

Временные методические рекомендации по расчету зон затопления при внезапном прорыве ограждающих дамб хвостохранилищ

Белгород 1981

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
УПРАВЛЕНИЕ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу
В И О Г Е М

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
И.Ф.ОКСАНИЧ
26 марта 1981 г.

ВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ПРОРЫВЕ ОГРАЖДАЮЩИХ ДАМБ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Белгород
1981

УДК 622-I7:622.847

Временные методические рекомендации составлены во исполнение приказа № 524 ИЧМ СССР от 4 июля I978 г.

В работе изложена методика расчета возможных зон затопления при разрушении ограждающих сооружений хвостохранилищ. Рассмотрен размыв плотин и дамб хвостохранилищ потоком воды и формирование максимального расхода потока излива, определяющего размеры зоны затопления, движение потока растекания по прилегающей местности.

Настоящие рекомендации позволяют определить в случае возможного растекания хвостохранилищ размеры зоны затопления, что необходимо для разработки мероприятий, снижающих или исключающих их катастрофические последствия растекания хвостохранилищ и для расчета зон возможного затопления существующих и проектируемых хвостохранилищ.

Определение границ охранных и механических зон из других условий регламентируется соответствующими нормативными документами.

Настоящие рекомендации составлены в лаборатории хвостохранилищ Криворожского отделения института ВНИГМИ инженером А.А.Каниболоцким. Утверждены НТС института II сентября I980 г. в качестве методических рекомендаций.

Все замечания и предложения просим направлять по адресу: 324016, г.Кривой Рог Днепропетровской области, ул.Краногвардейская, I, Криворожское отделение ВНИГМИ.

© Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВНИГМИ), 1981.

ВВЕДЕНИЕ

Проектируемые и эксплуатируемые хвостохранилища в основном расположены в поймах рек, оврагах, балках и их склонах, вблизи населенных пунктов, промышленных и хозяйственных сооружений, транспортных коммуникаций, питьевых и хозяйственных водоемов и по высотному отношению к ним занимают командное положение. Ограниченная возможность выбора площадок под хвостохранилища, связанная с необходимостью сокращения занимаемых ими площадей, а в связи с этим увеличение емкостей хвостохранилищ происходит за счет увеличения высоты подпорных сооружений, что повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций. Особую опасность представляют аварии, связанные с нарушением устойчивости подпорных сооружений, сопровождающиеся растеканием воды и отложений хвостохранилищ на значительных площадях.

К настоящему времени имеются сведения об авариях на гидротехнических сооружениях как в нашей стране, так и за рубежом, которые свидетельствуют о потенциальной возможности возникновения аварийных ситуаций на плотине или дамбе любого хвостохранилища и необходимости определения возможных зон затопления окружающей территории на случай прорыва ограждающих сооружений.

Комплексное решение вопроса растекания и определения опасных зон хвостохранилищ нашло отражение в работах отраслевой лаборатории механики грунтов и устойчивости хвостохранилищ Ленинградского ордена Ленина политехнического института им.М.И.Калинина [I, 6, 9, I0, I4], в исследованиях ВНИИ ВОДГЕО [II, I3]. Результаты этих исследований использованы при составлении настоящих рекомендаций.

При окончательной редакции учтены замечания институтов "Союзводоканалпроект", "Гидропроект", "Укрводоканалпроект", "УкрВОДГЕО", ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева, "Кривбасспроект", "Гипроцветмет", "Гипроруда", ДПИ (кафедры инженерных мелиораций, гидрогеологии и охраны окружающей среды и отраслевой научно-исследовательской лаборатории механики грунтов и устойчивости хвостохранилищ) и гидротехнического отдела института ВНИОГЕМ.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При разрушении ограждающих сооружений хвостохранилищ, переливе воды через гребень плотины из пруда хвостохранилища изливается поток, растекающийся по прилегающей к хвостохранилищу местности. Подобное явление наблюдается и при выносе грунта из тела плотины фильтрационным потоком. Размеры зоны затопления зависят в основном от максимальных параметров потока излива и рельефа местности.

Параметры потока растекания определяются интенсивностью снижения уровня воды прудковой зоны и размыва тела плотины потоком истечения. В общем случае процесс размыва явно нестационарный: происходит быстрое изменение твердой границы и поверхности размывающего потока (рис.I.I), т.е. одновременно снижается поверхность плотины BKG и поверхность воды MLE . Интенсивность снижения поверхности плотины значительно больше интенсивности снижения поверхности воды. Глубина размыва плотины со стороны верхнего бьефа ограничивается плоскостью AF , называемой плоскостью предельного размыва (ППР). Рекомендуется в хвостохранилищах за отметку ППР принимать нижнюю границу слоя неконсолидированных отложений, мощность которого ориентировочно равна отложениям за один - полтора года, либо определяется пенетрацией прудковой зоны шаром I5 кг и диаметром I5 см [I, 6, 9, I0, I4].

После размыва до ППР и при наличии в хвостохранилище достаточных запасов воды, создающих мощные напоры и скорости истечения, превышающие неразмывающие для данного грунта, происходит размыв плотины в ширину, т.е. увеличение прорана и дополнительный вынос грунта из тела плотины.

Опасной зоной хвостохранилища считается зона возможного неустановившегося движения потока воды и отложений хвостохранилища, возникающего в результате разрушения и размыва подпорных сооружений и истечения из хвостохранилища, в которой в связи с этим должны предусматриваться специальные мероприятия по защите или выносу существующих или проектируемых в этой зоне сооружений, народнохозяйственных или природных объектов и т.п.

Размыв плотины хвостохранилища потоком воды и истечение из прудковой зоны обусловливают неустановившееся движение потока растекания. Створ плотины в этом случае является местом возникновения волны перемещения, которая двигаясь по прилегающей местности, затапливает ее. Площадь затопления определяется наибольшей высотой волны перемещения, формируемой максимальным расходом потока

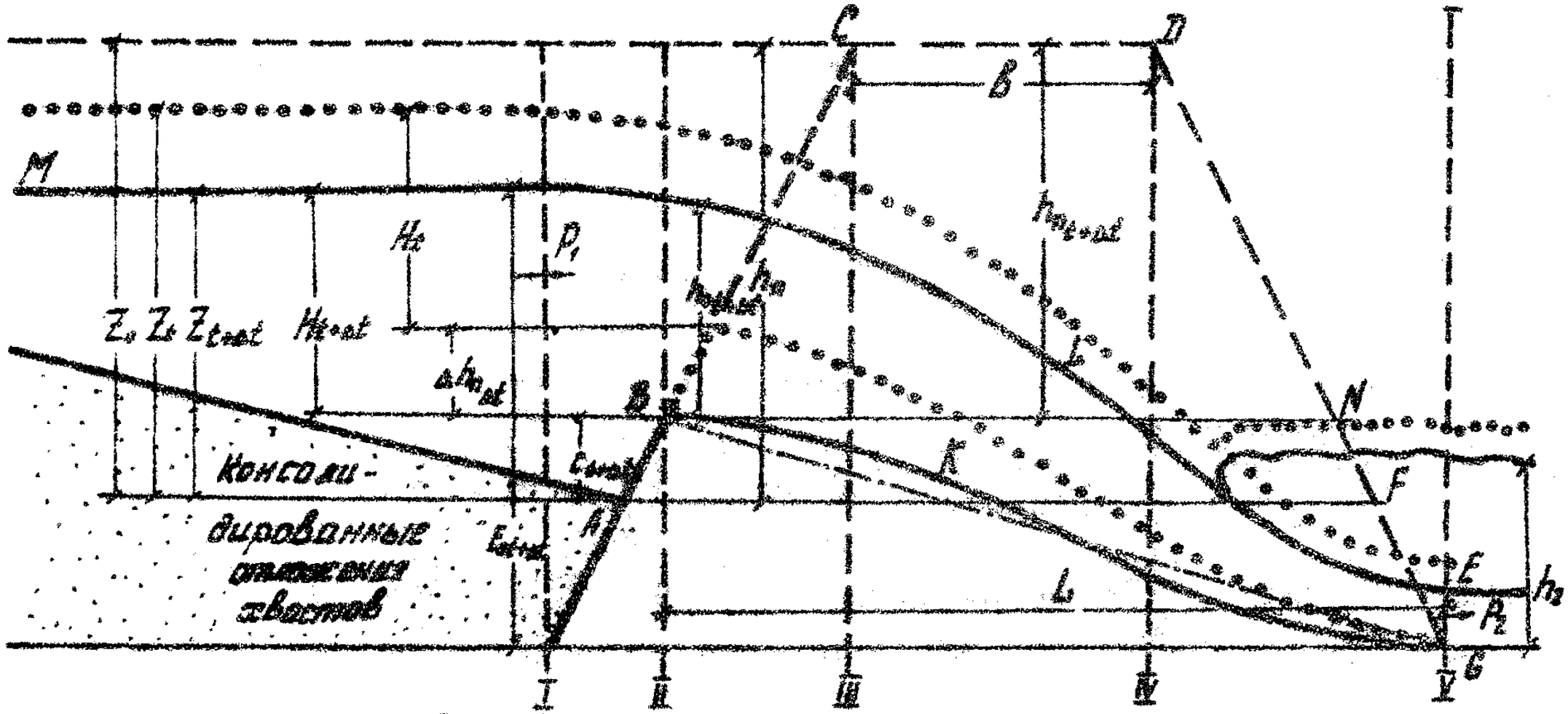


Рис.I.I. Схема размыва плотины хвостохранилища.

Поверхность плотины и горизонт воды:– – – в начальный момент; ····· в момент t; —— в момент $t+\Delta t$; AF – плоскость предельного размыва (ПРР); c – промежуточные плоскости размыва над ПРР; b – ширина плотины по верху; $Z_0, Z_t, Z_{t+\Delta t}$ – превышение горизонта воды над ПРР в начальный момент, моменты t и $t+\Delta t$; h_2 – глубина на выходе; $h_п$ – общая глубина размыва; h_0 – наибольшая глубина потока в проране; H_t и $H_{t+\Delta t}$ – напор над плоскостью размыва в моменты t и $t+\Delta t$; L – длина прорана; $E_{0\,t+\Delta t}$ – полная удельная энергия в сечении I в момент $t+\Delta t$.

излива, рельефом местности и т.д. Поэтому в задачу расчета опасной зоны входит определение наибольшей высоты волны по длине растекания и границ зоны возможного затопления.

В процессе растекания хвостохранилищ можно выделить следующие основные моменты:

прорыв или размыв ограждающих и подпорных плотин и дамб и формирование максимальных параметров потока в проране, определяющих размер зоны затопления;

движение изливающегося из хвостохранилища потока по прилегающей местности.

Решение этих задач возможно при следующих упрощениях и допущениях.

Водой при истечении из прудковой зоны захватываются несколько лидированные отложения и в конце размыва из пруда вытекает суспензия с объемной массой в пределах 1,2-1,44 г/см^3 [1, 6, 9, 10, 14]. По данным аварии на Алмалыкском ГМК в такой суспензии может доходить отношение твердого к жидкому Т : Ж = 1 : 3. При плотности хвостов 2,8-3,0 г/см^3 объемная масса этой пульпы доходит до 1,19-1,20 г/см^3. Вязкость суспензии меняется в зависимости от концентрации твердого. Однако при такой концентрации в потоке воды статическое (начальное) напряжение сдвига, характерное для вязкопластичных жидкостей, практически отсутствует. Поэтому вытекающую через проран жидкость рассматриваем на данном этапе как ньютоновскую и применяем к ней зависимости, полученные для воды.

Величина расхода излива зависит от высоты напора H над ППР в точке B, поэтому для определения расхода истечения используется формула водослива. Считаем, что пик гидрографа излива наступает после размыва плотины до ППР, т.е. при $h_п = const$, и задача сводится к нахождению значений ширины прорана и напора в момент излива максимального расхода потока.

Заложение верхового m_1 и низового m_2 откосов плотины в общем случае различны и равны котангенсу угла наклона откоса к горизонту.

Проран к выходу несколько расширяется и представляет собой как бы участок канала параболического сечения. При этом допускаем, что участок этого канала распространяется от плотины на расстояние сопряжения бьефов с берегами, образованными водоворотными зонами или мертвыми пространствами непосредственно за плотиной. В этом месте происходит сопряжение глубин в условиях донного режима по типу затопленного прыжка и большую сопряженную глубину принимаем в дальнейших расчетах.

Высота волны и скорость потока излива изменяется во времени и пространстве. Но нас интересуют максимальные размеры зоны затопления, а не изменение ее размеров во времени. Поэтому рассматриваем как бы установившееся неравномерное движение при расходе, равном максимальному расходу потока излива.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ

2.1. Размыв плотин и дамб из грунтовых материалов и формирование гидрографа излива

Величина максимального расхода излива является функцией размеров прорана и напора воды над плоскостью размыва.

Размеры прорана (его ширина B и наибольшая глубина $h_п$) зависят от объема грунта W, вымытого потоком из плотины, и определяются путем решения уравнения деформации русла для случая размыва потоком воды плотин из грунтовых материалов [12]

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{1}{\gamma} \cdot S \cdot \frac{dV}{dt} , \qquad (2.1)$$

где t – время, с; γ – насыпная плотность грунтов плотины, кг/м^3; S – размывающая способность потока, кг/м^3; V – объем воды прудковой зоны, м^3.

Величины, необходимые для решения уравнения (2.1) определяются по следующим формулам.

Поперечное сечение прорана описывается формулой, полученной на основании исследований,

$$-\frac{h_x}{h_п} = \left(\frac{2x}{B}\right)^4 - 1 , \qquad (2.2)$$

где h_x – глубина на расстоянии x от оси прорана, м.

Площадь сечения и объем прорана определяются по эмпирическим зависимостям

$$\omega_п = 0{,}8 \cdot B \cdot h_п ; \qquad (2.3)$$

$$W = 0{,}8\, B h_п \cdot \left[B + 4/9 \cdot (m_1 + m_2) \cdot h_п\right] . \qquad (2.4)$$

Для потока на входном участке прорана наибольшая глубина h_0, гидравлический радиус R и площадь водного сечения ω_0 при ши-

не B_0 рассчитываются следующим образом:

$$h_0 = 0{,}8\,H\,; \qquad (2.5)$$

$$\omega_0 = 0{,}8\,B_0 h_0 = 0{,}64\,B_0 H\,; \qquad (2.6)$$

при $2{,}5\,h_0 \le B_0 \le 5\,h_0$

$$R = 0{,}4 h_0 \sqrt[3]{B_0 / h_0}\,; \qquad (2.7)$$

при $5h_0 \le B_0 \le 10h_0$

$$R = 0{,}56\,h_0 \left(\frac{B_0}{h_0}\right)^{0{,}187}; \qquad (2.8)$$

Расход истечения через проран Q в м^3/с и скорость потока в проране (на входном участке) U в м/с определяются по формуле водослива, как при перекрытии русла каменной наброской, или пропуска расходов через недостроенные плотины из грунтовых материалов [5, I2] при коэффициенте расхода $m = 0{,}30 \div 0{,}36$ и коэффициенте скорости $\varphi = 0{,}8 \div 0{,}9$ с учетом выполнения (2.5) и (2.6)

$$U = \varphi\sqrt{2g(H - h_0)} = 0{,}4\sqrt{2gH}\,, \qquad (2.9)$$

$$Q = U \cdot \omega_0 = 0{,}25\,B_0 H\sqrt{2gH}\,. \qquad (2.10)$$

В качестве формулы размывающей способности потока в проране для частиц $d > I$ мм рекомендуется формула И.И.Леви, в которой учтена величина взвешенных расходов посредством коэффициента I,I [I, 3, I2] и которая после преобразований запишется в следующем виде:

$$S = \frac{0{,}000386\,\gamma'(0{,}4\sqrt{2gH} - U_н)}{(dH)^{0{,}25}\sqrt{g}}\,, \qquad (2.11)$$

где γ' – плотность грунтов плотины, кг/м^3; $U_н$ – средняя по сечению неразмывающая скорость потока, м/с; d – средний диаметр частиц грунта плотины, м.

Прочностные характеристики связных и несвязных грунтов учитываются посредством $U_н$.

Аналитическое выражение кривой объемов прудковой зоны

$$V = a \cdot z^n, \qquad (2.12)$$

где a и n – некоторые постоянные; z – превышение горизонта воды прудковой зоны над ППР.

Интегрирование дифференциального уравнения (2.I) с учетом выра-

жений (2.4), (2.II), (2.I2) выполняем для условий размыва на всю глубину до ППР, принимая $U_н = const$, и получаем зависимость ширины прорана на входном участке в момент t от превышения горизонта воды над ППР в этот момент

$$B_t = E\left[\frac{U_н(Z_t^{n-0,25} - Z_0^{n-0,25})}{n-0,25} - \frac{0,4\sqrt{2g}(Z_t^{n+0,25} - Z_0^{n+0,25}}{n+0,25}\right]. \quad (2.I3)$$

где при среднем значении $\gamma' = 2700$ кг/м^3

$$E = \frac{3an}{\gamma\sqrt{g}\cdot d^{0,25}\, h_n[b + \frac{1}{2}(m_1+m_2)\cdot h_n]}. \quad (2.I4)$$

Это формула изменения ширины прорана от снижения превышения горизонта воды над плоскостью предельного размыва, т.е. имеем $B = f(Z)$ или, что то же самое, $B = f(H)$. Для соответствующих значений B_t и H_t по формулам (2.9) и (2.I0) определяется расход воды и скорость потока, при этом максимальный расход потока в проране

$$Q_м = \frac{0,236E\sqrt{2g}}{h_n^{0,25}}\cdot K^{1,75}\cdot Z_0^{n+1,5}\left[\frac{0,4\sqrt{2gZ_0}}{n+0,25}(1-K^{n+0,25}) - \frac{U_н(1-K^{n-0,25})}{n-0,25}\right], \quad (2.I5)$$

где K – отношение Z_t к Z_0 при $Q_м$, зависит от n (табл.2.I), т.е. от формы чаши прудковой зоны.

Таблица 2.I

n	I,0	I,25	I,5	I,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
K	0,695	0,7I6	0,734	0,75I	0,765	0,78	0,79	0,80	0,8I

Максимальная ширина прорана $B_м$ после полного истечения прудковой зоны хвостохранилища

$$B_м = E\cdot Z_0^{n-1,25}\left[\frac{0,4\sqrt{2gZ_0}}{n+0,25} - \frac{U_н}{n-0,25}\right]. \quad (2.I6)$$

2.2. Трансформация волны излива по длине растекания

В зависимости от рельефа местности, по которой происходит растекание, параметры потока в зоне растекания определяются по следующим формулам.

2.2.I. Для плоского рельефа с уклоном $i < 0{,}0I$ параметры растекания определяются по эмпирическим зависимостям ЛПИ [I]

$$U_\ell = U_2\left[1 - 0{,}185\left(\frac{\ell\sqrt{Fr_2}}{h_2}\right)^{0{,}181}\right]; \qquad (2.I7)$$

$$h_\ell = h_2\left[1 - 0{,}185\left(\frac{\ell\sqrt{Fr_2}}{h_2}\right)^{0{,}181}\right]; \qquad (2.I8)$$

$$B_\ell = B_M\left[1 + 0{,}358\left(\frac{\ell\sqrt{Fr_2}}{h_2}\right)^{0{,}458}\right], \qquad (2.I9)$$

где $U_\ell, h_\ell, B_\ell, U_2, h_2, B_M$ - значения соответственности скорости, глубины и ширины растекающего потока на расстоянии ℓ м от начала растекания и в начальном створе; $Fr_2 = \frac{U_2^2}{g h_2}$ - число Фруда в начальном створе.

При уклоне местности от 0,0I до 0,40 полученная по зависимости (2.I7) скорость U_ℓ умножается на коэффициент $e^{2{,}487i}$.

2.2.2. В случае растекания потока излива по руслу параметры волны растекания определяются по эмпирическим формулам, полученным по натурным данным [I2]:

высота волны

$$h_\ell = h_2 \cdot 10^{-0{,}0001I \cdot \frac{\ell}{h_2}}; \qquad (2.20)$$

скорость гребня волны

$$U_\ell = \sqrt{g h_2}\left(0{,}I5 + I{,}64 \cdot 10^{-I2{,}5 \cdot \frac{\ell}{h_2}}\right). \qquad (2.2I)$$

Ширина потока растекания в этом случае рассчитывается по поперечному сечению и определенной по формуле (2.20) высоте волны. На небольших расстояниях от хвостохранилища (для $\frac{\ell}{h_2} < I00 \div 200$) по длине растекания можно принимать $Q_M = \text{const}$. Тогда глубину и ширину затопления (с некоторым запасом) возможно определять по Q_M исходя из зависимостей $Q_\ell = f(h_\ell)$, построенных по формуле Шези для нескольких створов по длине растекания.

2.2.3. Величина динамического давления потока на препятствия, расположенные в зоне растекания, определяется по зависимости [I]

$$P_A = \frac{\alpha \cdot \gamma_0 \cdot U_\ell^2}{2g}, \qquad (2.22)$$

где γ_0 - объемный вес потока (обычно $\gamma_0 = I{,}2 - I{,}3$ т/м^3); α - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скоростей по живому сечению потока, размеры, форму и положение ударяемого

тела в потоке и т.п. (по экспериментальным данным [I] $\alpha = 2,7$).

2.2.4. Значения числа Фруда, скорости, глубины и ширины потока растекания в начальном створе, т.е. на выходе из прорана, определяются следующим образом.

Записанное для сечений I и У (см.рис.I.I), имеющих параболическую форму, уравнение Бернулли с учетом сжатой глубины h_1 в сечении V после преобразований с учетом выражений (2.2), (2.6) и (2.I0) принимает вид

$$\frac{E_0}{H} = \frac{h_1}{H} + 0,1875 \cdot \frac{\alpha}{\varphi^2}\left(\frac{H}{h_1}\right)^{2,5}, \qquad (2.23)$$

где E_0 – удельная энергия в сечении I, отнесенная к плоскости сравнения; α – коэффициент, учитывающий влияние неравномерности распределения скоростей по сечению потока на живую силу его (α = =I,I÷2,0); φ – коэффициент, учитывающий все потери на участке от входного до рассматриваемого сечения. По [8] для неблагоприятных условий протекания $\varphi = 0,8 \div 0,9$.

Вторая сопряженная глубина h_2, т.е. глубина в начальном сечении потока растекания, определяется по уравнению прыжковой функции [8], записанному для русла произвольного сечения с учетом выражений (2.2), (2.6) и (2.I0)

$$0,148\alpha_0\left(\frac{H}{h_1}\right)^{1,25} + 0,375\left(\frac{h_1}{H}\right)^{2,25} = 0,148\alpha_0\left(\frac{H}{h_2}\right)^{1,25} + 0,375\left(\frac{h_2}{H}\right)^{2,25}, \qquad (2.24)$$

где α_0 – коэффициент, учитывающий влияние неравномерности распределения скоростей по сечению потока на количество движения его ($\alpha_0 = I,I \div 2,0$).

Сравнивая уравнения (2.23) и (2.24) можно записать, что

$$\frac{h_2}{H} = f\left(\frac{H}{h_1}\right), \quad \frac{H}{h_1} = f\left(\frac{E_0}{H}\right) \Rightarrow \frac{h_2}{H} = f\left(\frac{E_0}{H}\right).$$

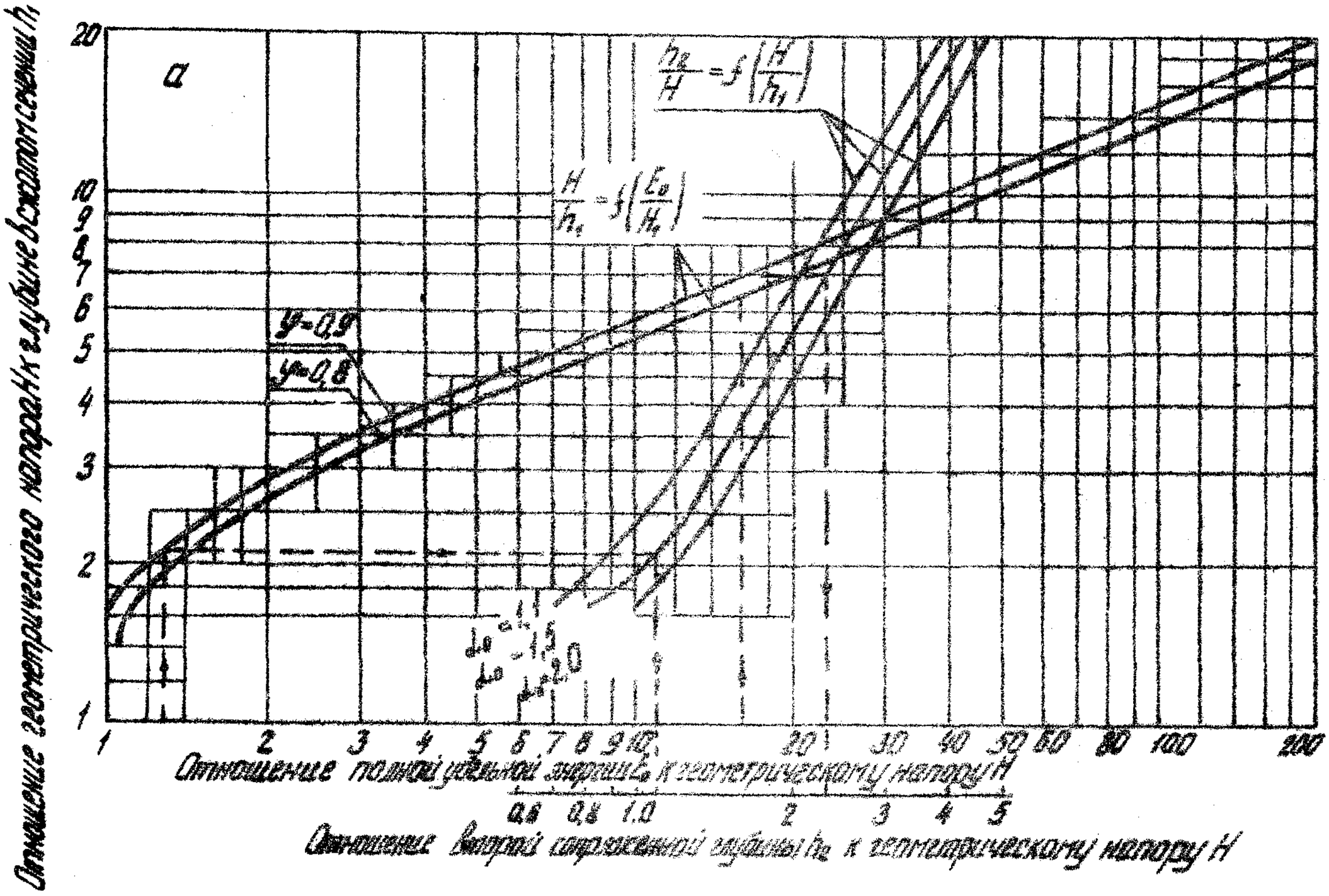
На рис. 2.I приводятся зависимости, построенные по (2.23) и (2.24). С помощью этих графиков и находится глубина h_2.

Число Фруда Fr_2 на выходе из прорана в створе со второй сопряженной глубиной h_2 определяется по формуле

$$Fr_2 = 0,218\,\alpha \cdot \left(\frac{H}{h_2}\right)^{2,5}. \qquad (2.25)$$

График зависимости (2.25) приводится на рис.2.I.

Наибольшая ширина потока растекания определяется по формуле (2.I6) (для начального створа).



а
$\frac{h_2}{H} = f\left(\frac{H}{h_1}\right)$
$\frac{H}{h_1} = f\left(\frac{E_0}{H_1}\right)$
$\varphi = 0{,}9$
$\varphi = 0{,}8$
$d_0 = 1{,}1$
$d_0 = 1{,}5$
$d_0 = 2{,}0$
Отношение геометрического напора H к глубине в сжатом сечении h_1
Отношение полной удельной энергии E_0 к геометрическому напору H
Отношение второй сопряженной глубины h_2 к геометрическому напору H

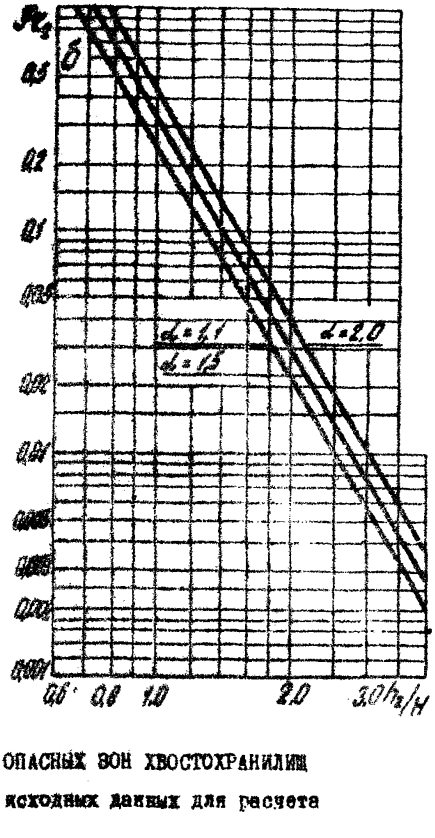


Рис.2.I

График для определения глубины h_1, в сжатом сечении, глубины h_2'', сопряженной со сжатой (а), и числа Фруда Fr_2 на выходе из прорана (б) в зависимости от полной удельной энергии E_0.

3. СХЕМА РАСЧЕТА ОПАСНЫХ ЗОН ХВОСТОХРАНИЛИЩ

3.1. Установление исходных данных для расчета

Определение опасных зон начинается с выбора наиболее вероятных участков разрушения плотины и трасс растекания. Обычно аварии плотин приурочены к местам наибольшей высоты плотины, участкам водозаборов и водосбросов, местам прокладки пульповодов по внешним откосам плотин, участкам усиленной фильтрации в плотине и в основании и т.п. С учетом вероятных участков разрушения, топографии местности, наличия сооружений и объектов в нижнем бьефе намечаются трассы возможного растекания хвостохранилищ.

Поэтому прежде всего требуется топографический план района хвостохранилища. Масштаб плана должен обеспечивать возможность

построения продольных и поперечных профилей по трассе растекания, определения уклонов местности и т.п.

По проектным материалам или по натурным исследованиям определяется ширина плотины по верху, заложение откосов, плотность, насыпная плотность, средний диаметр частиц и сцепление грунта тела плотины.

По значениям диаметра и расчетному сцеплению на разрыв (для связных грунтов) определяются неразмывающие скорости $U_н$ [7].

Расчетное сцепление на разрыв определяется по формуле

$$C_н^у = 0{,}18\, C \cdot к\,, \qquad (3.1)$$

где C – сцепление по сдвигу для связного грунта, т/м^2; к – коэффициент однородности показателей прочности ($к \approx 0{,}5$), определяется по результатам определения C.

Диаметры отрывающихся отдельностей и частиц при расчете размыва плотин из несвязных грунтов принимаются как средние по результатам механического анализа. При расчетах размывов русел в связных грунтах рекомендованные размеры отрывающихся отдельностей приведены в табл.3.1 [2,4]. Здесь же приведены и другие водно-физические и эрозионные свойства грунтов, необходимые при расчетах размывов проранов в теле плотины при отсутствии специальных исследований. При этом гидравлическая крупность определена по формуле В.Н.Гончарова (в редакции И.Ф.Карасева [2]) при плотности грунта 2650 кг/м^3.

Таблица 3.1

Грунт	Средний диаметр, мм	Гидравлическая крупность, соответствующая среднему диаметру, м/с	Объемная масса грунта, т/м^3	Содержание глинистых фракций 0,002 мм, %	Усталостная прочность на разрыв, т/м^2
Глина среднеплотная	4,3	0,282	I,8-2,0	30	>0,05
Глина малоплотная	3,2	0,243	I,6-I,8	30	0,05
Суглинок тяжелый	4,0	0,272	I,75	I5-30	0,04-0,05
Суглинок средний	3,I	0,239	I,5	I0-I5	0,02-0,04
Супесь	3,I	0,239	I,6	3-I0	<0,02
Песок	-	-	I,5-I,6	3	-

При расчете размыва плотин из сложных связных грунтов, содержащих включения гальки, гравия или булыжника, неразмывающую скорость устанавливают как для несвязного при объеме включений более 20%.

В начальных створах выбранных трасс растекания определяются уклоны прилегающей к хвостохранилищу местности и уклоны дна потока в проране, являющейся отношением превышения ППР над подошвой низового откоса к длине линии, соединяющей точку пересечения ППР с верховым откосом и точку пересечения низового откоса и основания.

Постоянные a и n формулы (2.12) определяются по кривой объемов прудковой зоны. Для этого выполняются промеры прудковой зоны шаром весом 15 кг и диаметром 15 см. По результатам этих промеров строится план в горизонталях. По этому плану определяется объем воды и неконсолидированных отложений, положение ППР и общая глубина размыва h_n, строится кривая объемов и с помощью логарифмической анаморфозы находится ее аналитическое выражение. Для этого строится график

$$\lg V = n \cdot \lg z + \lg a . \qquad (3.2)$$

На графике необходимо линию связи ориентировать по наибольшим значениям V и z. По этому графику с помощью уравнения прямой находятся постоянные n и a.

3.2. Определение параметров потока излива в начальном створе

Расчет начинается с определения превышения $z_м$ горизонта воды (ГВ) над ППР, при котором будет наблюдаться максимальный расход излива $Q_м$. Для этого по найденному показателю n (2.12) в табл. 2.1 находится значение K, а потом $z_м = K \cdot z_0$. С учетом исходных данных, найденного значения K по формуле (2.15) определяется максимальный расход $Q_м$. Значение наибольшей ширины прорана $B_м$, являющейся исходной при расчете зоны затопления, определяется по (2.16).

По исходным данным и найденному значению $z_м$ находится полная удельная энергия E_0, являющаяся превышением ГВ в прудковой зоне в момент излива $Q_м$ над отметкой точки пересечения низового откоса с основанием плотины (дамбы). По принятой схематизации в мо-

мент излива $Q_м$ $Z_н = H_м$. Тогда по отношению E_0 к $H_м$ с помощью графиков рис.2.I находятся для начального створа глубина воды h_2 и число фруда Fr_2.

Скорость потока в начальном створе в момент излива наибольшего расхода воды

$$U_2 = \frac{1.25 \cdot Q_м}{B_t \cdot h_2}, \qquad (3.3)$$

где B_t – ширина прорана в момент излива максимального расхода воды, находится по формуле (2.I3) с учетом исходных данных и $Z_м$.

3.3. Расчет параметров потока излива в зоне растекания

Полученные выше значения максимального расхода излива $Q_м$ и соответствующие ему глубина h_2, скорость потока U_2 и число фруда Fr_2, а также наибольшее значение ширины прорана $B_м$ являются исходными при расчете трансформации параметров потока излива по длине растекания.

Высота гребня волны излива и скорость его перемещения на различном расстоянии от створа возмущения определяются по выражениям (2.20), (2.2I). Если путь потока проходит по плоской местности, что наблюдается очень часто непосредственно у плотины, параметры волны излива на расстоянии определяются по формулам (2.I7)-(2.I9).

Практически встречаются самые разнообразные сочетания форм рельефа в зоне растекания хвостохранилищ, определяющие характер потока растекания (бифурации, аккумулирующие емкости и др.), и в каждом конкретном случае приходится решать довольно сложные задачи по определению отметки и площади затопления. В частности, при пересечении трассой растекания (иногда непосредственно у плотины) аккумулирующих емкостей снижается максимальный расход, а следовательно, и размеры зоны затопления. В этом случае расчет трансформации $Q_м$ выполняется по упрощенному способу Д.И. Кочерина с учетом треугольной формы входного гидрографа (гидрографа излива)

$$Q_{вых} = Q_{вх}\left(1 - \frac{V_a}{V_и}\right), \qquad (3.4)$$

где $Q_{вых}$ – максимальный трансформированный расход; $Q_{вх}$ – максимальный расход во входном створе; V_a – объем аккумулирующей емкости; $V_и$ – объем излива.

Предварительно строятся графики $V_a = f(h)$ для аккумулирующей емкости и $Q_{вых} = f(h)$ на выходе из аккумулирующей емкости.

Решение уравнения (3.4) дает отметку горизонта затопления аккумулирующей емкости, величину максимального расхода, ширину потока и высоту волны подпора на выходе из аккумулирующей емкости, которые являются начальными для дальнейших расчетов распространения по прилегающей местности.

4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

4.1. Установление исходных данных для расчета

Плотина имеет следующие размеры: ширина плотины по верху 16 м; заложение откосов: верхового – 1:2, низового – 1:3,4; отметка гребня плотины и горизонта воды в пруде 96,5 м; отметка основания плотины в районе пикета-80 (ПК-80) 90 м, в районе ПК-1+ПК-20-27,5 м. Насыпная плотность и плотность суглинка в теле плотины соответственно 1800 и 2700 кг/м^3. Расчетное сопротивление 500 Па. Диаметр отрывающихся отдельностей 0,004 м.

Топографический план прилегающей местности имеется. Промеры прудковой зоны выполнены, по результатам промеров построена кривая объемов прудковой зоны (рис.4.1). Консолидированные отложения лежат на 1 м ниже неконсолидированных, превышение горизонта воды над консолидированными отложениями и наибольшая глубина прорана 5,33 м. Строится логарифмическая анаморфоза кривой объемов (см. рис.4.1), т.е. логарифмируем уравнение (2.12): $\lg V = n \cdot \lg z + \lg a$. На этом графике проводится прямая линия. Находится ее аналитическое выражение по уравнению прямой линии. Снимаем с рис.4.1 значение $\lg V$ и соответствующие им значения $\lg z$:

$$\begin{cases} 6,72 = n \cdot 0,7 + \lg a; \\ 4,8 = 0,0 \cdot n + \lg a, \end{cases}$$

отсюда $\lg a = 4,8$; $a = 63000$; находим n: $6,72 = 0,7n + 4,8$; отсюда $n = 2,75$.

Уравнение кривой объема: $V = 63000 \cdot z^{2,75}$.

По имеющимся данным и выражению (2.14)

$$E = \frac{3 \cdot 63000 \cdot 2,75}{1800 \cdot \sqrt{9,81} \cdot 0,004^{0,25} \cdot 5,33 \left[16 + \frac{4}{9}(2 + 3,4) \cdot 5,33\right]} = 2,384$$

4.2. Определение параметров потока излива в начальном створе

По табл. 2.I при $n = 2,75$ $к = 0,80$. Тогда $H_м = z_м = к \cdot z_0 = 0,8 \cdot 5,33 = 4,26$ м. Наибольшая глубина потока на входе в проран при максимальном расходе излива $h_0 = 0,8 \cdot 4,26 = 3,4I$ м. При этой глубине по работе [7] $U_н = 0,50$ м/с. Максимальный расход изли-

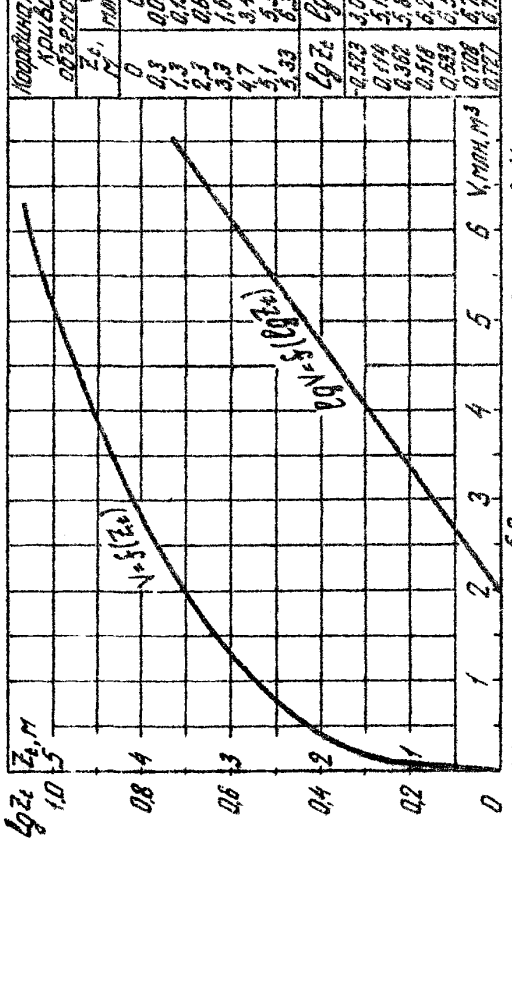


Рис.4.I. Кривая объемов прудковой зоны и ее логарифмическая анаморфоза.

ва по выражению (2.I5)

$$Q_м = \frac{0,236 \cdot 2,384 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8I}}{5,33^{0,25}} \cdot 0,8^{I,75} \cdot 5,33^{2,75+I,5} \times$$

$$\times \left[\frac{0,4\sqrt{2 \cdot 9,8I} \cdot 5,33}{2,75 + 0,25} (I - 0,8^{2,75+0,25}) - \frac{0,50(I - 0,8^{2,75-0,25})}{2,75 - 0,25} \right] =$$

$$= 790 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При этом расходе ширина прорана по формуле (2.I3)

$$B_t = 2,384 \cdot \left[\frac{0,50(4,26^{2,75-0,25} - 5,33^{2,75-0,25})}{2,75 - 0,25} - \right.$$

$$\left. - \frac{0,4\sqrt{2 \cdot 9,8I}\,(4,26^{2,75+0,25} - 5,33^{2,75+0,25})}{2,75 + 0,25} \right] = 92 \text{ м}.$$

Наибольшая ширина прорана по выражению (2.I6)

$$B_м = 2,384 \cdot 5,33^{2,75-0,25} \left[\frac{0,4\sqrt{2 \cdot 9,8I \cdot 5,33}}{2,75 + 0,25} - \frac{0,5}{2,75 - 0,25} \right] =$$

$$= I82 \text{ м}.$$

Отметка ППР: 96,5 – 5,33 = 9I,I7 м. Отметка ГВ при $Q_м$: 9I,I7 + + 4,26 = 95,43 м. Полная удельная энергия E_0 при $Q_м$: в районе ПК-I + ПК-20: 95,43 – 27,5 = 67,93 м; в районе ПК-80: 95,43–90,0= = 5,43 м.

По графикам рис.2.I находим глубину на выходе из прорана и число Фруда Fr_2 при $\varphi = 0,9$; $\alpha = \alpha_0 = I,5$: в районе ПК-I + ПК-20: при $E_0/H_м = 67,93:4,26 \approx I6$ по рис.2.I $h_2/H_м = 2,3$; $h_2 = 2,3 \cdot 4,26 = 9,8$ м, $Fr_2 = 0,0I9$; в районе ПК-80: при $E_0/H_м = 5,43:4,26 = I,27$, по рис.2.I $h_2/H_м = I,I$; $h_2 = I,I \cdot 4,26$ м = 4,68 м; $Fr_2 = 0,24$.

Скорость потока в начальном створе в момент излива по формуле (3.3)

в районе ПК-I + ПК-20 $\quad U_2 = \frac{I,25 \cdot 790}{92 \cdot 9,8} = I,I$ м/с;

в районе ПК-80 $\quad U_2 = \frac{I,25 \cdot 790}{92 \cdot 4,68} = 2,3$ м/с.

4.3. Расчет зоны затопления при растекании потока излива

Рассмотрим случаи растекания потока по плоской местности, по руслу реки и истечение в аккумулирующую емкость.

4.3.1. Растекание по плоской местности

Расчет параметров потока растекания по трассе ПК-80 при $Q_м$ = =790 м^3/с, $B_м$= 182 м, h_2= 4,66 м, l = 500-1500 м, U_2= 2,3 м/с, Fr_2= 0,24 выполнен в табл.4.1 по зависимостям (2.17)-(2.19). На этом участке отметка основания плотины 90 м.

Таблица 4.1

l, м	B_l, м	h_l, м	U_l, м/с
500	552	2,90	1,43
750	611	2,74	1,36
1000	680	2,67	1,31
1250	734	2,58	1,27
1500	780	2,52	1,24

4.3.2. Растекание по руслу

При размыве плотины в районе ПК-1-ПК-20 растекание произойдет по руслу.

По формуле (2.20) для различных расстояний от плотины находим значения высоты волны и по поперечным профилям русла, построенным по топографическим материалам, находим ширину и отметку затопления. Расчет приведен в табл.4.2 при h_2= 9,8 м.

Таблица 4.2

Расстояние от плотины, м	$\frac{l}{h_2}$	h_l/h_2 по графику	h_l, м	Отметка ГВ, м
900	92	0,90	8,8	27,4
2600	265	0,86	8,4	27,0
4800	490	0,80	7,8	26,4
7750	790	0,75	7,4	26,0
11300	1153	0,67	6,6	25,2

4.3.3. Истечение в аккумулирующую емкость

Расчет производится для максимального расхода паводка $Q_{вх}$ = =790 м^3/с и объема паводка $V_п$ = 6,3 млн.м^3. По топографическому плану определяется объем аккумулирующей емкости, строится кривая объемов (рис.4.2), поперечный профиль на выходе из аккумулирующей емкости и кривая расходов для этого профиля на выходе из аккумулирующей емкости (см.рис.4.2). По уравнению (3.4) путем по -

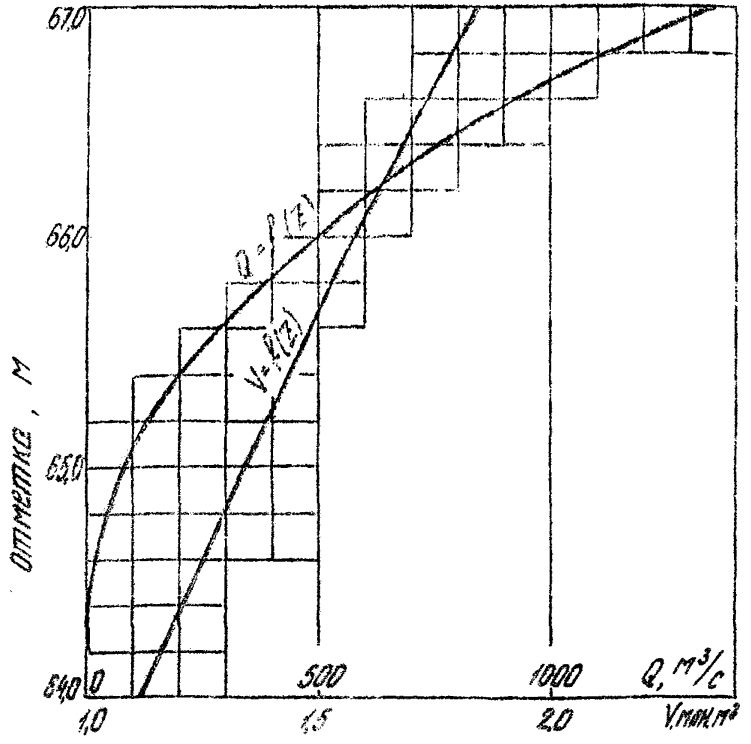


Рис.4.2. Зависимости объемов аккумулирующей емкости и расходов воды в створе выхода из аккумулирующей ем - кости от отметок горизонта воды.

следовательного приближения находится горизонт затопления аккумулирующей емкости (табл.4.3).

Таблица 4.3

Отметка ГЗ в емкости, м	$Q_{вых}$ по рис.4.2, м³/с	V_a по рис.4.2, млн.м³	$\frac{V_a}{V_н}$	$1-\frac{V_a}{V_н}$	$Q_{вх}\cdot\left(1-\frac{V_a}{V_н}\right)$
66,0	500	I,580	0,250	0,750	592
66,I0	560	I,608	0,255	0,745	588
66,I5	595	I,622	0,258	0,742	586
66,20	630	I,635	0,260	0,740	584

Принимаем отметку затопления 66,I5 м, так как при этом $Q_{вых} \approx Q_{вх}\cdot(1-V_a/V_н)$. Дальнейший расчет зоны затопления выполняется аналогично 4.3.I или 4.3.2 с учетом Q_{I4} = 595 м³/с и соответствующих ему глубине, ширине и скорости на выходе из аккумулирующей емкости.

Литература

I. Временные технические указания по расчету охранных зон хвостохранилищ. Л., ЛПИ, I976, 32 с.

2. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л., Гидрометеоиздат, I975, 288 с.

3. Меламут Д.Л. Гидромеханизация в ирригационном и сельскохозяйственном строительстве. М., Стройиздат, I967, 396 с.

4. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. М., "Колос", I967, I79 с.

5. Пропуск паводков через недостроенные каменно-набросные плотины (рекомендации по проектированию). М., ВНИИ ВОДГЕО, I97I, 34 с.

6. Указания по расчету зоны затопления при разрушении (прорыве) ограждающих дамб. Л., Ленмелиоводстрой, I974, 24 с.

7. Указания по определению допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока для различных грунтов и облицовок. ВСН-2-65. М., Госсельводхоз СССР, I965, 35 с.

8. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). Л., "Энергия", I975, 600 с.

9. Изыскания по расстоянию хвостохранилища НОФ при его проры - ве. Отчет по НИР 5095. Фонды ЛИИ, Л., 1973, 120 с.

10. Исследование состояния размываемого ядра хвостохранилища Агаракской обогатительной фабрики с целью разработки защитных ме- роприятий. Отчет по НИР 8242. Фонды ЛИИ, Л., 1975, 49 с.

11. Исследование и расчет волны прорыва гидросмеси из хвосто - хранилища Михайловского ГОКа (открытый тип). Отчет, хоздоговор № 71, ВНИИ ВОДГЕО, Ромадин В.А., М., 1978, 167 с.

12. Определение опасных зон на случай прорыва хвостохранилищ ЦГОКа и ИнГОКа и разработка методики расчета. Отчет по НИР 12-76. Фонды ВИОГЕМ, Белгород, 1979, 115 с.

13. Разработка инженерных мероприятий по защите территории ИМК от затоплений волной прорыва гидросмеси из хвостохранилища № 2, (РОФ). Отчет по НИР. Фонды ВНИИ ВОДГЕО. М., 1977, 59 с.

14. Разработка методики определения охранных зон хвостохранилищ. Отчет по НИР 2043. Фонды ЛПИ, Л., 1976, 53 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

I. Общие положения 4

2. Теоретические основы методики 7

2.I. Размыв плотин и дамб из грунтовых материалов и формирование гидрографа излива 7

2.2. Трансформация волны излива по длине растекания . . . 9

3. Схема расчета опасных зон хвостохранилищ I3

3.I. Установление исходных данных для расчета I3

3.2. Определение параметров потока излива в начальном створе I5

3.3. Расчет параметров потока излива в зоне растекания. . I6

4. Примеры расчета I7

4.I. Установление исходных данных для расчета I7

4.2. Определение параметров потока излива в начальном створе I8

4.3. Расчет зоны затопления при растекании потока излива. 20

4.3.I. Растекание по плоской местности 20

4.3.2. Растекание по руслу 20

4.3.3. Истечение в аккумулирующую емкость. 2I

Литература 22

ВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ПРОРЫВЕ ОГРАЖДАЮЩИХ ДАМБ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Научный редактор канд.тех.наук С.Г.Аксенов

Литературный редактор Л.А.Порубай
Технический редактор А.Г.Воронцова
Корректор И.А.Соляр. Художник Б.М.Попов

Подписано к печати 27 марта 1981 г.
Объем I,4 уч.-изд.л. Тираж I50 экз. Заказ № I06.
Ротапринт ВИОГЕМ, Белгород, Б.Хмельницкого,86.
Цена 21 коп.

gost.e-ecolog.ru