета	13
IV. Расчет фильтрационной прочности грунта засыпки пазухи сопрягающего устоя	
§ 9. Общие положения. Исходные данные	14
§ 10. Метод расчета общей фильтрационной прочности грунта засыпки пазухи устоя	14
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Расчет фильтрации воды в обход устоя	
1 ⁰ . Описание потока грунтовой воды, получающегося при фильтрации в обход устоя	15
2 ⁰ . Расчет фильтрации воды через земляную плотину, расположенную на водопроницаемом основании	16
3 ⁰ . Упрощения, выполняемые для построения кривой депрессии при фильтрации в обход устоя	20
4 ⁰ . Построение опоясывающей устой кривой депрессии по методу Ф. Форхгеймера	22
5 ⁰ . Дополнительные замечания о построении опоясывающей устой кривой депрессии	23