

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
им. В. Д. ЖУРИНА (САНИИРИ)

РУКОВОДСТВО
ПО ФИЛЬТРАЦИОННЫМ РАСЧЕТАМ
В РАЗНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ташкент - 1980

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО -
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ ИМ. В.Д.ЖУРИНА
(САНИИРИ)

Утверждено

Министром мелиорации
и водного хозяйства
УзССР

И.Х.ДЖУРАБЕКОВЫМ
28 августа 1978г.

Утверждено

Директором САНИИРИ
А.А.КАДЫРОВЫМ

9 января 1979г.

РУКОВОДСТВО

ПО ФИЛЬТРАЦИОННЫМ РАСЧЕТАМ В РАЗНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ташкент- 1980

Руководство содержит фильтрационные расчеты по решению задач пространственной фильтрации в разнородном основании для трех групп узких гидротехнических сооружений оросительных систем: водовыпусков из водохранилищ или каналов; перепадов-быстроотоков на каналах; акведуков и консольных сборок.

Фильтрационные расчеты сделаны по материалам исследований лаборатории фильтрации СНИИРИ за 1960-1970 гг. и опубликованным работам канд. техн. наук Н.А. Цветковой, инж. С.В. Галайкевича и канд. техн. наук С.М. Горюнова.

Руководство составлено ст. научным сотрудником отдела эксплуатации водохранилищ, канд. техн. наук С.М. Горюновым, и рассмотрено на Заседании Ученого Совета секции эксплуатации и гидротехники СНИИРИ (протокол № 4/76 от 6 января 1976 г.), а также на НТС ММ и ВХ УзССР (протокол № 3/475 от 28.08.78г.).

В В Е Д Е Н И Е

Нормальная работа ирригационных сооружений оросительных систем, построенных на суглинистых грунтах, обладающих высокой фильтрационной устойчивостью, создавала впечатление надежности применению аналитических и ориентировочных методов при проектировании и статических расчетах.

Однако в практике эксплуатации на оросительных системах Узбекистана, Таджикистана, Туркмении отмечены случаи аварии и нарушений с деформациями нижней части флютбета и грунтов основания, относящихся к сооружениям, построенным на песчаных и супесчаных основаниях.

Исследования показали, что движение фильтрационного потока в основании узких ирригационных сооружений имеет ярко выраженный пространственный характер, обусловленный их размерами, конфигурацией границ бьефов, гидрогеологическими, геологическими и другими местными факторами, что не учтено в старых расчетах.

По гидрогеологическим условиям ирригационные сооружения могут быть объединены в три группы: водовыпуски из водохранилищ или каналов; перелазы-быстротоки; акведуки и консольные сбросы. В САНИИРИ Н.А.Цветковой (1961 г.) проводились исследования пространственной фильтрации в однородном основании, а С.М.Горюновым и С.В.Галайкевичем (1962-1968 гг.) в разнородном основании перечисленных выше групп сооружений.

Решение основано на методах физического и математического моделирования на грунтовых и электрических моделях, отражающих натурные условия работы.

Результаты исследований, изложенные в "руководстве" представляют расчет пространственной фильтрации в разнородном основании узких ирригационных сооружений.

Г. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Г.1. Настоящее "руководство" служит для расчета фильтрации в разнородном основании гидротехнических сооружений оросительных систем. На основании расчета определяются параметры фильтрационного потока, учитывающие местные факторы: пространственность фильтрации, разнородность основания, конфигурацию бьефов, конструкции и размеры гидротехнических сооружений, граничные условия.

Г.2° "Руководство" предназначено для фильтрационного расчета трех групп узких ирригационных сооружений, классифицированных и объединенных по гидрогеологической схеме формирования фильтрационного потока, которыми являются:

а) водовыпуски из водохранилищ или каналов, где фильтрационный поток, поступающий из верхнего бьефа неограниченной ширины, обходит сооружение с боков и через основание затем выклинивается на дно и откосы отводящего канала небольшой ширины, работающего как дренаж;

б) перепады-быстротоки, где фильтрационный поток, поступающий из сравнительно узкого водоема-канала верхнего бьефа, круто растекается в начальной части сооружения и, обходя его, собирается в таком же узком отводящем канале нижнего бьефа;

в) акведуки, консольные сбросы, где грунтовый поток из узкого канала верхнего бьефа, не оказывая давления на подземную часть сооружения, круто растекается в направлении пересекемого канала или оврага и выклинивается на откосе.

Указания по расчету можно использовать также для других конструкций сооружений, близких по очертанию и гидрогеологической схеме области фильтрации к рассмотренным сооружениям (сифонные водовыпуски, докеры и др.).

Для конструкций, существенно отличающихся от указанных, и для других напоров фильтрационный расчет сооружений должен вестись на основании моделирования фильтрационного потока с учетом его пространственности и разнородности основания.

1.3. Для сооружений, расположенных на разнородном многослойном основании, при использовании расчетов, изложенных в ТУ, следует схематизировать основание до двухслойного, объединив слои с близкими коэффициентами фильтрации в один по формуле Г.Н.Каменского
$$K_{ср} = \frac{\sum K_i \cdot T_i}{\sum T_i}, \quad (1.1.)$$

где K_i и T_i - коэффициенты фильтрации и мощности 1, 2, 3, ..., i - слоев грунта.

При двухслойной схеме основания:

а) в случае соотношения водопроницаемостей верхнего слоя к нижнему -

$$\alpha = \frac{K_{ср}^в \cdot T_в}{K_{ср}^н \cdot T_н} \quad (1.2.)$$

расчет фильтрации производится как для сооружений, расположенных на однородном основании;

б) в случае, когда $0 < \alpha < 1$, расчет фильтрации ведется по расчетным графикам и номограммам для сооружений, расположенных на двухслойном основании, где нижний слой наиболее проницаем.

1.4. Указания, изложенные в "руководстве", рекомендуется применять для фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений как на стадии их проектирования, так и при эксплуатации сооружений, требующих проведения дополнительных мероприятий по повышению их устойчивости.

1.5. „Руководство“ содержит данные, необходимые для гидротехнического расчета сооружений: по фильтрационным напорам, максимальным выходным градиентам фильтрационного потока; указания по проектированию сооружений с учетом фильтрационной устойчивости грунтов.

Общие указания, технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений с учетом фильтрации в основании содержатся в других, ранее опубликованных, материалах и в настоящем „Руководстве“ не приводятся.

II. ВОДОВЫПУСКИ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ ИЛИ КАНАЛОВ

2.1. Фильтрационные расчеты по настоящему разделу производятся для водовыпусков из водохранилищ с однородным или с распластанным ядром земляной плотины и водовыпусков из необлицованных каналов с напором на сооружение до 30 м.

Допустимая величина заглубления в основание или длина в стороны выступающих элементов водовыпуска (зубы, диафрагмы, шпунты) должна составлять не более 10% от длины его водопроницаемой части. Заложение верхового откоса сооружений заключается в пределах 2±4,5.

2.2. Рассчитываемые на фильтрацию водовыпуски из водохранилищ или каналов по настоящему „руководству“ могут быть трубчатыми, диафрагмовыми с забральной стенкой, открытыми, сифонными в трех вариантах: бездренажных устройств в низовой части (рис. 1а); с дренажем, состоящим из обсыпных дренажных призм по бокам конечного участка водовыпуска (рис. 1б), с дренажем, состоящим из перехватывающей дрены в теле плотины и сплошного тюфяка под дном конечного участка водовыпуска (рис. 1в);

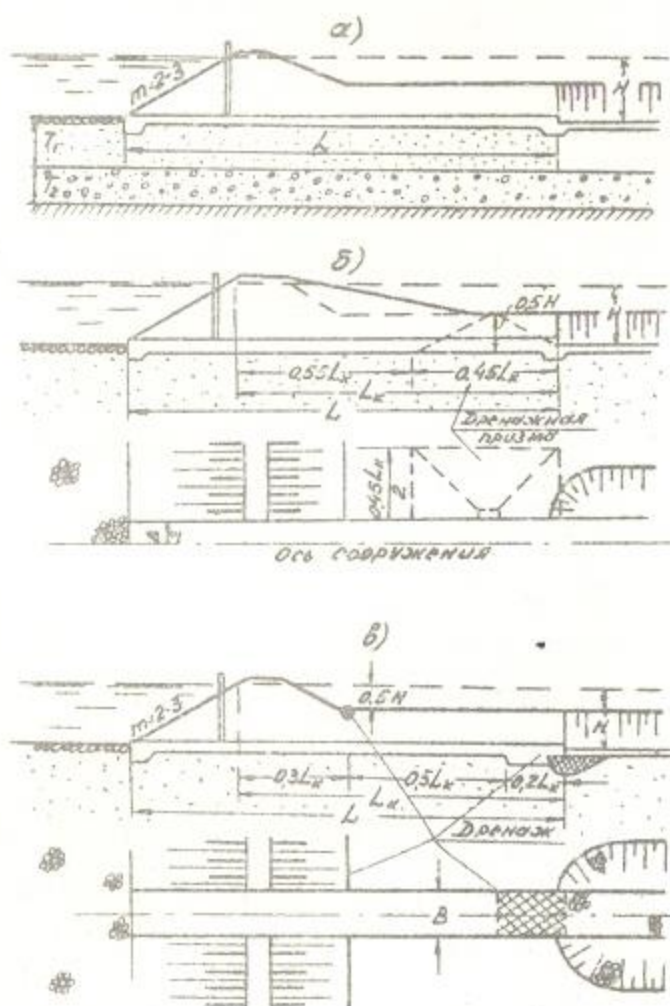


Рис. I. Схемы исследованных конструкций водовыпусков из водохранилищ: а) без дренажных устройств; б) с дренажем в виде боковых обсыпных призм в конце флютбета; в) с дренажем в виде перехватывающей дрены в теле плотины и дренажного тюрпья под дном конечного участка водовыпуска.

2.3. Расчеты по определению величины фильтрационного напора в основании водовыпуска по оси и краю сооружения ведут по номограммам и графикам (рис. 2-6), представляющим зависимости

$$\frac{h}{H} = f\left(\frac{e}{L}; \alpha; \rho; \gamma\right) \quad (I.3.)$$

приведенного напора $\frac{h}{H}$ от относительной длины сооружения $\frac{e}{L}$, соотношения водопроницаемостей покровного и подстилающего слоев $\alpha = \frac{K_B T_B}{K_H T_H}$ ($0 \leq \alpha \leq 1$), относительного напора сооружения $\mu = H \cdot L$ ($0,07 \div 0,15$) и относительной ширины $\beta = B : L$ ($0,05 \div 1,2$). Обозначения показаны на схеме (рис. 1).

2.3.1. Эпюры фильтрационного напора для водовыпусков, расположенных на разнородном основании, строятся по номограммам: для недренированных сооружений - № 1 (рис. 2 а, б); дренированных - № 2 (рис. 3 а, б).

Номограммы представляют собой основную сетку (рис. 2а и 3а) с серией кривых, характеризующих изменение приведенного напора $\frac{h}{H}$ по оси ординат в различных точках осевого и крайнего сечений на всей длине подземного контура водовыпуска $\frac{e}{L}$ ($0; 0,1; 1,0$). Кривые построены для опытных значений относительных ширин $\beta = 0,05; 0,15; 0,5; 1,2; \infty$ и одного относительного напора $\mu = 0,11$ в зависимости от различных соотношений коэффициентов фильтрации верхнего и нижнего слоев ($0 \leq \alpha \leq 1$), отложенных в логарифмическом масштабе по оси абсцисс.

По основной сетке номограммы перемещается прозрачная рамка-движок с поправочными кривыми для других относительных напоров μ ($0,07 \div 0,15$) (рис. 2б, 3б).

Верхние части номограмм и левые половины движков относятся к осевому сечению водовыпуска: соответственно, нижние части и правые половины - к крайнему.

На движке номограммы № 1 приведен пример определения приведенного напора для случая, когда $\alpha = 0,1$; $\mu = 0,15$; $\beta = 0,15$. При совмещении левого края рамки движка с осью абсцисс номограммы на $\alpha = 0,1$ попеременно для осевого и крайнего сечений водовыпуска, построены сначала кривые для

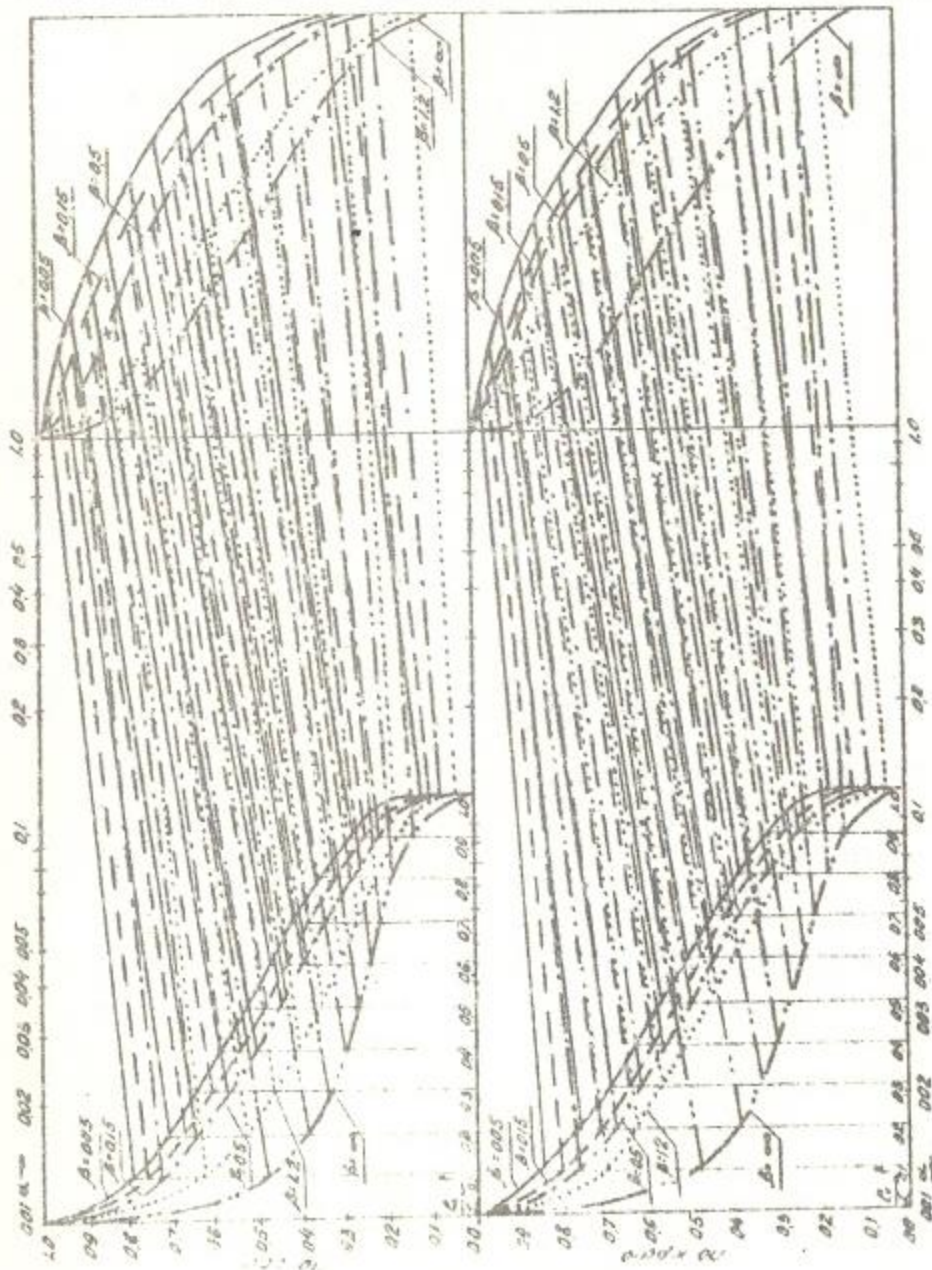


Рис. 2а. Номограмма № I
 $\frac{Q}{H} = f\left(\frac{Q}{H}; \alpha; \beta; \mu\right)$
 для определения коэффициента фильтрации μ по известным значениям $\frac{Q}{H}$ и $\frac{Q}{HB}$ для неоднородных и изотропных грунтов. α — коэффициент пористости, β — коэффициент пористости в направлении фильтрации, μ — коэффициент фильтрации.

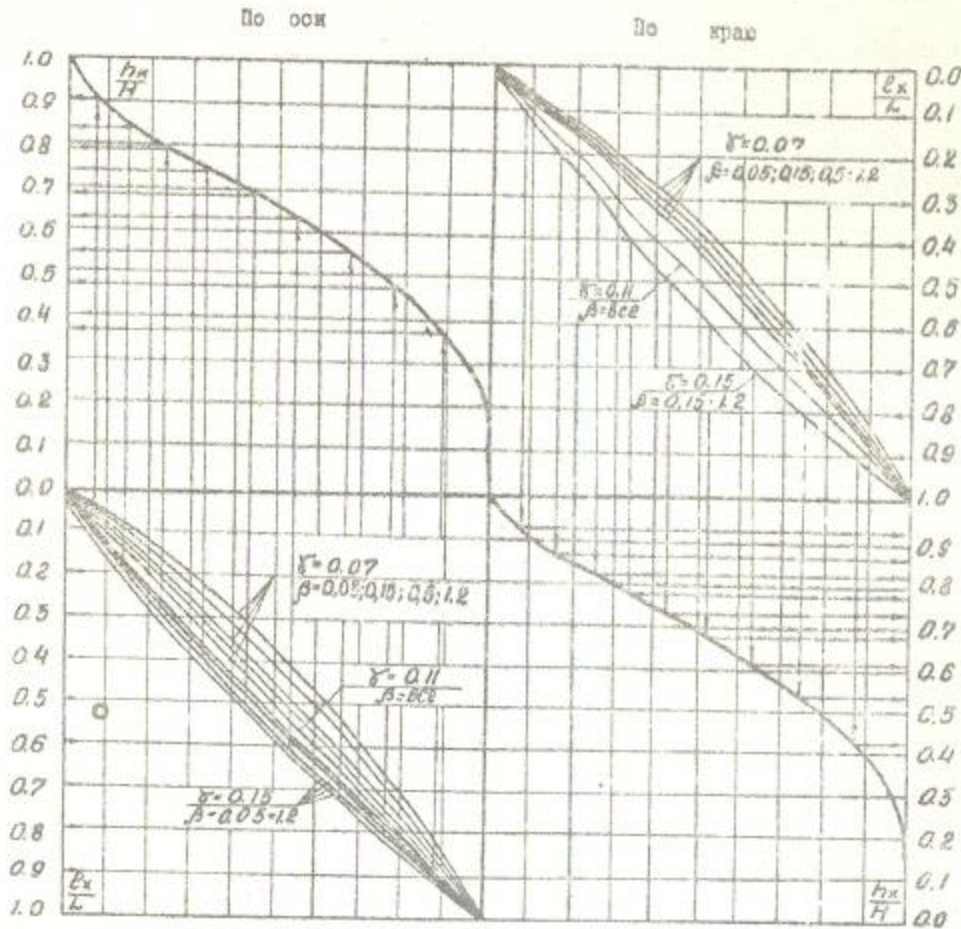


Рис. 26. Прозрачный движок к номограмме № I с поправочными кривыми $\beta = 0,07-0,15$; выполняется на кальке.

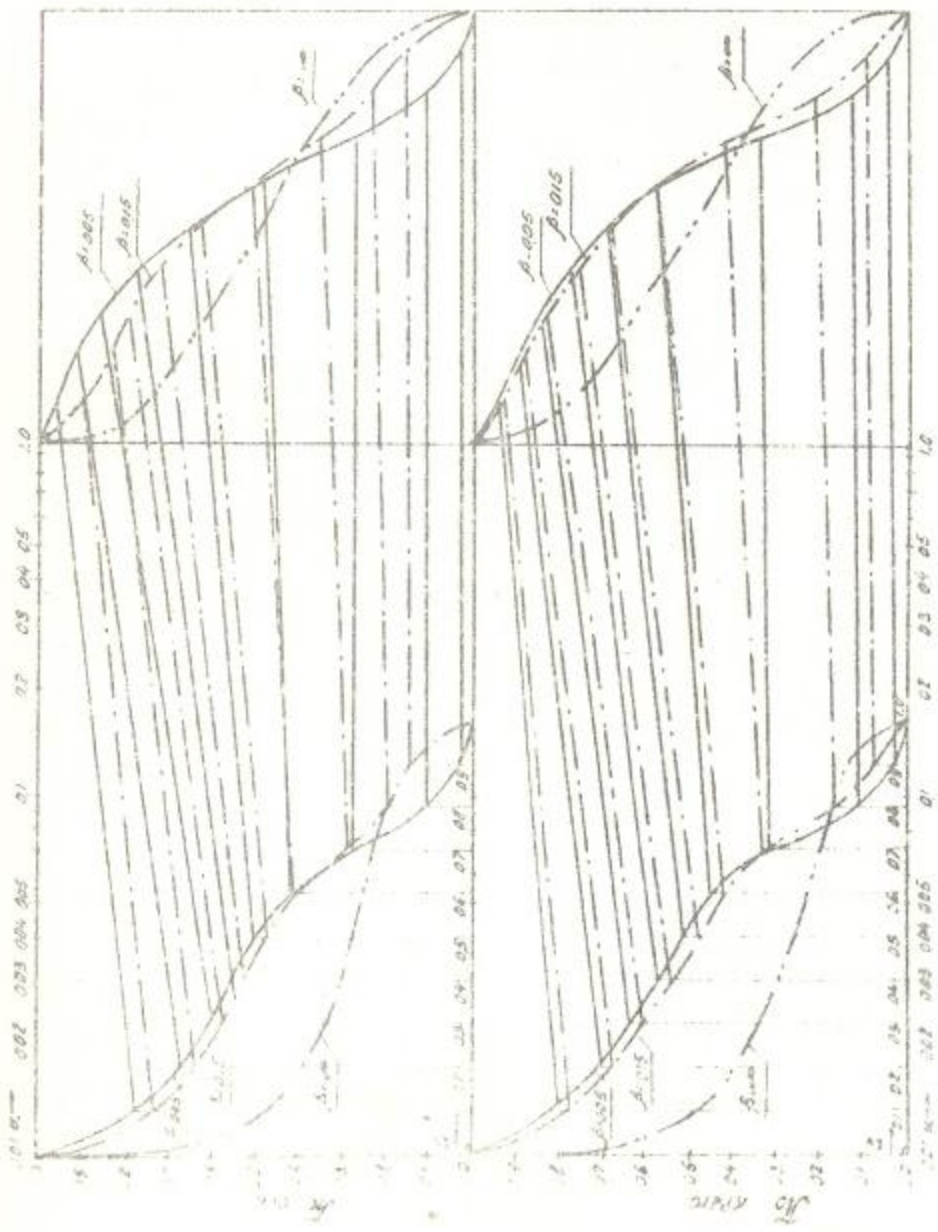
$\beta = 0,11$, которые получены путем пересечения соответствующих кривых номограммы с вертикалями движка, затем через поправочные кривые движка (для $\beta = 0,15$; $\beta = 0,15$) определены истинные значения приведенных фильтрационных напоров (показано стрелками на рис. 26). Значения приведенных напоров записывают в табличной форме.

Пользование номограммой № 2 для дренированных водовыпусков аналогично № I.

Действительные напоры и расстояния определяют путем соответствующего умножения приведенных величин на фактический фильтрационный напор H и длину поляемого контура L .

Рис. 3а. Номограмма № 2

Для определения фильтра-
ционного давления на по-
дошву водовыпусков с
дренажным устройством в
виде боковых обсыпанных
призм в конце флютбета,
расположенных на двух-
слойном основании: а -
основная неподвижная
часть номограммы $\beta = C, II$.



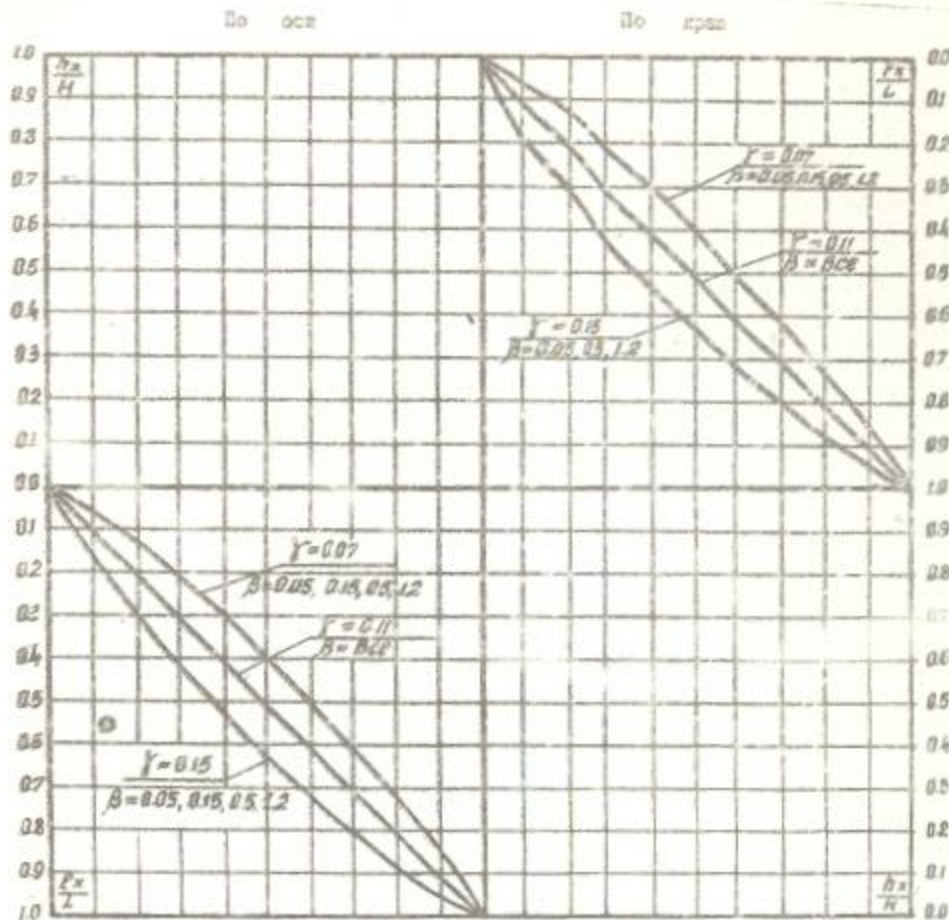


Рис. 36. Прозрачный движок к номограмме с поправочными кривыми $\gamma = 0,07-0,15$; выполняется на кальке.

2.3.2. Эпюры фильтрационного напора для водовыпусков, расположенных на однородном основании ($\alpha \geq 1$), строятся по двойным графикам: для недренированных сооружений – рис. 4; дренированных с дренажем в виде перехватывающей дрены и тюфяка в конце водовыпуска – рис. 5, и с дренажем в виде боковых обсыпных призм в конце водовыпуска – рис. 6.

Нахождение величин приведенных фильтрационных напоров показано на графиках (рис. 4–6).

2.3.3. Расчетную величину фильтрационного напора в поперечном сечении от оси к краю сооружения следует принимать изменяющейся по линейному закону; расчетный фильтрационный напор на боковой стенке и верхнем контуре поперечного сечения –

Рис. 4. Зависимость $\frac{h}{H} = f\left(\frac{e}{\chi}\right)$ для водопусков без дренажных устройств, расположенных на одностороннем основании: а — осевое сечение; б — крайнее сечение.

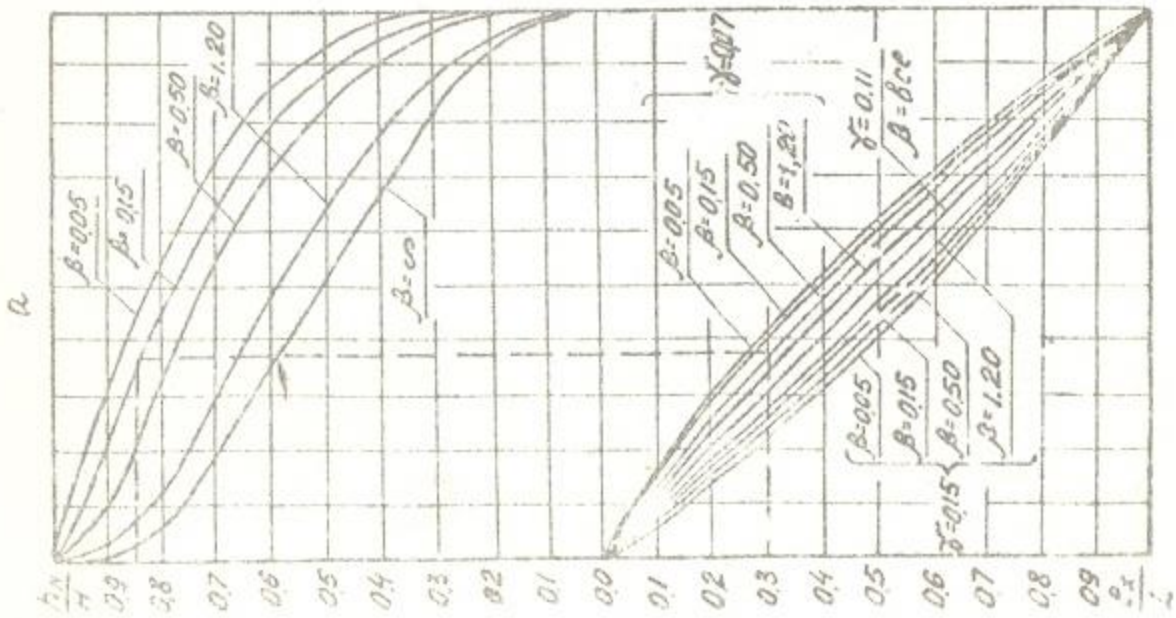
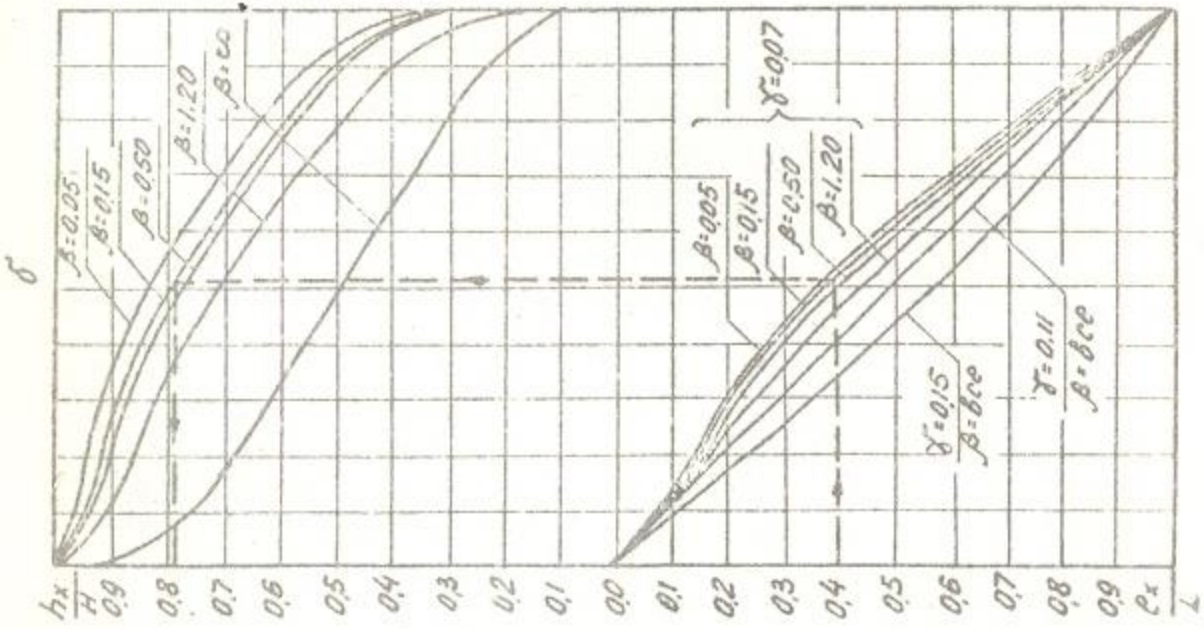


Рис. 5. Зависимость

$$\frac{h_x}{H} = f\left(\frac{x}{L}\right)$$

для водопыпусков с дренажем в виде перехватывающей дрены и тупика в концевой части, расположенных на однородном основании: а — осевое сечение; б — крайнее сечение.

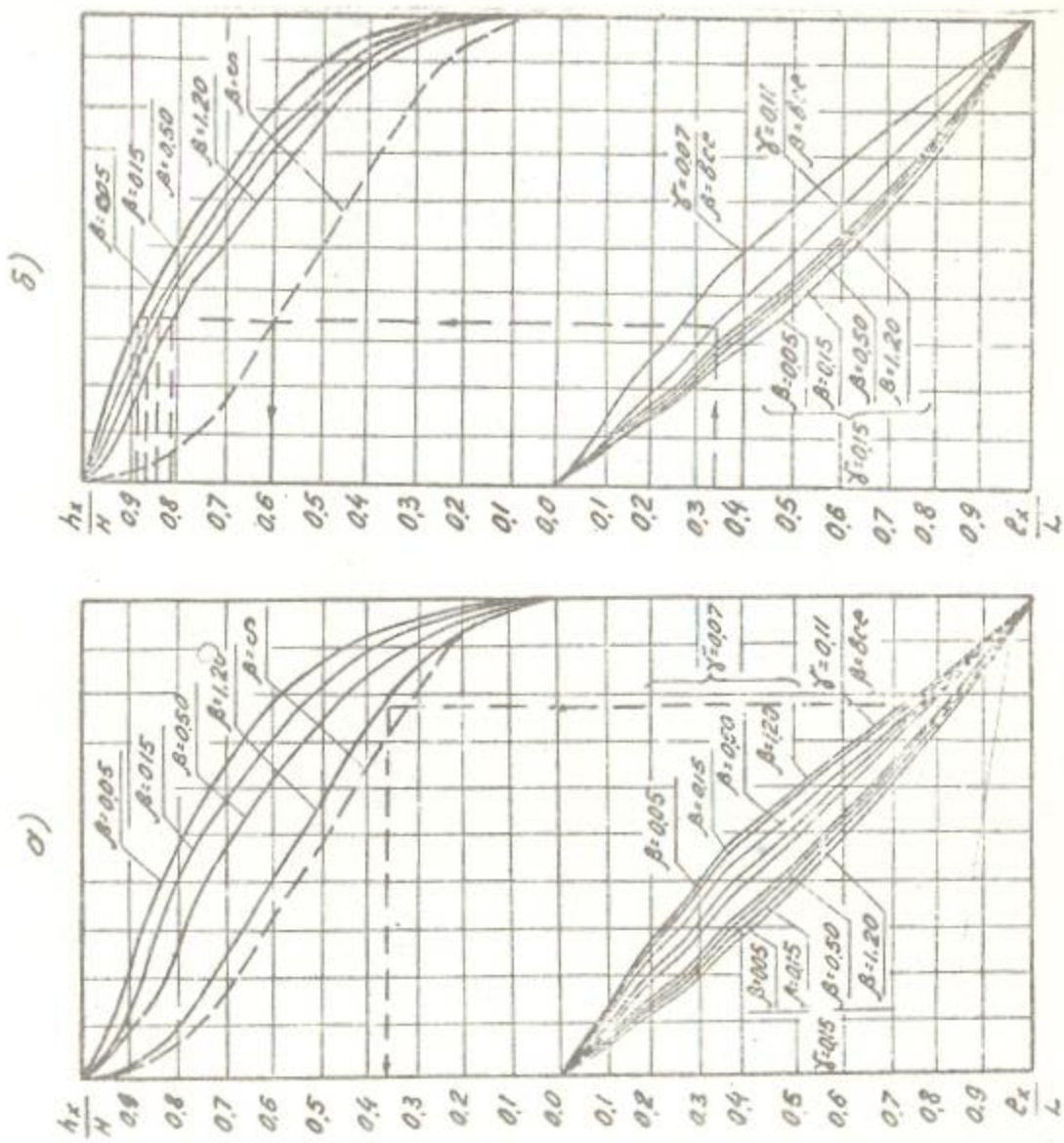
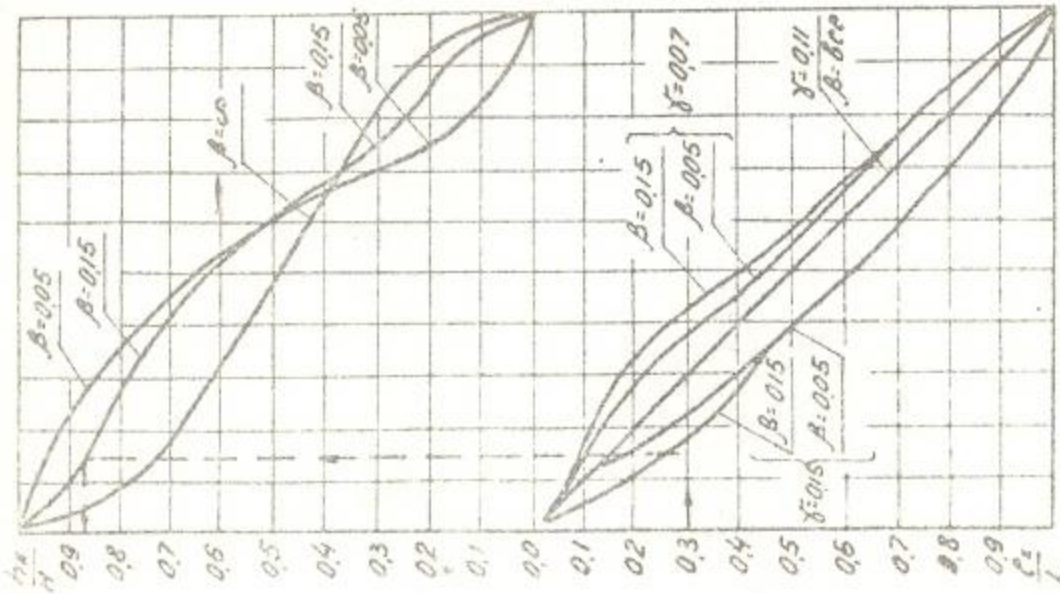
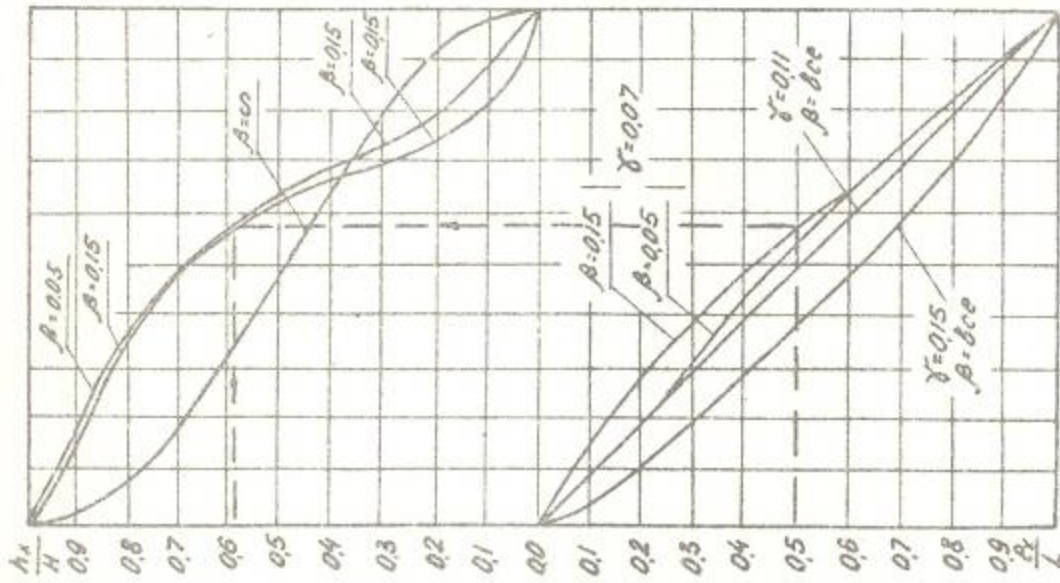


Рис. 6. Зависимость

$$\frac{h}{H} = f\left(\frac{x}{L}\right)$$

для водопыпуска с давлением в виде осевых обшивных призм в конечной части, расположенных на однородном основании: а — осевое сечение; б — крайнее сечение.



равным напором по краю основания. Если фильтрационный напор по краю основания составляет 2,5 м, а высота стенки трубы прямоугольного сечения — 2 м, то фильтрационный напор на стенке уменьшается по высоте линейно от 2,5 до 0,5 м, а напор на поверхности трубы будет равномерным и равным 0,5 м.

2.4. Значения максимальных градиентов фильтрационного потока на выходе в нижний бьеф для рассмотренных вариантов водовыпусков определяются из номограммы и графиков (рис. 7-9) по заданным значениям $\alpha = \frac{K_B T_B}{K_H T_H}$ (для разнородного основания), относительного напора $f = H:L$ и относительной ширины сооружения $\beta = B:L$.

2.4.1. Для водовыпусков, расположенных на разнородном основании без дренажных устройств, максимальные выходные градиенты находятся по номограмме № 3 (рис. 7):

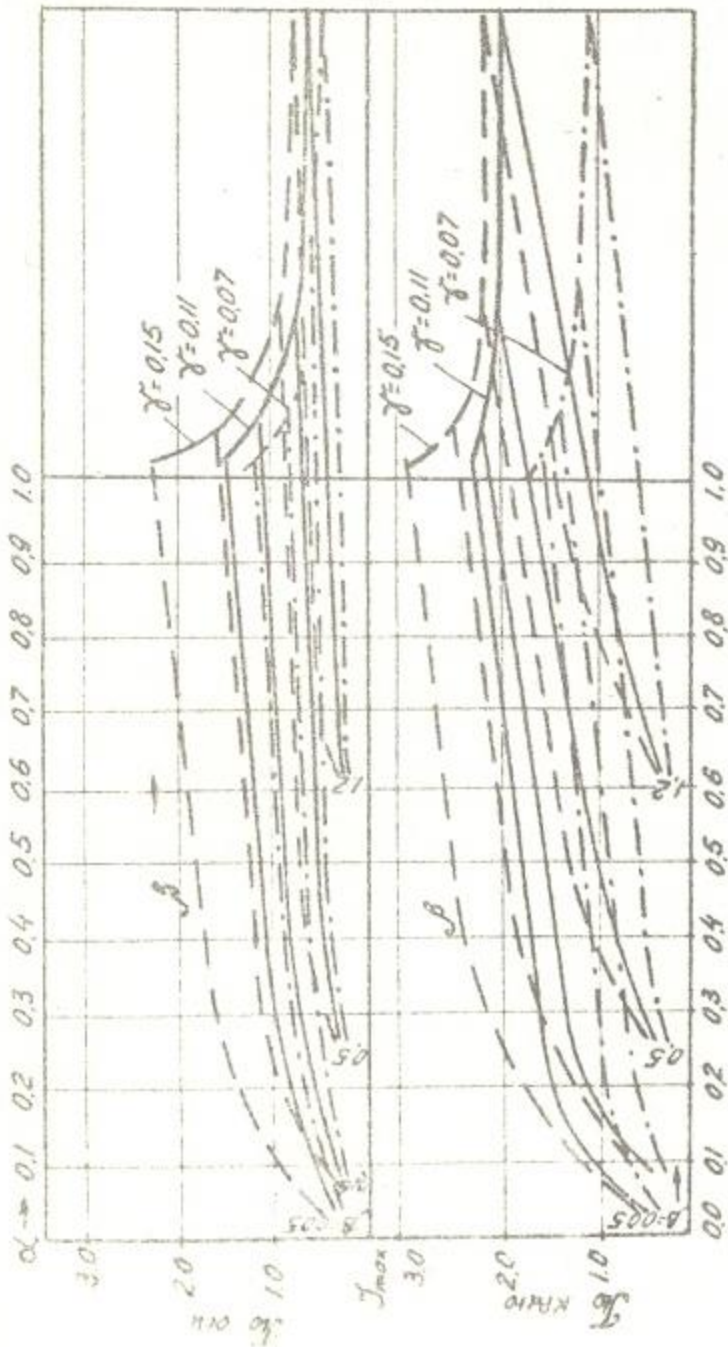
$$J_{max} = f(\alpha, \beta). \quad (I.4.)$$

Номограмма № 3 представляет основную сетку (рис. 7а) с нанесенными сериями кривых, характеризующих изменения максимальных градиентов J_{max} по оси ординат, построенных для различных относительных напоров f (0,07; 0,11; 0,15) и относительных ширин β (0,05; 0,15; 0,5; 1,2) в зависимости от соотношений коэффициентов фильтрации слоев ($0 \leq \alpha \leq 1$), отложенных по оси абсцисс. По основной сетке номограммы вдоль оси абсцисс перемещают прозрачную рамку-движок (рис. 7б) с дополнительной горизонтальной шкалой относительных ширин β (0,0 + 1,2). Верхняя половина номограммы и движка относятся к осевому, а нижняя — к крайнему сечению водовыпуска.

При определении максимальных градиентов на выходе потока в отводящий канал по номограмме № 4 передвигают движок с горизонтальной шкалой относительно ширин β вдоль оси абсцисс

Рис. 7а. Номограмма № 3

$v_{max} = f(\alpha, \beta, \gamma)$
 для определения максимальных градиентов на выходе в отводящий канал для недренированных водоемлюсков, расположенных на двухслойном основании: а — основная часть номограммы.



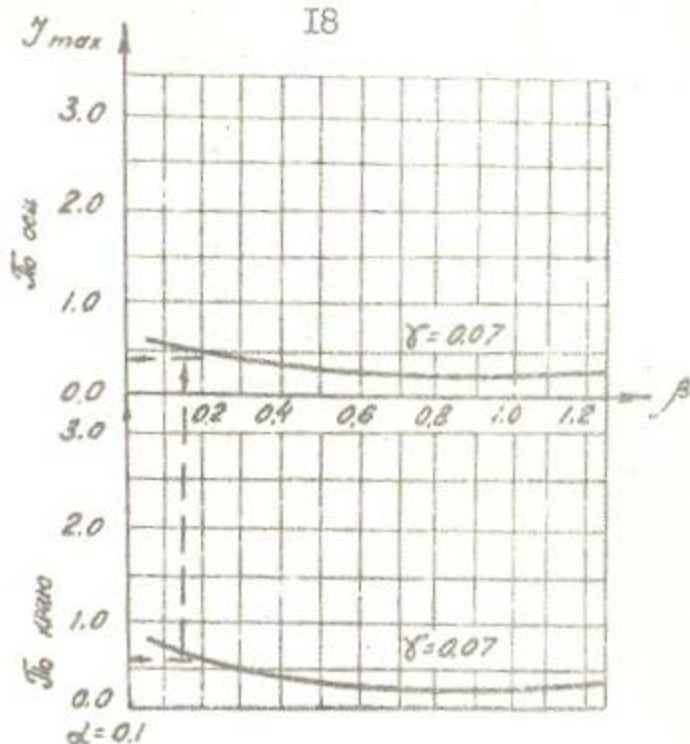


Рис. 76. Прозрачный движок к номограмме № 3 с сеткой-шкалой относительных ширин β (выполняется на кальке)

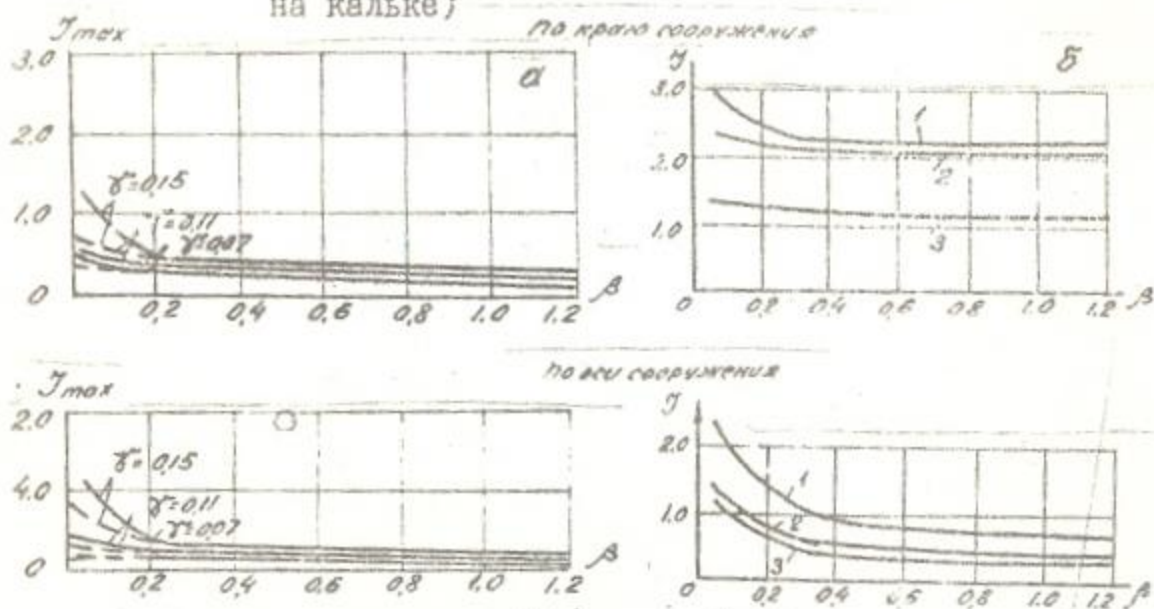


Рис. 8. Зависимости $\gamma_{\max} = f(\beta)$ для водовыпусков:
 а - с дренажем в виде боковых обсыпных призм;
 б - без дренажных устройств при α : 1-0,15, 2-0,11, 3-0,07; 4 - на однородном основании, 5 - на двухслойном основании при $\alpha = 1:100$.

основного графика и устанавливают на соответствующем делении α . Строят кривые зависимостей

$$\gamma_{\max} = f(\beta),$$

(I.5.)

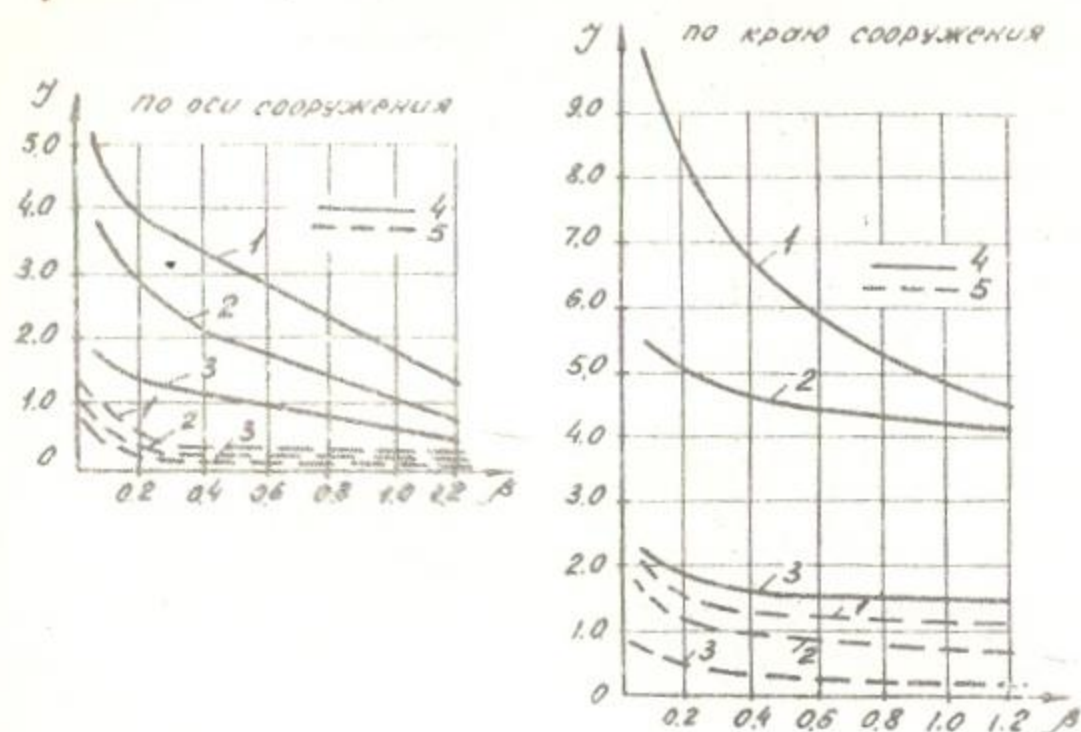


Рис. 9. Значения $J_{\max} = f(\beta)$ для водовыпусков с дренажем в виде перехватывающей дрены и тюфяка в концевой части, расположенных на однородном основании при β : 1-0,15; 2-0,11; 3-0,07; 4 - на выходе в тюфяк, 5 - на выходе в нижний бьеф.

точки которых получают пересечением вертикальных линий движка, проведенных через $\beta = 0,05; 0,15; 0,5; 1,2$, с кривыми номограммы, соответствующими тем же относительным ширинам β и расчетным относительным напорам β .

На движке номограммы (рис. 76) стрелками показана схема отсчета максимальных градиентов для случая с интерполяцией при $\beta = 0,2$; $\beta = 0,07$; с построением кривой $J_{\max} = f(\beta)$ и для случая без интерполяции ($\beta = 0,15$; $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,15$), совпадающего с опытными значениями ($J_{\max}^{\text{оп}} = 0,85$, $J_{\max}^{\text{кр}} = 1,1$).

2.4.2. Для водовыпусков, расположенных на разнородном основании, с устройством дренажа в виде боковых обонных призм

в концевой части значения максимальных выходных градиентов в дрене находятся по графикам (рис. 8а).

2.4.3. Для всодвыпусков, расположенных на однородном основании, максимальные градиенты для бездренажных устройств находятся по зависимостям, данным на рис. 8б, и с устройством дренажа в виде перехватывающей дрены и тьюфа в концевой части - по зависимостям на рис. 8в.

2.4.4. Из рассмотренных вариантов дренажных устройств рекомендуется устраивать: 1) боковые дренажные призмы в нижней части сооружения, при которых обеспечиваются малые значения фильтрационного напора и градиентов на выходе в нижний бьеф; 2) фильтрационные стаканы в плите и бортах водобоя и рисбермы.

3. ПЕРЕПАДЫ-БЫСТРОТОКИ НА КАНАЛАХ

3.1. Расчет фильтрации в основании сопрягающих сооружений на каналах по настоящему разделу следует вести для любых конструкций: многоступенчатых перепадов, перепадов-быстротоков с прямым водоскатом и различными конструкциями гасителей-колодцев, с разбобидным водостоком, трубчатых.

Параметры конструкций перепадов-быстротоков должны удовлетворять следующим основным данным: водоскат с уклоном до $m = 4$ имеет поперечное сечение прямоугольной или трапециевидальной формы с откосом $m = 1,5$; в нижней части водоскат на длине, равной около 3,5 м глубины, в отводящем канале расширяется до его сечения; подходной участок к водоскату горизонтальный, длиной около трех глубин в отводящем канале, сопрягает сечение канала с водоскатом, водобойный участок с дном, врезанным неглубоко в основание до 1 м или сопрягающимся на

уровне дна отводящего канала, составляет длину около 3,7 - 3,8 глубины канала и по форме совпадает с его сечением; рисберма равна длине водобоя и делается из галечниковой обсыпки.

Перепады-быстротоки указанных конструкций выполняются в двух вариантах: без дренажных устройств и с дренажем в виде сплошного тупика под дном и бортами в нижней трети расширяющейся части водоската, водобоя и первой трети рисбермы (рис. 10).

3.2. Указания по фильтрационному расчету следует применять для перепадов-быстротоков с напором до 40 м с конструкцией, указанной в 3.1. или близкой к ней по конфигурации водоската, а также для приближенного расчета сооружений с большим уклоном водоската (до $m = 5$).

3.3. Фильтрационное давление для перепадов-быстротоков, рассмотренных в 3.1. и 3.2. конструкций, определяют по осевому продольному сечению в случае, когда уровень грунтовых вод в нижнем бьефе стоит на уровне горизонта воды в канале (в пределах от нуля до максимального наполнения).

Если перепад-быстроток совмещен с перегораживающим сооружением, расчетный напор превысит отметки горизонта воды верхнего бьефа над дном канала нижнего бьефа. Когда перепад-быстроток работает транзитом, то за расчетный напор следует принять наибольшую разницу в отметках горизонтов воды в бьефах.

3.4. Расчетные значения фильтрационного напора берутся по осевому продольному сечению перепада-быстротока бездренажных устройств из зависимости (рис. II) приведенного напора

$$\frac{h}{H} = f\left(\frac{l}{\lambda}; \alpha, \lambda\right) \quad (2.1.)$$

по относительной длине сооружения $\frac{l}{\lambda}$ при различных относительных ширинах $\beta = B \cdot \lambda$ (0,2-0,6; ∞), B - условная шири-

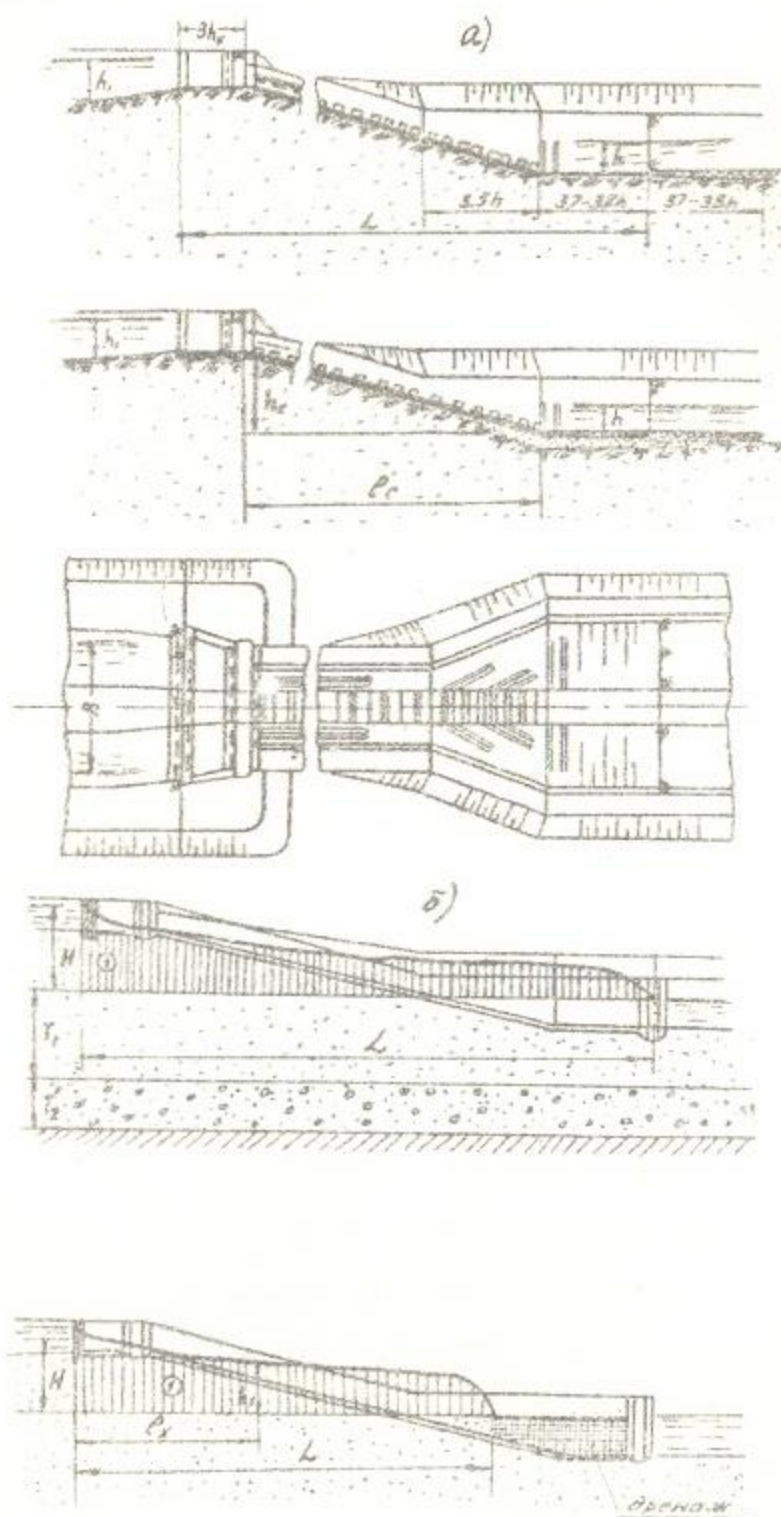


Рис. 10. Конструкции исследованных перепадов-быстротоков (в) и расчетные схемы к ним (б); опоры фильтровальных напоров (I).

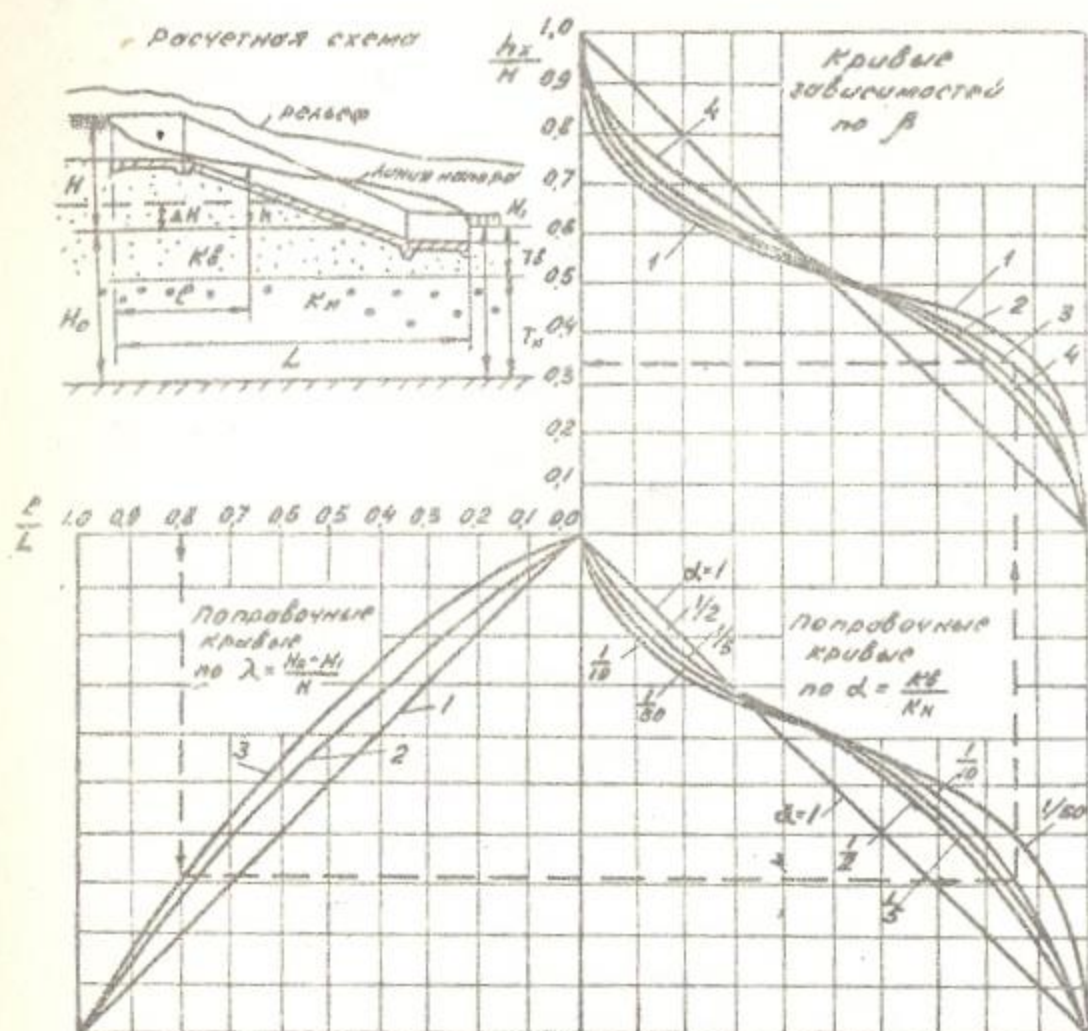


Рис. II. Зависимость $\frac{h}{H} = f\left(\frac{\ell}{L}, \alpha, \lambda\right)$ для перепадов-быстротоков без дренажных устройств, расположенных на двухслойном основании, по относительной длине сооружения, относительной его ширине β (1-0,2; 2-0,4; 3-0,6; 4- ∞), соотношения водопроницаемостей слоев основания α (1-1; 2-1; 5; 3-1; 10; 4-1; 50) и положению бытового горизонта λ (1-0; 2-1/3; 3-2/3).

на сооружения, принятая по ширине зеркала воды в верхнем бьефе), соотношений водопроницаемостей верхнего и нижнего слоев основания α (1-1/50) и относительного положения бытового горизонта к фильтрационному напору $\lambda = \frac{H_0 - H_1}{H}$ (0-2/3)

Стрелками на графике показан ход отсчета: для случая

$\frac{e}{\lambda} = 0,8$, $\beta = 0,4$, $\alpha = 1/10$, $\lambda = 2/3$ величина приведенного напора $\frac{h}{H} = 0,33$. Действительные значения получаются умножением приведенных величин на фактический фильтрационный напор.

Для сооружений, расположенных на однородном основании, используют зависимости по β без учета поправок на α ($\alpha = 1$).

3.4.1. Расчетные значения фильтрационного напора для дренированных перепадов-быстротоков, расположенных на неоднородном (двухслойном) основании, вычисляют по зависимостям, построенным для сооружений на однородном основании (рис. 12) с учетом поправочных кривых по α и λ , построенных на рис. II (т.е. заменяют верхний график-рис. II на график-рис. I2). Принцип нахождения величин тот же, что и п.3.4.

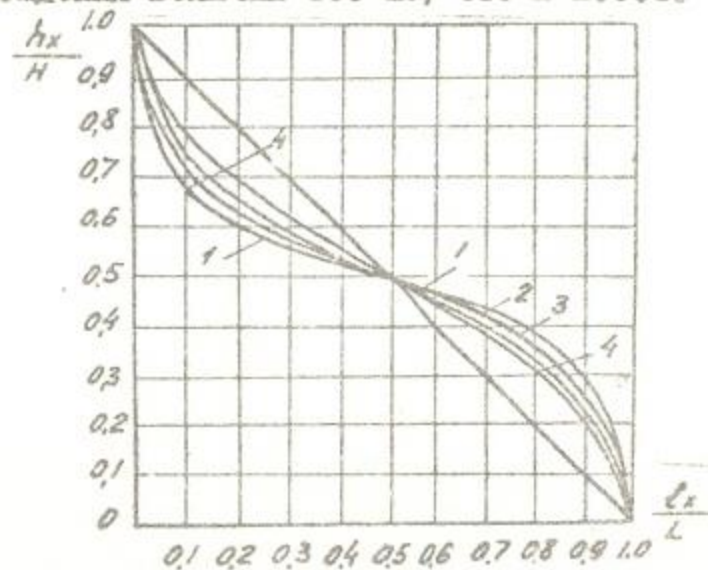


Рис. 12. Зависимость $\frac{h_x}{H} = f\left(\frac{l_x}{L}\right)$ для дренированных перепадов-быстротоков, расположенных на однородном основании: 1- $\beta = 0,15$; 2- $\beta = 0,35$; 3- $\beta = 0,55$; 4-плоское решение.

3.4.2. Для всех значений $\alpha \geq 1$ (случай, когда верхний слой более проницаемый, чем нижний) величина относительного напора определяется по кривой β (рис. II, I2) без учета поправок.

3.4.3. Фильтрационный напор по дну сооружения и откосам в его поперечном сечении принимается равным напору по оси.

3.5. Значения наибольших градиентов фильтрационного потока \mathcal{J} max на выходе в нижний бьеф сооружения, расположенного в разнородном основании и без дренажа определяется из графика (рис. I3а), на выходе в фильтр для сооружения с дренажем под водобойным колодцем - из графика (рис. I3б) с внесением поправок на градиент (рис. I3в) от величин бытового горизонта воды.

Графики на рис. I3а, б представляют зависимости максимальных градиентов

$$\mathcal{J}_{max} = f(\alpha, \beta) \quad (2.2.)$$

от соотношения водопроницаемостей верхнего и нижнего слоев α ($0 \leq \alpha \leq 1$) и относительной ширины сооружения β ($0,1-0,6; \infty$).

Кривые (рис. I3в) для нахождения поправок градиентов

$$\Delta \mathcal{J} = f(\lambda) \quad (2.3.)$$

при превышении бытового уровня H_0 над отметкой воды нижнего бьефа H_I построены в зависимости от относительной величины

$\lambda = \frac{H_0 - H_I}{H}$. Максимальный градиент составляет сумму

$$\mathcal{J}_{max} = \mathcal{J}'_{max} + \Delta \mathcal{J}. \quad (2.4.)$$

3.5.1. Значения максимальных градиентов для сооружений, расположенных на однородном основании без дренажных схем и с дренажем, находятся из графика рис. I4 в зависимости от относительной ширины сооружения β . При влиянии бытового горизонта, аналогично п.3.5., добавляется поправка, найденная из рис. I3в.

3.6. Если фильтрационный поток выклинивается на поверхность земли у бортов водоската, в области выклинивания следует выполнить наклонный дренаж с отводом воды в нижний бьеф.

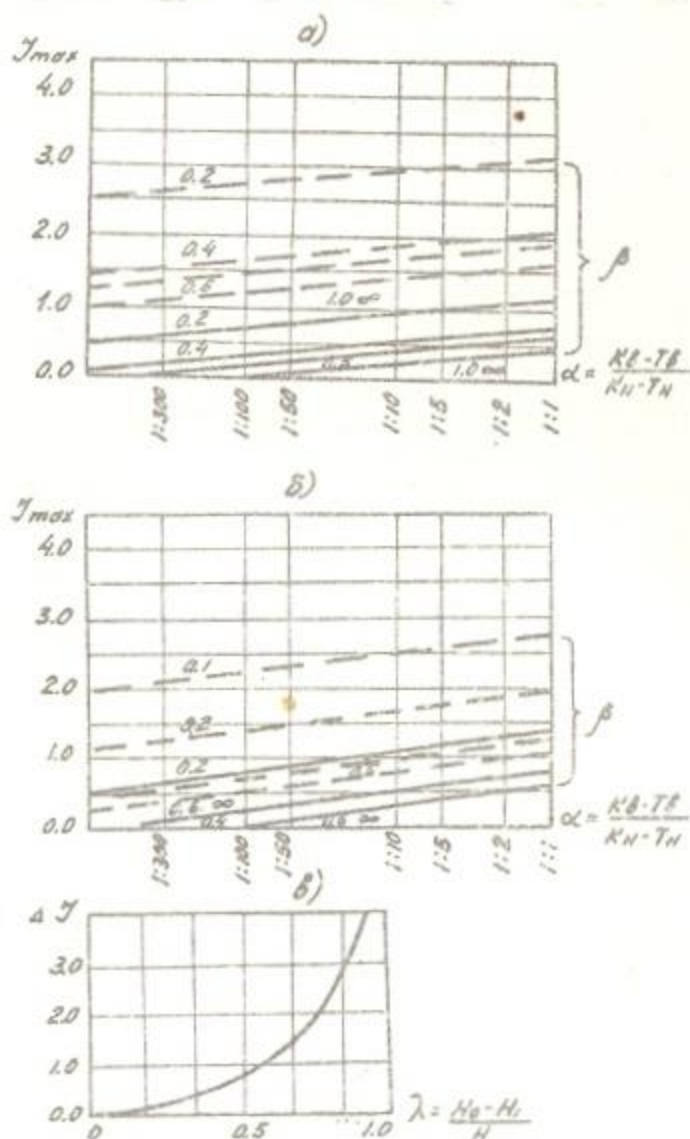


Рис. 13. Зависимости $J_{max} = f(\alpha; \beta)$ для перепадов-быстро-токов, расположенных на двухслойном основании, при выходе фильтрационного потока: а - в нижний бьеф при отсутствии дренажа; б - в фильтр при устройстве дренажа; пунктирные кривые относятся к случаю отсутствия воды, сплошные - к случаю наличия воды в нижнем бьефе; в - график $\Delta J = f(\lambda)$ на влияние положения бытового горизонта λ .

3.7. Устройство дренажа в виде сплошного тифьяка рекомендуется в случаях, когда перепад-быстроток одновременно является и перегораживающим сооружением. В случае, когда сооружение работает транзитом, траншейные фильтры можно делать по его бортам.

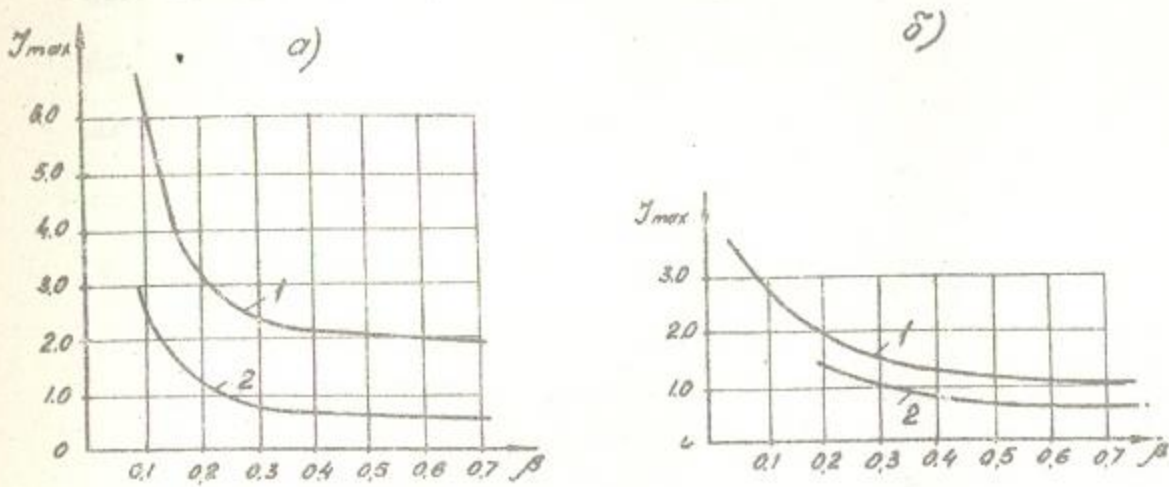


Рис. 14. Зависимости $J_{max} = f(\beta)$ для перепадов-быстро-токов, расположенных на однородном основании при выходе фильтрационной воды: а - в нижний бьеф при отсутствии дренажа; б - в фильтр под водобоем при устройстве дренажа; 1 - при отсутствии воды и 2 - при наличии воды в нижнем бьефе.

4. АКВЕДУКИ И КОНСОЛЬНЫЕ СБРОСЫ

4.1. В данном разделе фильтрационные расчеты производятся для акведуков, расположенных на однородном или разнородном основании, и консольных сбросов, конструкций, представленных на рис. 15 или близких к ним по очертанию подземного контура, с расчетным напором до 30 м и откосом поперечного русла $m = 1,5-2,0$. Длина подходного участка от начала понура до вершины откоса поперечного русла - от 0,8 до 1,2 Н.

4.2. В расчет принимается схема фильтрации с расположением сооружений на однородном основании при случае (наименее выгодном), когда горизонт воды в канале акведука или консольного сброса наивысший, а бытовой горизонт грунтовых вод находится на уровне дна поперечного русла или пониженного места.

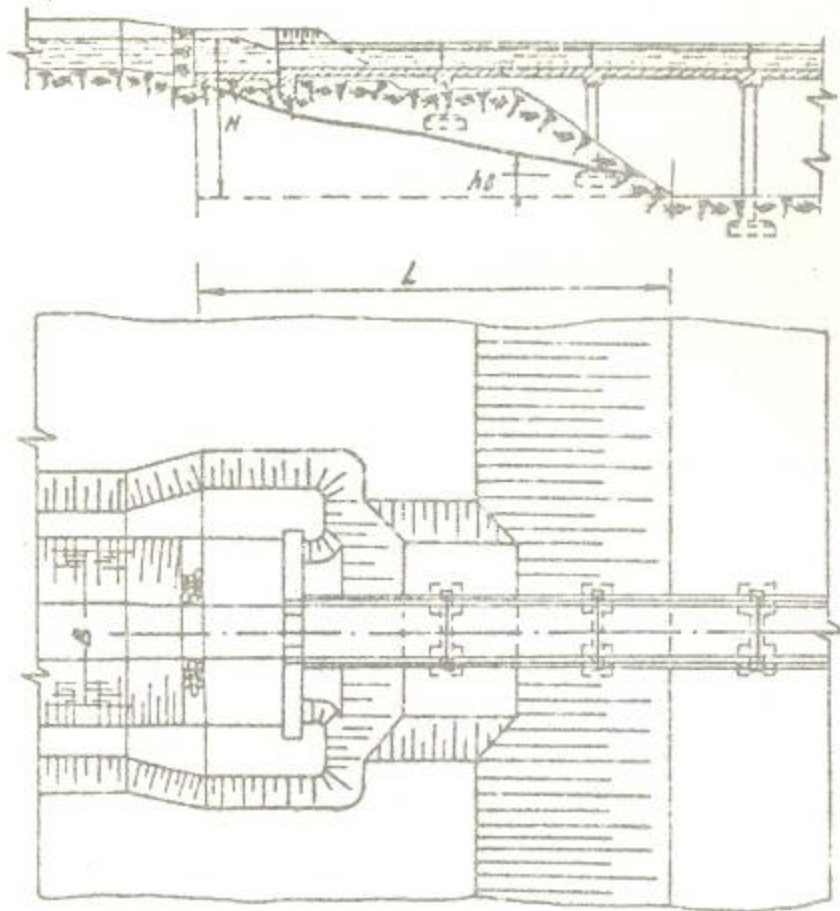


Рис. 15. Расчетная схема акведуков и консольных сбросов.

4.3. Фильтрационным расчетом акведуков и консольных сбросов определяются две величины: наибольший градиент фильтрационного потока на выходе в поперечное русло и высота высачивания фильтрационного потока от подошвы откоса в зависимости от относительного напора $\rho = H : L$ и относительной ширины сооружения $\beta = B : L$. Расчетные величины напора, ширины и длины показаны на рис. 15.

4.4. Значения наибольшего градиента в зависимости от относительного напора и относительной ширины сооружения определяются из графика (рис. 16а).

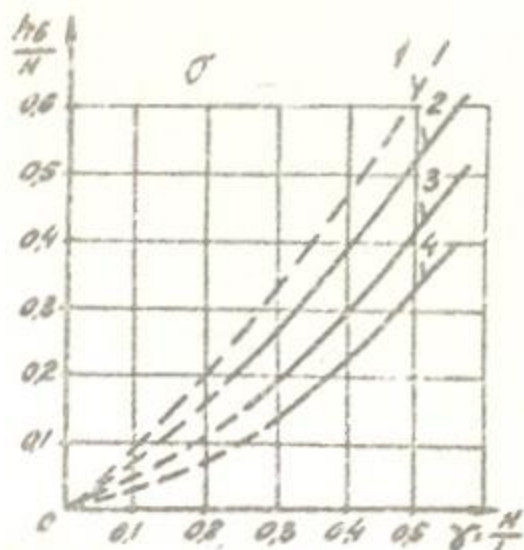
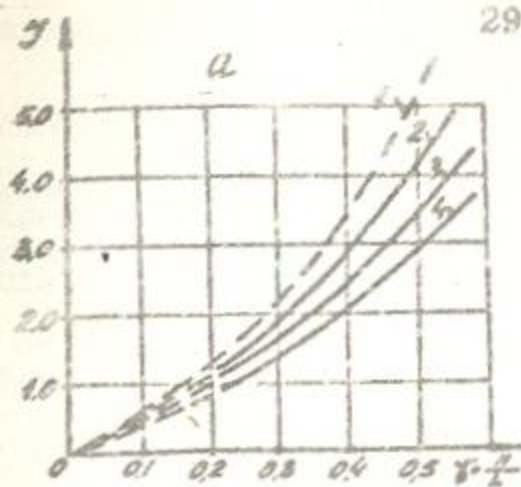


Рис. 16. Расчетные зависимости для акведуков и консольных сбросов: а - значения $J_{\max} = f(\sigma)$ при выходе фильтровального потока в поперечный канал; б - значения $\frac{h_b}{H} = f(\sigma)$ относительной высоты высачивания; 1 - плоское решение; 2 - $\beta = 1,2$; 3 - $\beta = 0,6$; 4 - $\beta = 0,3$.

4.5. Значения высоты высачивания от подошвы откоса поперечного русла в зависимости от относительного напора и относительной ширины устанавливаются по графику (рис. 16 б).

4.6. Данными рис. 16 а, б следует пользоваться в случае определения основных размеров и расположения акведуков и консольных сбросов при заданных условиях.

В частности, значения наибольшего градиента и высоты высачивания служат для решения вопроса о допустимости устройства акведука данной конструкции в данных грунтах и для определения высоты наслойного дренажа по откосу или другого противофильтрационного устройства у подошвы поперечного русла.

Длина противофильтрационных устройств в поперечном русле в случае их необходимости применения назначается равной половине расчетной длины и ширины сооружения в каждую сторону от его оси - $0,5 (L+B)$.

4.7. При наличии наиболее проницаемых прослоек с выходом в поперечное русло ниже или чуть выше высоты высачивания необходимо обращать внимание на контакты, где грунты подвержены

контактной суффозии и являются начальным источником деформации поперечного русла.

Контакты на выходе потока следует защищать наклонными фильтрами, либо перехватывающими поперечными дренами - обеспечить снижение высоты высачивания ниже контактных зон с отводом воды в поперечное русло. Расчеты дренажа определяются согласно п. 4.5.

5. УКАЗАНИЯ ПО МЕТОДИКЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

5.1. Цель фильтрационных расчетов - обосновать длину подземного контура, размеры отдельных элементов и противофильтрационных устройств (щунтов, диафрагм, понуров, завес), определить устойчивость основания и сооружения и наметить дренажные мероприятия.

5.2. Фильтрационными расчетами для целей статистических расчетов гидросооружений устанавливаются величины фильтрационного давления на отдельные его элементы; при назначении длины подземного контура или дренажных мероприятий, определяют величину максимально ожидаемых градиентов на выходе потока в нижний бьеф или дренаж, как основной критерий для выявления устойчивости основания, который не должен превышать критических градиентов грунтов.

5.3. Порядок фильтрационного расчета исходит из целей, указанных в п. 5.1. и 5.2.

При расчете гидротехнических сооружений на фильтрацию, согласно разделам 2, 3, 4, первоначально следует определить реальную схему фильтрации и граничные условия.

5.3.1. Граничные условия определяются основными размерами сооружений при гидравлических расчетах и конструктивных соображениях при их проектировании (L - длина, B - ширина сооружения, H - напор).

Разнородная область фильтрации приводится к однородной или двухслойной схеме согласно п. 1.3.

По основным граничным условиям и составленной реальной схеме фильтрации определяются параметры в относительных значениях $\alpha = \frac{H}{L}$, $\beta = \frac{B}{L}$, $\lambda = \frac{K_B \cdot T_B}{K_H \cdot T_H}$ для всех групп сооружений и $\lambda = \frac{H_0 + H_1}{H}$ для перепадов-быстротоков.

Фильтрационные расчетные параметры устанавливаются по известным размерам сооружения при определенном напоре, а также установленным геологическим и гидрогеологическим условиям районов по расчетным зависимостям разделов 2-4, соответствующим рассматриваемой группе.

5.3.2. При расчете водовыпусков и перепадов-быстротоков первоначально ведут расчеты по определению фильтрационной устойчивости грунтов основания и назначению длины подземного контура при соблюдении условия в п.5.2.

В случае, если расчетные градиенты на выходе в нижний бьеф окажутся ниже критических градиентов в грунтах, то длина L назначена правильно; в обратном случае это относится к сооружениям, построенным на слабоустойчивых супесях или тонкозернистых песках) необходимо удлинить подземный контур и перепроектировать сооружение, оптимальную длину которого находят путем постепенного приближения и пересчета.

При значительно малых разрушающих для грунтов основания градиентов увеличение подземного контура становится нецелесообразным; следует переходить к дренажной схеме.

5.3.3. После расчетов, связанных с фильтрационными деформациями грунтов основания и выбором основных размеров сооружения, согласно п.5.3.2. переходят к статистическому расчету и определению толщины флютбета.

По краю или оси сооружения строят эпюры фильтрационного напора и составляют схему для статистического расчета поперечного сечения сооружения.

Размеры сечения сооружения подсчитывают, исходя из условий равенства или превосходства действующих сил нагрузок от веса сооружения и обратной засыпки по отношению к противофильтрационному давлению, взвешивающему сооружение.

5.4. Для водовыпусков, перепадов-быстротоков и акведуков с дренажными устройствами проверка надежной работы дренажа и фильтров должна быть обеспечена соответствующим их проектированием, согласно указаниям, и в случае необходимости исследована в лабораторных условиях на фильтрационных установках.

5.4.1. Для защиты слабосвязных супесей и пылеватых песков в основании в конструкциях фильтров следует применять стекловолоконистые материалы.

5.5. Для водовыпусков, расположенных в плотинах с противофильтрационными устройствами (ядро, экран, понур), необходимо учитывать эффект гашения ими фильтрационного напора, — найти глубину грунтового потока за противофильтрационным устройством — H_I . Длину гашения напора берут от противофильтрационного устройства до конца непроницаемой части водовыпуска L_1 . В соответствии с полученными значениями H_I и L_1 высчитывают параметры для расчета: $\alpha = \frac{H_I}{L_1}$ и $\beta = \frac{B}{L_1}$. Расчеты ведут согласно п.2.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

РАСЧЕТЫ ФИЛЬТРАЦИИ В РАЗНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Пример I. Расчет фильтрации в основании водовыпуска
из I- Тедженского водохранилища

Дано: I. Расчетный напор на сооружение $H=15,4$ м. Водовыпуск имеет близкий к плоскому подземный контур с допустимыми изменениями профиля по вертикали в пределах 10% его длины.

2. Размеры сооружения в плане: ширина B_H и длина L_H начальной части равны 26,4 и 145 м; длина переходного участка к расширению $L_{11} = 3$ м и расширенной концевой части $B_K = 44$ м, $L_K = 45$ м; общая длина водовыпуска $L = 220$ м.

3. Основание под сооружением в двух вариантах:

I вариант. Покровный слой представлен суглинками и супесями мощностью $T_B=2$ м и коэффициентом фильтрации $K_B=0,8$ м/сут, подстилаемыми тонкозернистыми песками мощностью $T_n=8$ м, и коэффициентом фильтрации $K_n=2$ м/сут. Допустимые градиенты в супесях до $\gamma = 7$.

II вариант. Покровный слой представлен тонкозернистыми песками мощностью $T_B = 8$ м, $K_B = 2$ м/сут, подстилаемыми песчано-галечниковыми смесями мощностью 16 м и коэффициентом фильтрации 10 м/сут. Допустимые градиенты в тонкозернистых песках составляют $\gamma = 0,4$.

Решение: I. Определяем параметры для расчета: относительный напор $\beta = \frac{H}{L} = \frac{15,4}{220} = 0,07$; относительную ширину в начале сооружения $\beta = \frac{B_H}{L} = 26,4:220 = 0,12$ и в конце $\beta_K = 44:220 = 0,2$; соотношение водопроницаемости слоев $\alpha = \frac{K_B \cdot T_n}{K_n \cdot T_B}$; для I варианта $\alpha_1 = \frac{0,8 \times 2}{2 \times 8} = 0,1$ и II варианта $\alpha_2 = \frac{2 \times 8}{10 \times 16} = 0,1$.

2. Проверим устойчивость грунтов в основании водовыпуска и правильность назначения длины подземного контура водовыпуска.

Вначале рассмотрим водовыпуск при работе без дренажных устройств.

По номограмме № 3 (рис. 7) определяем ожидаемые максимальные градиенты, которые принимаем за расчетные. Передвигая движок с горизонтальной шкалой относительных ширин β вдоль абсцисс α основного графика, устанавливаем его левым краем рамки на деление $\alpha = 0,1$. Величина максимального градиента находится путем интерполяции между $\beta = 0,15$ и $\beta = 0,50$, поскольку для $\beta_{кр} = 0,2$ она не построена. Для этого строим кривые зависимостей $\mathcal{I}_{\max} = f(\beta)$ при $\alpha = 0,1$ и $\alpha = 0,07$, соответственно, на верхней и нижней части прозрачного движка номограммы. Точки кривых получаются пересечением вертикальных линий, проведенных через $\beta = 0,05, 0,15, 0,5, 1,2$ с кривыми номограммы, соответствующими тем же относительным ширинам β . По построенным кривым находим для $\beta_{кр} = 0,2$ расчетные градиенты: по оси $\mathcal{I}_{ос. \max} = 0,45$ и краю сооружения $\mathcal{I}_{кр. \max} = 0,6$.

На движке номограммы (рис. 7б) построены кривые, и схема отсчета показана стрелками для рассмотренного случая с интерполяцией.

В I варианте при залегании в основании суглинков и супесей допустимы градиенты $\mathcal{I}_{\text{доп}} = 7 > \mathcal{I}_{кр. \max} = 0,6$ больше ожидаемых, т.е. основание не подвержено деформациям от фильтрации. В этих грунтах водовыпуск строится без дренажных устройств.

Во II варианте, когда под водовыпуском залегают тонкозернистые пески, условие устойчивости не выполняется:

$$\mathcal{I}_{\text{доп.}} = 0,4 < \mathcal{I}_{\max. \text{кр.}} = 0,6.$$

Основание подвержено фильтрационным деформациям. Предотвращение деформаций в грунтах основания осуществляют путем удлинения подземного контура сооружения или устройства дренажа в концевой части водовыпуска. Оптимальную длину сооружения находим путем постепенного приближения. Пользуясь номограммой 3 (рис. 7), принимают длину сооружения больше заданной. При этом изменяются относительный напор \mathcal{J} и относительная ширина \mathcal{B} . Максимальный выходной градиент находят из номограммы № 3. Если он вновь превышает допустимый градиент, то операцию повторяют снова. При дальнейшем постепенном увеличении \mathcal{L} , сохраняя условие $\mathcal{J}_{\text{доп}} \approx \mathcal{J}_{\text{расч.}} = \mathcal{J}_{\text{мах.кр.}}$, можем выйти из области реальных относительных напоров $\mathcal{J} = 0,07 + 0,15$; при этом удлинение подземного контура теряет практический смысл и следует перейти к схеме водовыпуска с устройством дренажа. Из графиков (рис. 8а) находят расчетные градиенты для проверки устойчивости грунтов в основании водовыпуска и подборе материала фильтров дренажа $\mathcal{J}_{\text{расч.}} = \mathcal{J}_{\text{кр.мах}} = 0,35$. Для водовыпусков с дренажем условия $\mathcal{J}_{\text{расч.}} = 0,35 < \mathcal{J}_{\text{доп.}} = 0,4$ выполняются. Следовательно, при назначенных размерах водовыпуска с устройством дренажа, основание устойчиво-фильтрационным деформациям не подвергается.

Вопросы проектирования дренажа достаточно освещены в литературных источниках, указаниях ВНИИГ и ВОДГЕО; здесь они не приводятся. Считаем, что дренаж запроектирован правильно. В случае трудности выполнения конструкции фильтра в виде боковых обсыпных призм, их можно заменить разгрузочным дренажем, устраиваемым в плите и бортах водобоя и рисбермы в виде дренажных стаканов.

3. Статический расчет водовыпусков

Для статического расчета водовыпусков строят эпюры филь-

трационных напоров по крайнему и осевому сечениям по номограмме I и 2. Передвигая движок с поправочными кривыми относительных напоров вдоль оси абсцисс основного графика номограмм, устанавливают его на делении с заданным соотношением $\alpha = 0,1$ сначала для осевого сечения, пользуясь верхней частью номограммы и левой половиной движка, потом для крайнего, используя нижнюю часть номограммы и правую половину движка. Одновременно строят кривые фильтрационного напора для осевого - в левой верхней части движка, для крайнего - в правой нижней части движка, соответствующие относительному напору $\rho = 0,11$ и известной относительной ширине β . Кривые фильтрационного напора определяют по точкам, полученным при пересечении вертикальных линий - сечений по длине подземного контура $l : L = 0; 0,1; 0,2 \dots 0,9; 1,0$ прозрачного движка с соответствующими для каждого отношения $l_x : L$ кривыми основной номограммы, обозначенными на ней для заданной β . Затем через поправочные кривые $f(\rho, \beta)$ для известного относительного напора $\rho = 0,07$ и относительной ширины отсчитывают с полученных выше кривых $f(\rho = 0,11, \beta)$ значения приведенных фильтрационных напоров.

В нашем случае водовыпуск имеет переменную ширину по длине, поэтому эпюру фильтрационного напора строят по частям: для начальной части $\beta_H = 0,12$ по длине $l : L = 0; 0,1; 0,659$; для части, переходной к расширению, $0,12 < \beta_H < 0,2$ на $l : L = 0,659-0,795$ и для конечной, расширенной, части водовыпуска $\beta_K = 0,2$ на $l : L = 0,795; 0,8; 0,9; 1,0$.

Результаты записаны в табличной форме.

Для I варианта водовыпуска:

$l : L$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
по оси	1,0	0,85	0,78	0,73	0,68	0,615	0,53	0,47	0,37	0,3	0,18
по краю	1,0	0,9	0,81	0,75	0,7	0,63	0,57	0,495	0,42	0,32	0,2

Для II варианта (дренированного) водовыпуска:

$\frac{e}{L}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\frac{h_{ec}}{H}$	1,0	0,78	0,7	0,65	0,58	0,5	0,385	0,27	0,175	0,1	0
$\frac{h_{кр}}{H}$	1,0	0,81	0,73	0,66	0,59	0,51	0,42	0,26	0,15	0,05	0

Истинные значения напоров получаем умножением значений в таблице $\frac{h}{H}$ на расчетный напор $H = 15,4$ м. По ним строят эпюры фильтрационного напора, по которым рассчитывают конструкцию водовыпуска. На рис. 17 построены эпюры фильтрационного напора по оси и краю недренированного водовыпуска и показана схема расчета конструкций концевой его части в поперечном сечении (а-а) на длине от начала ($\frac{e}{L} = 0,8$, $L = 196$ м) на один погонный метр сооружения.

Размеры сечения подсчитаны при условии равенства или превосходства действующих сил нагрузок, складывающихся из веса фундаментальной плиты и стенок сооружения, обратной засыпки и воды в колодце, по отношению к противофильтрационному противодействию, взвешивающему сооружение. Толщина плиты фундамента для I варианта водовыпуска в сечении а-а составляет 2,5 м, для II варианта с устройством дренажа - 1,0 м.

Пример 2. Расчет фильтрации в основании перепада-быстротока на ПК 60 сброса № I Амубухарского канала.

Дано: 1. Быстроток-перепад без перегораживающего сооружения работает с транзитным пропуском воды. При $Q_{\max} = 22,6$ м³/с напор на сооружение составляет 3,1 м;

2. Размеры непроницаемой части в быстротоке в плане составляют: длина 38 м, ширина 20 м;

3. Основание перепада сложено из лёссов мощностью 5 м и проницаемостью до 1 м/сут, подстилаемых песками мощностью 10 м с коэффициентом фильтрации 5 м/сут;

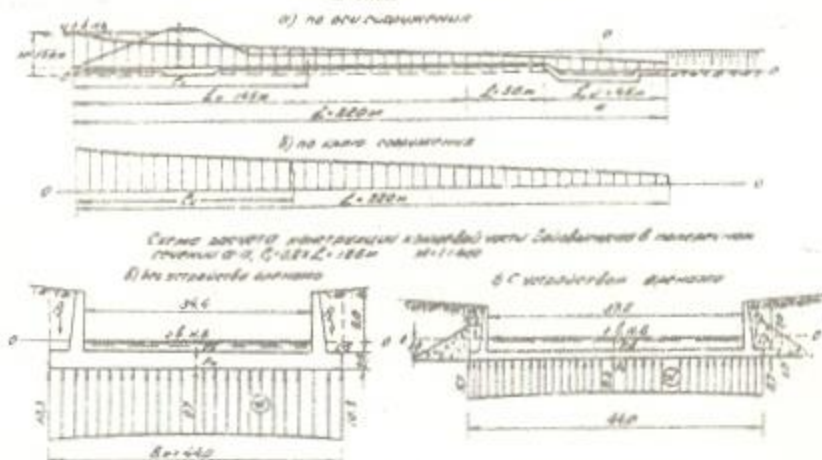


Рис. 17. Расчет водовыпуска: а - эквивалентный контур для водовыпуска без дренажа; б - схема статического расчета конструкции концевой части водовыпуска в поперечном сечении а-а при $c = 0,8$, $L = 196$ м.

4. Бытовой горизонт находится выше уровня нижнего бьефа на $\Delta H_0 = 1$ м.

Решение: I. Найдем параметры для расчета:

$$\beta = H : L = 3,1 : 37 = 0,084 < 0,24,$$

$$\beta = B : L = 20 : 38 = 0,53,$$

$$\alpha = \frac{K_B T_B}{K_H T_H} = \frac{1 \times 5}{5 \times 10} = 0,1,$$

$$\lambda = \frac{H_0 - H_I}{H} = \frac{\Delta H_0}{H} = \frac{1}{3,1} = 0,323.$$

2. Определим фильтрационную устойчивость грунтов в основании и правильность назначения длины подземного контура.

Рассмотрим I вариант быстрого тока без дренажных устройств.

Максимальные градиенты при выходе фильтрационного потока в нижний бьеф подсчитываем по зависимости (рис. 13а, в). Для случая наличия воды в нижнем бьефе при $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,53$, находим (по рис. 13а) $\gamma'_{\max} = 0,5$. Затем определяем поправочный градиент по рис. 13 в при $\lambda = 0,323$ - $\Delta \gamma = 0,3$.

Максимальный градиент с учетом поправки составит:

$$J_{\text{max}} = J'_{\text{max}} + \Delta J = 0,5 + 0,3 = 0,8.$$

Для суглинистых грунтов основания допустимые градиенты составляют более 7. Условие $J_{\text{доп.}} > J_{\text{расч.}} = J_{\text{max}}$ выполняется. Длина сооружения назначена правильно. В случае выхода песчаных грунтов в нижнем бьефе на поверхность, которые не выдерживают градиентов $J = 0,4$, следует устраивать дренаж с обратным фильтром.

3. Рассчитаем фильтрационный напор в основании сооружения.

Эпюры фильтрационного напора по основанию сопрягающего сооружения строим по расчетным зависимостям, данным на рис. II (по $B = 0,53$ - кривая 3, $\alpha = 0,1$, $\lambda = \frac{1}{3}$ - кривая - 2); расчеты сведены в таблицу:

$\frac{e}{\lambda}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
e	0	3,8	7,6	11,4	15,2	19	22,8	26,6	30,4	34,2	38
$\frac{h}{H}$	1,0	0,9	0,77	0,7	0,61	0,52	0,43	0,36	0,28	0,2	0
h	3,1	2,79	2,39	2,17	1,89	1,61	1,33	1,12	0,87	0,62	0

4. Необходимую толщину флютбета в расчетном сечении на

И м подсчитываем по зависимости: $\delta = \frac{\sigma_B}{\sigma_s - \sigma_B} h$,
 где σ_s, σ_B - соответственно объемная плотность бетона и воды.
 В сжатом сечении потока толщина плиты быстотока при $e_x^{\text{сж}} = 19\text{м}$,
 $h_x = 1,61$ м составит: $\delta = \frac{1,61}{1,5} = 1,1$ м. В водобойной части
 толщина флютбета в сечении $e_x = 28$ м, где $h_x = 1$ м, составит:
 $\delta = \frac{1}{1,5} = 0,67$ м и в середине плиты $e_x = 32$ м - $\delta = \frac{0,7}{1,5} = 0,47$ м.

Пример 3. Расчет фильтрации в основании акведука.

Дано: фильтрация происходит из акведука в поперечное сухое русло. Фильтрационный напор, составляющий разницу отметки воды на входном участке акведука с отметкой дна русла, равен $H = 8\text{м}$.

Длина от начала акведука до русла $L = 24$ м, ширина в канале по урезу воды на входном участке сооружения — $B = 8$ м.

Основание под сооружением представлено лессовыми грунтами.

Решение: I. Определяем параметры для расчета: относительный напор $\nu = \frac{H}{L} = 8 : 24 = 0,33$; относительная ширина $\beta = \frac{B}{L} = 8 : 24 = 0,33$.

2. Максимальный градиент на выходе фильтрационного потока у подошвы русла определяем по графику (рис. 16а). Он составит $J_{\max} = 1,8$.

3. Относительную высоту просачивания на откос над руслом находим из графика (рис. 16 б). Она составит $\frac{h_s}{H} = 0,2$. Фактическая высота получается умножением приведенной высоты на действующий фильтрационный напор: $h_s = 0,2 \times 8 = 1,6$ м.

Откос русла, состоящий из лессовых грунтов, теряет свою устойчивость при намокании и будет оплывать под действием фильтрации. В связи с этим следует устроить наслоенный дренаж с пригрузкой откоса фильтровым материалом на длину:

$0,5 (L + B) (8 + 24) \times 0,5 = 32 \times 0,5 = 16$ м — в каждую сторону от оси акведука на высоту 1,8, закрывающую высоту высачивания фильтрационной воды. Общая длина дренажа составит 32 м.