



**Серия 03**

**Документы межотраслевого применения  
по вопросам промышленной безопасности  
и охраны недр**

**Выпуск 1**

**БЕЗОПАСНОСТЬ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
НА ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Сборник документов**

---

**Нормативные документы в сфере деятельности  
Федеральной службы по экологическому,  
технологическому и атомному надзору**

---

**Серия 03**

**Документы межотраслевого применения  
по вопросам промышленной безопасности  
и охраны недр**

**Выпуск 1**

**БЕЗОПАСНОСТЬ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
НА ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Сборник документов**

*4-е издание, исправленное  
и дополненное*

**Москва  
ЗАО НТЦ ПБ  
2010**

---

ББК 38.77н  
Б40

**Б40      Безопасность гидротехнических сооружений на объектах промышленности и энергетики: Сборник документов. Серия 03. Выпуск 1. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. — 456 с.**

ISBN 978-5-9687-0332-3.

В Сборнике представлены нормативные правовые акты, организационные и технические документы по вопросам безопасности гидротехнических сооружений на объектах горнорудной, химической и металлургической промышленности, поднадзорных Ростехнадзору.

Документы, утвержденные Госгортехнадзором России, разработаны Госгортехнадзором России, ООО Научно-исследовательский и проектно-экспертный центр «Промгидротехника», ЗАО «Экоцентр-Агрохимбезопасность» и применяются в части, не противоречащей действующим законодательным и иным нормативным правовым актам.

Сборник предназначен для работников Ростехнадзора и организаций, осуществляющих проектирование, строительство и эксплуатацию указанных гидротехнических сооружений.

ББК 38.77н

ISBN 978-5-9687-0332-3



© Оформление. Закрытое акционерное общество  
«Научно-технический центр исследований  
проблем промышленной безопасности», 2010

---

Утверждены  
постановлением Госгортехнадзора  
России от 05.06.03 № 51.  
Введены в действие с 01.08.03 г.  
постановлением Госгортехнадзора  
России от 25.07.03 № 105

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ РАЗВИТИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЙ НА НАКОПИТЕЛЯХ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ<sup>1</sup>**

**РД 03-607–03**

### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1. При аварии на хранилищах происходит разрушение ограждающих сооружений (дамб) и разлив содержимого хранилищ, вызывающий затопление окружающих территорий.

1.2. Опасность аварий определяется возникновением чрезвычайных ситуаций (ЧС): обстановки, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, материальные потери и нарушение жизнедеятельности людей.

1.3. Методические рекомендации (далее — Методика) позволяют определить показатели, характеризующие аварию:

границы зоны затопления;

время образования прорана;

размеры и форму развития прорана;

расходы и объемы жидких отходов, выливаемых по мере развития прорана;

высоту, скорость и гидродинамическое давление волны прорыва по пути движения.

---

<sup>1</sup> Не нуждаются в государственной регистрации (письмо Минюста России от 21.06.03 № 07/6323-ЮД).

1.4. Методика предназначена для использования:

- организациями, эксплуатирующими хранилища;
- проектными организациями;
- экспертными центрами;
- другими организациями, по роду своей деятельности связанными с обеспечением безопасности хранилищ;
- при декларировании безопасности гидротехнических сооружений (далее — ГТС);
- при определении последствий гидродинамической аварии;
- при определении возможности дальнейшей эксплуатации хранилищ и при других работах, в которых требуется оценка параметров прорана и зоны растекания при аварии хранилища.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ПРИНИМАЕМЫЕ ПРИ РАСЧЕТЕ**

2.1. Процесс разрушения хранилища, образования прорана и движения образующегося при этом потока отходов является сложным. Неравномерный и неустановившийся характер движения потока по всей трассе растекания обуславливают переменные значения его гидродинамических параметров, поэтому для упрощения расчетов рассматриваемый процесс разделяется в расчетном отношении на два этапа:

- а) расчет образования прорана и расчет параметров потока в сечении у подошвы откоса дамбы;
- б) расчет максимальных параметров потока по трассе растекания.

2.2. В Методике приняты следующие допущения:

- поперечное сечение прорана принимается прямоугольным и постоянным по всей длине прорана;
  - после образования прорана жидкость растекается по местности, имеющей естественный уклон;
  - гидравлический прыжок, возникающий на переходе потока с участка с уклоном дна больше критического на участок, где уклон меньше критического, не рассматривается.
-

### III. РАСЧЕТ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОРАНА (ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ДАМБ)

3.1. В расчетах приняты следующие основные обозначения:

$H_{\max}$  — максимальная разница между отметкой гребня ограждающей дамбы и отметкой, до которой могут вытекать жидкие отходы, м.

$F$  — площадь заполнения хранилища (определяется по графику зависимости площади  $F$  и объема  $V$  от уровня заполнения),  $\text{м}^2$ .

$V_{\max}$  — полный объем отходов в хранилище (определяется по графику зависимости  $F$  и  $V$  от уровня заполнения),  $\text{м}^3$ .

$l_0$  — ширина гребня дамбы, м.

$m_{\text{отк}}$  — заложение внутреннего откоса дамбы (отношение длины горизонтальной проекции откоса к высоте откоса), м/м.

$n_{\text{отк}}$  — заложение внешнего откоса дамбы, м/м.

$\rho_s$  — плотность частиц грунта,  $\text{т/м}^3$ .

$\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкости и неконсолидированных отходов (жидких отходов),  $\text{т/м}^3$ .

$\rho_d$  — средняя плотность сухого грунта тела дамбы,  $\text{т/м}^3$ .

$\nu$  — кинематический коэффициент вязкости жидкости и неконсолидированных отходов (жидких отходов),  $\text{см}^2/\text{с}$ .  
(Для воды кинематический коэффициент вязкости равен  $0,0101 \text{ см}^2/\text{с}$ .)

$d$  — средневзвешенный размер частиц грунта, мм.

3.2. Исходными данными для расчета являются:

максимальная разница между отметкой гребня ограждающей дамбы и отметкой, до которой жидкие отходы могут вытекать;  
зависимость площади и объема хранилища от отметки заполнения;

ширина гребня дамбы;

заложение внутреннего откоса дамбы;

заложение внешнего откоса дамбы;

плотность частиц грунта, плотность сухого грунта, плотность и вязкость вытекающих жидких отходов;

средневзвешенный размер частиц грунта.

3.3. За начальные условия расчета размыва элементарного прорана принимается равенство

$$y_0 = b_0 = h_0 = 0,5, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $y_0$  — начальная глубина прорана;

$b_0$  — начальная ширина прорана;

$h_0$  — начальная глубина потока.

На рис. 1 представлена схема расчета размыва гребня и пляжной зоны хвостохранилища.

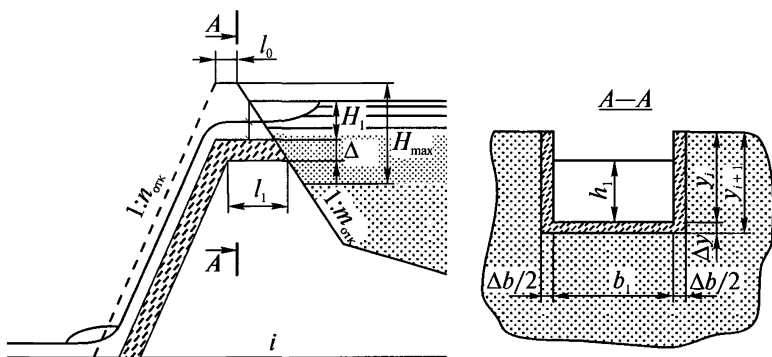


Рис. 1. Схема расчета размыва прорана

Задавая приращение глубины прорана на каждом расчетном шаге постоянным и равным  $\Delta y \leq y_0$ , определяют приращение ширины прорана

$$\Delta b = \Delta y \frac{b_0}{y_0 + \Delta y}. \quad (2)$$

Задавая приращения размеров прорана ( $\Delta y$  и  $\Delta b$ ), определяем уменьшение глубины вытекающего из прудка слоя  $\Delta H$ . Расчет ведется методом итераций.

Определение параметров размыва прорана и потока производится в расчетный  $i$ -й промежуток времени:

$$\text{глубина прорана} \quad y_i = y_{i-1} + \Delta y; \quad (3)$$

$$\text{ширина прорана} \quad b_i = b_{i-1} + \Delta b; \quad (4)$$

$$\text{длина прорана} \quad l_i = y_i(m_{\text{отк}} + n_{\text{отк}}) + l_0, \text{ м.} \quad (5)$$

При достижении  $y_i = H_{\text{max}}$  принимается, что увеличение прорана рассчитывается только за счет его расширения:

$$b_i = b_{i-1} + \Delta b', \quad (6)$$

$$\text{где } \Delta b' = 2,5 \Delta y \frac{y_0}{y_0 + \Delta y}. \quad (7)$$

$$\text{Глубина потока в проране } h_i = \frac{2}{3} H_i, \text{ м,} \quad (8)$$

где  $H_i$  определяется по формуле (30).

$$\text{Расход потока в проране } Q_i = m b_i H_i^{3/2} \sqrt{2g}, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (9)$$

где  $m$  — коэффициент водослива, принимаемый равным 0,31.

$$\text{Удельный расход потока в проране } q_i = \frac{Q_i}{b_i} = 1,373 \cdot H_i^{3/2}, \text{ м}^2/\text{с.} \quad (10)$$

$$\text{Скорость потока в проране } u_i = \frac{Q_i}{b_i h_i} = 2,056 \cdot H_i^{1/2}, \text{ м/с.} \quad (11)$$

Неразмывающая скорость для несвязанных грунтов  $u_{0i}$ , м/с, определяется для заданного значения  $d_{\text{ср}}$  и гидравлических параметров потока по зависимостям В.С. Кнороза:

для  $0,05 \text{ мм} < d < 0,25 \text{ мм}$

$$u_{0i} = 0,71 \frac{v^{0,3} (g \rho_{\text{ж}})^{0,35} d^{0,05}}{\sqrt{0,0008 + (0,006 R_i^{-0,25})}}; \quad (12)$$



для  $0,25 \text{ мм} < d < 1,5 \text{ мм}$

$$u_{0i} = 1,8v^{0,136} (g\rho_{\text{ж}})^{0,432} d^{0,292} \lg \frac{660R_i v^{0,7}}{(g\rho_{\text{ж}})^{0,35} d^{0,24} k^{1,81}}; \quad (13)$$

для  $d > 1,5 \text{ мм}$

$$u_{0i} = \sqrt{g\rho_{\text{ж}} d} \lg \left( 11,5 \frac{R_i}{k} \right), \quad (14)$$

где  $k = 0,785d^{0,75}$ ;

$R_i$  — гидравлический радиус потока для прямоугольного сечения прорана, определяемый по формуле:

$$R_i = \frac{b_i h_i}{b_i + 2h_i}, \text{ м.} \quad (15)$$

Для частиц грунтов с  $d < 0,1 \text{ мм}$  при определении значения неразмывающей скорости необходимо учитывать силы сцепления между частицами грунта.

Неразмывающая скорость для связанных грунтов определяется по формуле

$$u_{0i} = 1,25 \sqrt{\frac{2gm}{2,6\rho_{\text{ж}} n} [( \rho_s - \rho_{\text{ж}} ) d_s + 0,044 C_{\text{гп}} k]}, \quad (16)$$

где  $m$  — коэффициент условий работы, принимаемый равным 1;

$d_s$  — эквивалентный диаметр отрывающихся отдельностей связанного грунта (для супесей  $d_s = 3 \text{ мм}$ , для суглинков  $d_s = 4 \text{ мм}$ , для глины  $d_s = 5 \text{ мм}$ );

$C_{\text{гп}}$  — нормативная усталостная прочность связанного грунта на разрыв, Па:  $C_{\text{гп}} = 0,35 C^H$ ;

$C^H$  — нормативное удельное сцепление грунта, Па;

$k$  — коэффициент однородности, допускается принимать равным 0,5;

$$n = 1 + \frac{d_s}{(0,00005 + 0,3d_s)}.$$

Значение неразмывающей скорости определяется по справочнику проектировщика «Гидротехнические сооружения» (под ред. В.П. Недриги. М.: Стройиздат, 1983. 543 с.).

Величина гидравлической крупности  $W_0$ , м/с, для размываемых грунтов в проране определяется в зависимости от диаметра частиц грунта по формулам:

$$\text{при } d \leq 0,1 \text{ мм } W_0 = \frac{gd^2 \rho_{\text{ж}}}{18\nu}; \quad (17)$$

$$\text{при } 0,1 \text{ мм} < d < 0,6 \text{ мм } W_0 = d \left( \frac{g\rho_{\text{ж}}}{11,2\sqrt{\nu}} \right)^{1/1,5}; \quad (18)$$

$$\text{при } 0,6 \text{ мм} < d < 2,0 \text{ мм } W_0 = \left( \frac{gd^{1,2} \rho_{\text{ж}}}{4,4\nu^{0,2}} \right)^{1/1,8}; \quad (19)$$

$$\text{при } d \geq 2,0 \text{ мм } W_0 = 1,2\sqrt{gd\rho_{\text{ж}}}, \quad (20)$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

Время размыва элементарного объема прорана

$$\Delta t_i = \frac{2\rho_d \Delta W_i}{\mu_i Q_i}, \text{ с}, \quad (21)$$

где  $\Delta W_i$  — увеличение объема размытого прорана, м<sup>3</sup>:

$$\Delta W_i = W_i - W_{i-1} = 0,5(b_i y_i l_i - b_{i-1} y_{i-1} l_{i-1}); \quad (22)$$

$\mu_i$  — транспортирующая (размывающая) способность потока.

В зависимости от гидравлических параметров потока и диаметра частиц размываемого грунта они могут переноситься потоком либо во взвешенном, либо в донном состоянии.

Если скорость потока  $u_i \geq 2,7u_{0i}$  и все частицы  $d \leq 0,15 \text{ мм}$  (переносятся во взвешенном состоянии), то величина  $\mu_i$  может быть определена как

$$\mu_i = 0,01 \left( \frac{u_{\text{кри}} - u_{0i}}{3W_0} \right)^4 \left( \frac{d}{R_i} \right)^{1,6}, \quad (23)$$

где  $u_{\text{кри}}$  — критическая скорость потока, м/с, определяется:

$$\text{при } y_i < H_{\text{max}} \quad u_{\text{кри}} = 2,63h_i^{0,5}; \quad (24)$$

$$\text{при } y_i = H_{\text{max}} \quad u_{\text{кри}} = 3,77h_i^{0,2}. \quad (25)$$

Если  $u_i < 2,7u_{0i}$  и все частицы  $d > 0,15$  мм (движутся в донном режиме), то величина  $\mu_i$  определяется по формуле

$$\mu_i = 0,002 \left( \frac{u_i}{\sqrt{gd}} \right)^3 \left( 1 - \frac{u_{0i}}{u_i} \right) \left( \frac{d}{h_i} \right)^{1,25}. \quad (26)$$

Объем жидкости, вытекающей из прудка за время  $\Delta t_i$ :

$$\Delta V_i = Q_i \Delta t_i = \frac{2\rho_d \Delta W_i}{\mu_i}. \quad (27)$$

Общий объем, вытекший за время  $T = \sum \Delta t_i$ :

$$V_i = \sum \Delta V_i. \quad (28)$$

Понижение уровня в прудке

$$\Delta H_i = \frac{\Delta V_i}{F}. \quad (29)$$

Глубина слоя, вытекающего из прудка:

$$H_i = H_{i-1} + \Delta y - \Delta H_{i-1}. \quad (30)$$

Глубину слоя, вытекающего из прудка,  $\Delta H_i$  можно также определить по графикам зависимости  $V$  и  $F$  от уровня заполнения.

При  $i = 1$  принимаем, что  $H_0 = y_0$  и  $\Delta H_0 = 0$ .

Расчет ведется до того момента, когда  $V_i$  достигает значения  $V_{\max}$  или величина транспортирующей способности  $\mu_i$  становится меньше 0,003.

#### IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В СЕЧЕНИИ У ПОДОШВЫ ОТКОСА ДАМБЫ

Для определения значений скорости  $U$  и глубины  $h$  потока по внешнему откосу дамбы из результатов расчетов, полученных в п. 2.2.3, выбираются:

максимальное значение полного расхода  $Q_{\max}$  и соответствующие ему значения ширины  $b_{11}$  и глубины  $h_{11}$  (вариант 1);

максимальное значение удельного расхода  $q_{\max}$  и соответствующие ему значения ширины  $b_{12}$  и глубины  $h_{12}$  (вариант 2);

максимальное значение ширины прорана  $b_{\max}$ .

Расчет по выбранным параметрам производится одновременно для  $Q_{\max}$  и  $q_{\max}$ .

4.1. Для определения формы свободной поверхности потока необходимо сравнить величину нормальной глубины  $h_0$  с критической глубиной  $h_{кр}$  и уклона внешнего откоса дамбы  $i_{в.о}$  с величиной критического уклона  $i_{кр}$ .

Определение критической глубины потока,  $m$  (здесь и далее по тексту формулы в левой колонке относятся к первому варианту расчета, в правой — ко второму):

$$h_{кр1} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q_{\max}^2}{g b_{11}^2}}; \quad h_{кр2} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_{\max}^2}{g}}, \quad (31)$$

где  $\alpha$  — коэффициент кинетической энергии, принимается равным 1,1;

$g$  — ускорение силы тяжести ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

Нормальная глубина  $h_0$  потока вычисляется в процессе итерационной процедуры (подбором) по значению модуля расхода  $K_0$ : вычисляется модуль расхода:

$$K_{01} = \frac{Q_{\max}}{\sqrt{i}}; \quad K_{02} = \frac{q_{\max}}{\sqrt{i}}, \quad (32)$$

где  $i_{в.о} = \frac{1}{n_{отк}}$ .

Задавая различные значения  $h_1$  ( $h_2$ ) (здесь и далее по тексту значения параметров, указанных в скобках, относятся ко второму варианту расчета), определяем характеристики потока:

площадь сечения,  $m^2$

$$\omega_1 = b_{11} h_1, \quad \omega_2 = b_{12} h_2; \quad (33)$$

смоченный периметр потока

$$\chi_1 = b_{11} + 2h_1, \quad \chi_2 = b_{12} + 2h_2; \quad (34)$$

гидравлический радиус

$$R_1 = \frac{\omega_1}{\chi_1}, \quad R_2 = \frac{\omega_2}{\chi_2}; \quad (35)$$

коэффициент Шези

$$C_1 = \frac{1}{n} R_1^{1/6}, \quad C_2 = \frac{1}{n} R_2^{1/6}, \quad (36)$$

где  $n$  — коэффициент шероховатости, принимаемый равным 0,025;

значение расчетного модуля расхода  $K_r$

$$K_{r1} = \omega_1 C_1 \sqrt{R_1}, \quad K_{r2} = \omega_2 C_2 \sqrt{R_2}. \quad (37)$$

Подставляя значения параметров, определяемых по уравнениям (33)–(36), в выражения (37), получим

$$K_{r1} = 40 b_{\text{кр}1} h_1^3 \sqrt[3]{\left( \frac{b_{\text{кр}1} h_1}{b_{\text{кр}1} + 2h_1} \right)^2}, \quad K_{r2} = 40 b_{\text{кр}2} h_2^3 \sqrt[3]{\left( \frac{b_{\text{кр}2} h_2}{b_{\text{кр}2} + 2h_2} \right)^2}. \quad (38)$$

Результаты расчетов и значения  $h_1$  ( $h_2$ ) заносятся в таблицу. Значение  $h_1$  ( $h_2$ ), при котором расчетный модуль расхода  $K_{r1} \approx K_{01}$  ( $K_{r2} \approx K_{02}$ ), и будет значением нормальной глубины потока  $h_{01}$  ( $h_{02}$ ).

Величина критического уклона определяется по формуле

$$i_{\text{кр}1} = \frac{g \chi_{\text{кр}1}}{\alpha C_{\text{кр}1}^2 b_{\text{кр}1}}, \quad i_{\text{кр}2} = \frac{g \chi_{\text{кр}2}}{\alpha C_{\text{кр}2}^2 b_{\text{кр}2}}. \quad (39)$$

Подставляя значения параметров, определяемых по уравнениям (33)–(36) при  $h = h_{\text{кр}}$ , в формулу (39), получим

$$i_{\text{кр}1} = 5,57 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\frac{(b_{\text{кр}1} + 2h_{\text{кр}1})^4}{b_{\text{кр}1} h_{\text{кр}1}}}, \quad i_{\text{кр}2} = 5,57 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\frac{(b_{\text{кр}2} + 2h_{\text{кр}2})^4}{b_{\text{кр}2} h_{\text{кр}2}}}, \quad (40)$$

где  $b_{\text{кр}1} = b_{11}$ ,  $b_{\text{кр}2} = b_{12}$ .

В зависимости от глубины потока в начале откоса  $h_{11}$  ( $h_{12}$ ) и соотношения  $i \geq i_{\text{кр}1}$  ( $i \geq i_{\text{кр}2}$ ) и  $h_{01} \geq h_{\text{кр}1}$  ( $h_{02} \geq h_{\text{кр}2}$ ) определяется форма свободной поверхности потока.

#### 4.2. Определение глубины потока в сечении у подошвы откоса.

Из полученных значений  $h_{11}$ ,  $h_{01}$ ,  $h_{\text{кр}1}$  ( $h_{12}$ ,  $h_{02}$ ,  $h_{\text{кр}2}$ ) выбираются наибольшее и наименьшее значения глубины потока [ $h_{\text{max}1}$ ,  $h_{\text{min}1}$  ( $h_{\text{max}2}$ ,  $h_{\text{min}2}$ )] и вычисляется среднее значение

$$h_{\text{cp}1} = \frac{h_{\text{max}1} + h_{\text{min}1}}{2}, \quad h_{\text{cp}2} = \frac{h_{\text{max}2} + h_{\text{min}2}}{2}. \quad (41)$$

Определяем длину откоса  $L$ , на которой устанавливается нормальная глубина  $h_{01}$  ( $h_{02}$ ):

$$\begin{aligned} L_1 &= h_{01} n_{\text{отк}} \left[ \eta_{21} - \eta_{11} - (1 - \bar{j}_1) [\varphi(\eta_{21}) - \varphi(\eta_{11})] \right], \\ L_2 &= h_{02} n_{\text{отк}} \left[ \eta_{22} - \eta_{12} - (1 - \bar{j}_2) [\varphi(\eta_{22}) - \varphi(\eta_{12})] \right]; \end{aligned} \quad (42)$$

$$\bar{j}_1 = 45 \cdot \sqrt[3]{h_{\text{cp}1} \left( \frac{b_{\text{cp}1}}{b_{\text{cp}1} + 2h_{\text{cp}1}} \right)^4}, \quad \bar{j}_2 = 45 \cdot \sqrt[3]{h_{\text{cp}2} \left( \frac{b_{\text{cp}2}}{b_{\text{cp}2} + 2h_{\text{cp}2}} \right)^4}, \quad (43)$$

где  $b_{\text{cp}1} = b_{11}$ ,  $b_{\text{cp}2} = b_{12}$ ;

$\eta_{ij}$  — относительная глубина (для каждого из вариантов) определяется:

$$\eta_{11} = \frac{h_{\text{max}1}}{h_{01}}, \quad \eta_{12} = \frac{h_{\text{max}2}}{h_{02}}; \quad (44a)$$

$$\eta_{21} = \frac{h_{\text{min}1}}{h_{01}}, \quad \eta_{22} = \frac{h_{\text{min}2}}{h_{02}}. \quad (44b)$$

По величинам гидравлических показателей русла  $X_1$  ( $X_2$ ) и относительным глубинам находятся функции относительной глубины  $\varphi(\eta_{11})$ ,  $\varphi(\eta_{12})$  и  $\varphi(\eta_{21})$ ,  $\varphi(\eta_{22})$  (приложение 1).

Гидравлический показатель русла определяется по формулам:

$$X_1 = 3,4 - \frac{2,8}{\frac{b_{\text{cp}1}}{h_{\text{cp}1}} + 2}, \quad X_2 = 3,4 - \frac{2,8}{\frac{b_{\text{cp}2}}{h_{\text{cp}2}} + 2}. \quad (45)$$

Полученные в уравнении (42) величины  $L_1$  и  $L_2$  сравниваются с длиной внешнего откоса дамбы  $L_0$ .

Если полученное значение  $L_1 < L_0$  ( $L_2 < L_0$ ), то считается, что глубина потока у подошвы откоса равна нормальной глубине  $h_{01} = h_{11}$  и  $h_{02} = h_{12}$ . Если же значение  $L_1 > L_0$  ( $L_2 > L_0$ ), тогда, задавая  $L_1 = L_0$  ( $L_2 = L_0$ ), из уравнения (42) определяем глубину потока у подошвы откоса

$$\begin{aligned} h_{01} &= \frac{L_0}{n_{\text{отк}} \left\{ \eta_{21} - \eta_{11} (1 - \bar{j}_1) [\varphi(\eta_{21}) - \varphi(\eta_{11})] \right\}}, \\ h_{02} &= \frac{L_0}{n_{\text{отк}} \left\{ \eta_{22} - \eta_{12} (1 - \bar{j}_2) [\varphi(\eta_{22}) - \varphi(\eta_{12})] \right\}}. \end{aligned} \quad (46)$$

4.3. Определение скорости потока в сечении у подошвы откоса дамбы.

Скорость  $u$  определяется по известному расходу и глубине потока в сечении у подошвы откоса:

$$u_1 = \frac{Q_{\max}}{b_1 h_{01}}, \quad u_2 = \frac{q_{\max}}{h_{02}}. \quad (47)$$

Из полученных расчетов из двух случаев выбираем максимальные значения параметров потока в сечении у подошвы откоса: глубины  $h_{\max}$  и скорости  $u_{\max}$ . Ширина потока в этом сечении принимается равной максимальной ширине прорана  $b_{\max}$ . Эти величины являются исходными для расчета движения потока по прилегающей к хранилищу местности.

## **V. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ПО ТРАССЕ РАСТЕКАНИЯ**

В зависимости от характера рельефа вытекающий из хранилища поток может быть ограничен боковыми склонами долины либо растекание может происходить нестесненным образом, если хранилище расположено на плоской местности или в широкой долине.

Учитывая, что хранилища организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора России<sup>1</sup>, в основном относятся к овражным, овражно-пойменным и (или) равнинным типам, принимается, что вытекающий поток ограничен постоянным значением боковых склонов ложбин, лога или слабонаклоненных поверхностей поймы или равнины.

В расчете принято допущение, что лог по всей длине трассы растекания имеет треугольное сечение.

Для определения параметров потока по трассе растекания русло потока разбивается на участки с постоянными уклонами дна и формой поперечного сечения. На границах участков принимается условие равенства расходов. За расчетное принимается максимальное значение расхода потока  $Q_{\pi} = Q_{\max}$ , полученное в результате расчета на первом этапе.

Для расчета площади сечения лога на концах выбранных участков задаются характерные абсолютные отметки бортов  $A_6$  и дна  $A_d$  лога (рис. 2).

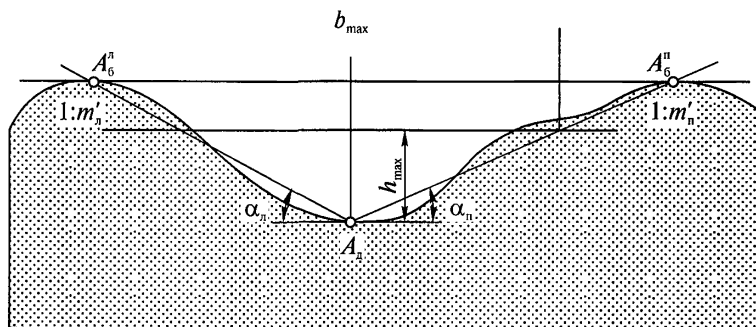


Рис. 2. Поперечное сечение лога

<sup>1</sup> Указами Президента Российской Федерации от 09.03.04 № 314 и от 20.05.04 № 649 функции Федерального горного и промышленного надзора России (Госгортехнадзора России) переданы Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзору). (Примеч. изд.)



Для определения формул расчета скорости  $u_i$ , глубины  $h_i$  и ширины  $b_i$  потока вычисляются уклоны  $i$ -х участков лога  $I_{ли}$ :

$$I_{ли} = \frac{A_{ли-1} - A_{ли}}{L_{ли}},$$

где  $L_{ли}$  — длина выбранного  $i$ -го участка лога.

Для плоского рельефа местности и уклонов с  $I_{ли} < 0,01$  параметры потока определяются:

$$\text{скорость потока } u_i = \frac{Q_{п}}{b_{i-1}h_{i-1}} \left( 1 - \frac{\bar{X}_i}{3,32 + \bar{X}_i} \right); \quad (48)$$

$$\text{глубина потока } h_i = h_{i-1} \left( 1 - \frac{\bar{X}_i}{2,85 + \bar{X}_i} \right); \quad (49)$$

$$\text{ширина потока } b_i = b_{i-1} (1 + 4,69 \bar{X}_i^{0,6}), \quad (50)$$

где  $\bar{X}_i$  — относительное расстояние, определяемое по формуле:

$$\bar{X}_i = \frac{l_i \sqrt{gh_{i-1}}}{b_{i-1}u_{i-1}}. \quad (51)$$

Для уклонов  $I_{ли} > 0,01$  параметры потока в  $i$ -м створе определяются:

$$h_{кр} = \sqrt[5]{\frac{2\alpha Q_{п}^2}{gm^2}}; \quad (52)$$

$$h^n = \sqrt{\frac{2Q_{п}}{mC\sqrt{R}}}, \quad (53)$$

где  $m$  — среднее заложение откосов лога в створе, определяемое по формуле:

$$m = \text{ctg} \left( \frac{\alpha_{л} + \alpha_{п}}{2} \right).$$

Так как коэффициент Шези  $C$  и гидравлический радиус  $R$  зависят от глубины  $h^n$ , то  $h^n$  определяется методом последовательных



Если длина кривой  $l$  меньше расстояния между створами  $L_{ni}$ , то  $h_i$  достигнет  $h^n$  или  $h_{кр}$  и будет им равна (соответственно), в противном случае определяем глубину  $h_i$  по формуле

$$h_i = h_{i-1} + \frac{(h_i - h_{i-1})l}{L_{ni}}. \quad (56)$$

Площадь максимального затопления между створами определяем по формуле

$$S = \frac{h_{i-1}(m_n + m_n)_{i-1} + h_i(m_n + m_n)_i}{2} L_{ni}. \quad (57)$$

Расчет повторяется для следующего створа.

Гидродинамическое давление  $P_i$  на сооружения, расположенные на пути потока на расстоянии  $l$  от подошвы дамбы, вычисляется по формуле

$$P_i = \frac{2,7\rho_{ж}u_i^2}{2}, \text{ Па}. \quad (58)$$

Для защиты объектов, попадающих в зону затопления, можно с помощью защитных дамб отвести поток через какое-либо пропускное сооружение (водоотводный канал), находящееся на расстоянии  $l$  от подошвы дамбы, расчет которого ведется по условию пропуска максимального расхода потока  $Q_n$ . Поперечное сечение  $S_K$ , обеспечивающее отвод потока, рассчитывается по значению скорости  $u$  в этом месте и по максимальному расходу:

$$S_K = \frac{Q_n}{u}. \quad (59)$$

Приведенные выше формулы позволяют рассчитать параметры потока по длине выбранной расчетной трассы движения на прилегающей к хранилищу местности, нанести их на соответствующий план или карту и определить границы зоны затопления.

## Приложение 1

Функции относительной глубины  $\varphi(\eta)$ 

|        | 2,00* | 2,50  | 3,00  | 3,25  | 3,50  | 3,75  | 4,00  | 4,50  | 5,00  | 5,50  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
| 0,00** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0,05   | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 |
| 0,10   | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| 0,15   | 0,151 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 |
| 0,20   | 0,202 | 0,201 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 |
| 0,25   | 0,255 | 0,252 | 0,251 | 0,250 | 0,250 | 0,250 | 0,250 | 0,250 | 0,250 | 0,250 |
| 0,30   | 0,309 | 0,304 | 0,302 | 0,301 | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,300 |
| 0,35   | 0,365 | 0,357 | 0,354 | 0,352 | 0,351 | 0,351 | 0,351 | 0,350 | 0,350 | 0,350 |
| 0,40   | 0,423 | 0,411 | 0,407 | 0,404 | 0,403 | 0,403 | 0,402 | 0,401 | 0,400 | 0,400 |
| 0,45   | 0,484 | 0,468 | 0,461 | 0,458 | 0,456 | 0,455 | 0,454 | 0,452 | 0,451 | 0,450 |
| 0,50   | 0,549 | 0,527 | 0,517 | 0,513 | 0,510 | 0,508 | 0,507 | 0,504 | 0,502 | 0,501 |
| 0,55   | 0,619 | 0,590 | 0,575 | 0,570 | 0,566 | 0,564 | 0,561 | 0,556 | 0,554 | 0,552 |
| 0,60   | 0,693 | 0,657 | 0,637 | 0,630 | 0,624 | 0,621 | 0,617 | 0,610 | 0,607 | 0,605 |
| 0,61   | 0,709 | 0,671 | 0,650 | 0,642 | 0,636 | 0,632 | 0,628 | 0,621 | 0,618 | 0,615 |
| 0,62   | 0,725 | 0,685 | 0,663 | 0,654 | 0,648 | 0,644 | 0,640 | 0,632 | 0,629 | 0,626 |
| 0,63   | 0,741 | 0,699 | 0,676 | 0,667 | 0,660 | 0,662 | 0,652 | 0,644 | 0,640 | 0,637 |
| 0,64   | 0,758 | 0,714 | 0,689 | 0,680 | 0,673 | 0,668 | 0,664 | 0,656 | 0,651 | 0,648 |
| 0,65   | 0,775 | 0,729 | 0,703 | 0,693 | 0,686 | 0,681 | 0,676 | 0,668 | 0,662 | 0,659 |
| 0,66   | 0,792 | 0,744 | 0,717 | 0,706 | 0,699 | 0,694 | 0,688 | 0,680 | 0,674 | 0,670 |
| 0,67   | 0,810 | 0,760 | 0,731 | 0,720 | 0,712 | 0,707 | 0,700 | 0,692 | 0,686 | 0,681 |
| 0,68   | 0,829 | 0,776 | 0,746 | 0,734 | 0,725 | 0,720 | 0,713 | 0,704 | 0,698 | 0,692 |
| 0,69   | 0,848 | 0,792 | 0,761 | 0,748 | 0,739 | 0,733 | 0,726 | 0,716 | 0,710 | 0,704 |
| 0,70   | 0,867 | 0,809 | 0,776 | 0,763 | 0,753 | 0,746 | 0,739 | 0,728 | 0,722 | 0,716 |
| 0,71   | 0,887 | 0,826 | 0,791 | 0,778 | 0,767 | 0,760 | 0,752 | 0,741 | 0,734 | 0,728 |
| 0,72   | 0,907 | 0,843 | 0,807 | 0,793 | 0,781 | 0,774 | 0,766 | 0,754 | 0,747 | 0,740 |

\* Гидравлический показатель русла.

\*\* Значения относительной глубины, определяемые в п. 2.3.2 по формулам (44а) и (44б).

| 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,73  | 0,928 | 0,861 | 0,823 | 0,808 | 0,796 | 0,788 | 0,780 | 0,767 | 0,760 | 0,752 |
| 0,74  | 0,950 | 0,880 | 0,840 | 0,823 | 0,811 | 0,802 | 0,794 | 0,780 | 0,773 | 0,764 |
| 0,75  | 0,972 | 0,899 | 0,857 | 0,839 | 0,827 | 0,816 | 0,808 | 0,794 | 0,786 | 0,776 |
| 0,76  | 0,996 | 0,919 | 0,874 | 0,855 | 0,843 | 0,832 | 0,823 | 0,808 | 0,799 | 0,788 |
| 0,77  | 1,020 | 0,939 | 0,892 | 0,872 | 0,860 | 0,848 | 0,838 | 0,822 | 0,812 | 0,801 |
| 0,78  | 1,045 | 0,960 | 0,911 | 0,890 | 0,877 | 0,865 | 0,854 | 0,837 | 0,826 | 0,814 |
| 0,79  | 1,071 | 0,982 | 0,930 | 0,908 | 0,895 | 0,882 | 0,870 | 0,852 | 0,840 | 0,828 |
| 0,80  | 1,098 | 1,006 | 0,950 | 0,929 | 0,913 | 0,900 | 0,887 | 0,867 | 0,854 | 0,842 |
| 0,81  | 1,127 | 1,031 | 0,971 | 0,947 | 0,932 | 0,918 | 0,904 | 0,882 | 0,869 | 0,857 |
| 0,82  | 1,156 | 1,056 | 0,993 | 0,968 | 0,951 | 0,937 | 0,922 | 0,898 | 0,884 | 0,872 |
| 0,83  | 1,188 | 1,082 | 1,016 | 0,990 | 0,971 | 0,956 | 0,940 | 0,915 | 0,900 | 0,888 |
| 0,84  | 1,221 | 1,110 | 1,040 | 1,013 | 0,992 | 0,976 | 0,960 | 0,933 | 0,917 | 0,904 |
| 0,85  | 1,256 | 1,139 | 1,065 | 1,037 | 1,015 | 0,997 | 0,980 | 0,952 | 0,935 | 0,921 |
| 0,86  | 1,293 | 1,170 | 1,092 | 1,062 | 1,039 | 1,019 | 1,002 | 0,972 | 0,953 | 0,938 |
| 0,87  | 1,333 | 1,203 | 1,120 | 1,088 | 1,065 | 1,043 | 1,025 | 0,993 | 0,972 | 0,956 |
| 0,88  | 1,375 | 1,238 | 1,151 | 1,116 | 1,092 | 1,069 | 1,049 | 1,015 | 0,992 | 0,975 |
| 0,89  | 1,421 | 1,276 | 1,183 | 1,146 | 1,121 | 1,097 | 1,075 | 1,039 | 1,014 | 0,995 |
| 0,90  | 1,472 | 1,316 | 1,218 | 1,179 | 1,152 | 1,127 | 1,103 | 1,065 | 1,038 | 1,017 |
| 0,905 | 1,499 | 1,338 | 1,237 | 1,197 | 1,169 | 1,143 | 1,117 | 1,079 | 1,050 | 1,028 |
| 0,910 | 1,527 | 1,361 | 1,257 | 1,216 | 1,186 | 1,159 | 1,132 | 1,093 | 1,063 | 1,040 |
| 0,915 | 1,557 | 1,385 | 1,278 | 1,236 | 1,204 | 1,176 | 1,148 | 1,108 | 1,077 | 1,053 |
| 0,920 | 1,589 | 1,411 | 1,300 | 1,257 | 1,223 | 1,194 | 1,165 | 1,124 | 1,091 | 1,066 |
| 0,925 | 1,622 | 1,439 | 1,323 | 1,279 | 1,243 | 1,214 | 1,184 | 1,141 | 1,106 | 1,080 |
| 0,930 | 1,658 | 1,469 | 1,348 | 1,302 | 1,265 | 1,235 | 1,204 | 1,159 | 1,122 | 1,095 |
| 0,935 | 1,696 | 1,501 | 1,374 | 1,326 | 1,288 | 1,257 | 1,225 | 1,178 | 1,139 | 1,111 |
| 0,940 | 1,738 | 1,535 | 1,403 | 1,352 | 1,312 | 1,280 | 1,247 | 1,198 | 1,157 | 1,128 |
| 0,945 | 1,782 | 1,571 | 1,434 | 1,380 | 1,338 | 1,305 | 1,271 | 1,219 | 1,176 | 1,146 |
| 0,950 | 1,831 | 1,610 | 1,467 | 1,411 | 1,367 | 1,332 | 1,297 | 1,241 | 1,197 | 1,165 |
| 0,955 | 1,885 | 1,653 | 1,504 | 1,445 | 1,399 | 1,362 | 1,325 | 1,265 | 1,220 | 1,186 |
| 0,960 | 1,945 | 1,701 | 1,545 | 1,483 | 1,435 | 1,395 | 1,356 | 1,292 | 1,246 | 1,209 |
| 0,965 | 2,013 | 1,756 | 1,591 | 1,526 | 1,475 | 1,432 | 1,391 | 1,324 | 1,275 | 1,235 |

| 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,970 | 2,092 | 1,820 | 1,644 | 1,575 | 1,521 | 1,475 | 1,431 | 1,362 | 1,308 | 1,265 |
| 0,975 | 2,184 | 1,895 | 1,707 | 1,632 | 1,575 | 1,525 | 1,479 | 1,407 | 1,347 | 1,300 |
| 0,980 | 2,297 | 1,985 | 1,783 | 1,703 | 1,640 | 1,587 | 1,537 | 1,460 | 1,394 | 1,344 |
| 0,985 | 2,442 | 2,100 | 1,881 | 1,795 | 1,727 | 1,666 | 1,611 | 1,525 | 1,455 | 1,400 |
| 0,990 | 2,646 | 2,264 | 2,018 | 1,921 | 1,844 | 1,777 | 1,714 | 1,614 | 1,538 | 1,474 |
| 0,995 | 3,000 | 2,544 | 2,250 | 2,137 | 2,043 | 1,965 | 1,889 | 1,770 | 1,680 | 1,605 |
| 1,005 | 2,997 | 2,139 | 1,647 | 1,477 | 1,329 | 1,218 | 1,107 | 0,954 | 0,826 | 0,730 |
| 1,010 | 2,652 | 1,863 | 1,419 | 1,265 | 1,138 | 1,031 | 0,936 | 0,790 | 0,680 | 0,598 |
| 1,015 | 2,450 | 1,704 | 1,291 | 1,140 | 1,022 | 0,922 | 0,836 | 0,702 | 0,603 | 0,525 |
| 1,020 | 2,307 | 1,591 | 1,193 | 1,053 | 0,940 | 0,847 | 0,766 | 0,641 | 0,546 | 0,474 |
| 1,025 | 2,197 | 1,504 | 1,119 | 0,986 | 0,879 | 0,789 | 0,712 | 0,594 | 0,503 | 0,435 |
| 1,030 | 2,107 | 1,432 | 1,061 | 0,931 | 0,827 | 0,742 | 0,668 | 0,555 | 0,468 | 0,402 |
| 1,035 | 2,031 | 1,372 | 1,010 | 0,885 | 0,784 | 0,702 | 0,632 | 0,522 | 0,439 | 0,375 |
| 1,040 | 1,966 | 1,320 | 0,967 | 0,845 | 0,747 | 0,668 | 0,600 | 0,494 | 0,416 | 0,353 |
| 1,045 | 1,908 | 1,274 | 0,929 | 0,810 | 0,716 | 0,638 | 0,572 | 0,469 | 0,394 | 0,334 |
| 1,05  | 1,857 | 1,234 | 0,896 | 0,779 | 0,687 | 0,612 | 0,548 | 0,447 | 0,375 | 0,317 |
| 1,06  | 1,768 | 1,164 | 0,838 | 0,726 | 0,640 | 0,566 | 0,506 | 0,411 | 0,343 | 0,290 |
| 1,07  | 1,693 | 1,105 | 0,790 | 0,682 | 0,600 | 0,529 | 0,471 | 0,381 | 0,316 | 0,266 |
| 1,08  | 1,629 | 1,053 | 0,749 | 0,645 | 0,565 | 0,497 | 0,441 | 0,355 | 0,292 | 0,245 |
| 1,09  | 1,573 | 1,009 | 0,713 | 0,612 | 0,534 | 0,469 | 0,415 | 0,332 | 0,271 | 0,226 |
| 1,10  | 1,522 | 0,969 | 0,680 | 0,583 | 0,506 | 0,444 | 0,392 | 0,312 | 0,253 | 0,210 |
| 1,11  | 1,477 | 0,933 | 0,652 | 0,557 | 0,482 | 0,422 | 0,372 | 0,293 | 0,237 | 0,196 |
| 1,12  | 1,436 | 0,901 | 0,626 | 0,533 | 0,461 | 0,402 | 0,354 | 0,277 | 0,223 | 0,183 |
| 1,13  | 1,398 | 0,872 | 0,602 | 0,512 | 0,442 | 0,384 | 0,337 | 0,263 | 0,211 | 0,172 |
| 1,14  | 1,363 | 0,846 | 0,581 | 0,493 | 0,424 | 0,368 | 0,322 | 0,250 | 0,200 | 0,162 |
| 1,15  | 1,331 | 0,821 | 0,561 | 0,475 | 0,407 | 0,353 | 0,308 | 0,238 | 0,190 | 0,153 |
| 1,16  | 1,301 | 0,797 | 0,542 | 0,458 | 0,391 | 0,339 | 0,295 | 0,227 | 0,181 | 0,145 |
| 1,17  | 1,273 | 0,775 | 0,525 | 0,442 | 0,377 | 0,326 | 0,283 | 0,217 | 0,173 | 0,137 |
| 1,18  | 1,247 | 0,755 | 0,510 | 0,427 | 0,364 | 0,314 | 0,272 | 0,208 | 0,165 | 0,130 |

| 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1,19 | 1,222 | 0,736 | 0,495 | 0,415 | 0,352 | 0,302 | 0,262 | 0,200 | 0,158 | 0,124 |
| 1,20 | 1,199 | 0,718 | 0,480 | 0,400 | 0,341 | 0,292 | 0,252 | 0,192 | 0,151 | 0,118 |
| 1,21 | 1,177 | 0,701 | 0,467 | 0,388 | 0,330 | 0,282 | 0,243 | 0,184 | 0,144 | 0,113 |
| 1,22 | 1,156 | 0,685 | 0,454 | 0,377 | 0,320 | 0,272 | 0,235 | 0,177 | 0,138 | 0,108 |
| 1,23 | 1,136 | 0,670 | 0,442 | 0,366 | 0,310 | 0,263 | 0,227 | 0,170 | 0,132 | 0,103 |
| 1,24 | 1,117 | 0,656 | 0,431 | 0,356 | 0,301 | 0,255 | 0,219 | 0,164 | 0,126 | 0,098 |
| 1,25 | 1,098 | 0,643 | 0,420 | 0,346 | 0,292 | 0,247 | 0,212 | 0,158 | 0,121 | 0,094 |
| 1,26 | 1,081 | 0,630 | 0,410 | 0,337 | 0,284 | 0,240 | 0,205 | 0,152 | 0,116 | 0,090 |
| 1,27 | 1,065 | 0,618 | 0,400 | 0,328 | 0,276 | 0,233 | 0,199 | 0,147 | 0,111 | 0,086 |
| 1,28 | 1,049 | 0,606 | 0,391 | 0,320 | 0,268 | 0,226 | 0,193 | 0,142 | 0,107 | 0,082 |
| 1,29 | 1,033 | 0,594 | 0,382 | 0,312 | 0,261 | 0,220 | 0,187 | 0,137 | 0,103 | 0,079 |
| 1,30 | 1,018 | 0,582 | 0,373 | 0,304 | 0,254 | 0,214 | 0,181 | 0,133 | 0,099 | 0,076 |
| 1,31 | 1,004 | 0,571 | 0,365 | 0,297 | 0,247 | 0,208 | 0,176 | 0,129 | 0,095 | 0,073 |
| 1,32 | 0,990 | 0,561 | 0,357 | 0,290 | 0,241 | 0,202 | 0,171 | 0,125 | 0,092 | 0,070 |
| 1,33 | 0,977 | 0,551 | 0,349 | 0,283 | 0,235 | 0,197 | 0,166 | 0,121 | 0,089 | 0,067 |
| 1,34 | 0,964 | 0,542 | 0,341 | 0,277 | 0,229 | 0,192 | 0,161 | 0,117 | 0,086 | 0,064 |
| 1,35 | 0,952 | 0,533 | 0,334 | 0,271 | 0,224 | 0,187 | 0,157 | 0,113 | 0,083 | 0,061 |
| 1,36 | 0,940 | 0,524 | 0,328 | 0,265 | 0,219 | 0,182 | 0,153 | 0,109 | 0,080 | 0,058 |
| 1,37 | 0,928 | 0,516 | 0,322 | 0,259 | 0,214 | 0,177 | 0,149 | 0,106 | 0,077 | 0,056 |
| 1,38 | 0,917 | 0,508 | 0,316 | 0,253 | 0,209 | 0,173 | 0,145 | 0,103 | 0,074 | 0,054 |
| 1,39 | 0,906 | 0,500 | 0,310 | 0,248 | 0,204 | 0,169 | 0,141 | 0,100 | 0,072 | 0,052 |
| 1,40 | 0,896 | 0,492 | 0,304 | 0,243 | 0,199 | 0,165 | 0,137 | 0,097 | 0,070 | 0,050 |
| 1,41 | 0,886 | 0,484 | 0,298 | 0,238 | 0,195 | 0,161 | 0,134 | 0,094 | 0,068 | 0,048 |
| 1,42 | 0,876 | 0,477 | 0,293 | 0,233 | 0,191 | 0,157 | 0,131 | 0,091 | 0,066 | 0,046 |
| 1,43 | 0,866 | 0,470 | 0,288 | 0,229 | 0,187 | 0,153 | 0,128 | 0,088 | 0,064 | 0,045 |
| 1,44 | 0,856 | 0,463 | 0,283 | 0,225 | 0,183 | 0,150 | 0,125 | 0,085 | 0,062 | 0,044 |
| 1,45 | 0,847 | 0,456 | 0,278 | 0,221 | 0,179 | 0,147 | 0,122 | 0,083 | 0,060 | 0,043 |
| 1,46 | 0,838 | 0,450 | 0,273 | 0,217 | 0,175 | 0,144 | 0,119 | 0,081 | 0,058 | 0,042 |
| 1,47 | 0,829 | 0,444 | 0,268 | 0,213 | 0,171 | 0,141 | 0,116 | 0,079 | 0,056 | 0,041 |

| 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1,48 | 0,821 | 0,438 | 0,263 | 0,209 | 0,168 | 0,138 | 0,113 | 0,077 | 0,054 | 0,040 |
| 1,49 | 0,813 | 0,432 | 0,259 | 0,205 | 0,165 | 0,135 | 0,110 | 0,075 | 0,053 | 0,039 |
| 1,50 | 0,805 | 0,426 | 0,255 | 0,201 | 0,162 | 0,132 | 0,108 | 0,073 | 0,052 | 0,038 |
| 1,55 | 0,767 | 0,399 | 0,235 | 0,184 | 0,147 | 0,119 | 0,097 | 0,065 | 0,045 | 0,032 |
| 1,60 | 0,733 | 0,376 | 0,218 | 0,170 | 0,134 | 0,108 | 0,087 | 0,058 | 0,039 | 0,027 |
| 1,65 | 0,703 | 0,355 | 0,203 | 0,157 | 0,123 | 0,098 | 0,079 | 0,052 | 0,034 | 0,023 |
| 1,70 | 0,675 | 0,336 | 0,189 | 0,145 | 0,113 | 0,090 | 0,072 | 0,046 | 0,030 | 0,020 |
| 1,75 | 0,650 | 0,318 | 0,177 | 0,134 | 0,104 | 0,083 | 0,065 | 0,041 | 0,026 | 0,017 |
| 1,80 | 0,626 | 0,303 | 0,166 | 0,124 | 0,096 | 0,077 | 0,060 | 0,037 | 0,023 | 0,015 |
| 1,85 | 0,605 | 0,289 | 0,156 | 0,115 | 0,089 | 0,071 | 0,055 | 0,033 | 0,020 | 0,013 |
| 1,90 | 0,585 | 0,276 | 0,147 | 0,108 | 0,083 | 0,066 | 0,050 | 0,030 | 0,018 | 0,011 |
| 1,95 | 0,567 | 0,264 | 0,139 | 0,102 | 0,078 | 0,061 | 0,046 | 0,027 | 0,015 | 0,009 |
| 2,0  | 0,550 | 0,253 | 0,132 | 0,097 | 0,073 | 0,057 | 0,043 | 0,025 | 0,013 | 0,008 |
| 2,1  | 0,518 | 0,233 | 0,119 | 0,086 | 0,064 | 0,049 | 0,037 | 0,021 | 0,012 | 0,007 |
| 2,2  | 0,490 | 0,216 | 0,108 | 0,077 | 0,057 | 0,043 | 0,032 | 0,018 | 0,010 | 0,006 |
| 2,3  | 0,466 | 0,201 | 0,098 | 0,069 | 0,051 | 0,038 | 0,028 | 0,015 | 0,008 | 0,005 |
| 2,4  | 0,444 | 0,188 | 0,090 | 0,063 | 0,046 | 0,034 | 0,024 | 0,013 | 0,007 | 0,004 |
| 2,5  | 0,424 | 0,176 | 0,082 | 0,057 | 0,041 | 0,031 | 0,021 | 0,011 | 0,006 | 0,003 |
| 2,6  | 0,405 | 0,165 | 0,076 | 0,052 | 0,037 | 0,028 | 0,019 | 0,010 | 0,005 | 0,003 |
| 2,7  | 0,389 | 0,155 | 0,070 | 0,048 | 0,033 | 0,025 | 0,017 | 0,009 | 0,005 | 0,002 |
| 2,8  | 0,374 | 0,146 | 0,065 | 0,044 | 0,030 | 0,022 | 0,015 | 0,008 | 0,004 | 0,002 |
| 2,9  | 0,360 | 0,138 | 0,060 | 0,040 | 0,027 | 0,020 | 0,013 | 0,007 | 0,004 | 0,001 |
| 3,0  | 0,346 | 0,131 | 0,056 | 0,037 | 0,025 | 0,019 | 0,012 | 0,006 | 0,003 | 0,001 |
| 3,5  | 0,294 | 0,104 | 0,041 | 0,026 | 0,017 | 0,012 | 0,008 | 0,004 | 0,002 | 0,001 |
| 4,0  | 0,255 | 0,084 | 0,031 | 0,019 | 0,012 | 0,008 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | 0,000 |
| 4,5  | 0,226 | 0,070 | 0,025 | 0,014 | 0,009 | 0,007 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | 0,000 |
| 5,0  | 0,203 | 0,059 | 0,020 | 0,010 | 0,007 | 0,005 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| 6,0  | 0,168 | 0,047 | 0,014 | 0,007 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| 8,0  | 0,126 | 0,029 | 0,009 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 10,0 | 0,100 | 0,021 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |



## Приложение 2

## Список рекомендуемой литературы

1. *Леви И.И.* Динамика русловых процессов. Л.: Госэнергоиздат, 1957.
2. *Гончаров В.Н.* Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеоздат, 1962.
3. *Кнороз В.С.* Безнапорный гидротранспорт и его расчет // Известия ВНИИГ. 1951. Т. 44.
4. *Чугаев Р.Р.* Гидравлика. Л.: Энергоиздат, 1982. С. 573, табл. П-4.
5. Исследование и расчет волны прорыва из хвостохранилища Михайловского ГОКа. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1978.
6. Временные методические рекомендации по расчету зон при внезапном прорыве ограждающих дамб хвостохранилищ. Белгород: ВИОГЕМ, 1981.
7. Рекомендации по расчету охранных зон хвостохранилищ. Л.: Механобр, 1984.
8. Методические рекомендации по оценке технического состояния и безопасности хранилищ производственных отходов и стоков предприятий химического комплекса (РД 09-255-99).
9. ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
10. СНиП II-89-80\*. Генеральные планы промышленных предприятий. М., 1994.
11. Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов (ПБ 03-438-02).
12. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.
13. Методика расчета зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий (РД 09-391-00).
14. Геологический словарь. М.: Недра, 1978. Т. 1.
15. ГОСТ Р 22.0.05-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

16. Дополнительные требования к содержанию декларации безопасности и методика ее составления, учитывающие особенности декларирования безопасности гидротехнических сооружений на поднадзорных Госгортехнадзору России организациях, производствах и объектах (РД 03-404—01)<sup>1</sup>.

17. Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика / Под ред. В.П. Недриги. М.: Стройиздат, 1983. 543 с.

18. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений. М.: Транспорт, 1992. 408 с.

19. *Закс Л.* Статистические оценивания. М.: Статистика, 1976. С. 130—131.

20. *Кнороз В.С.* Неразрывающие скорости для несвязных грунтов и факторы, их определяющие // Известия ВНИИГ. 1958. Т. 59.

21. *Штеренлихт Д.В.* Гидравлика. М.: Энергоиздат, 1984.

---

<sup>1</sup> Утратили силу на основании приказа Минприроды России от 31.10.08 № 289, зарегистрированного Минюстом России 13.03.09 г., рег. № 13509 (Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2009. № 23). Действует Административный регламент исполнения Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной функции по осуществлению государственного контроля и надзора за соблюдением собственниками гидротехнических сооружений и эксплуатирующими организациями норм и правил безопасности гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений, а также гидротехнических сооружений, полномочия по осуществлению надзора за которыми переданы органам местного самоуправления), утвержденный этим приказом. (Примеч. изд.)

По вопросам приобретения  
нормативно-технической документации  
обращаться по тел./факсам:  
(495) 620-47-53, 984-23-56, 984-23-57, 984-23-58, 984-23-59  
E-mail: ornd@safety.ru

Подписано в печать 30.11.2010. Формат 60×84 1/16.  
Гарнитура Times. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Объем 28,5 печ. л.  
Заказ № 584.  
Тираж 32 экз.

Закрытое акционерное общество  
«Научно-технический центр исследований  
проблем промышленной безопасности»  
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 21

Отпечатано в ООО «Полимедиа»  
105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 18, стр. 1