Госгортехнадзор России
НТЦ «Промышленная безопасность»

Серия 09

Нормативные документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности

Выпуск 4

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЯХ НА ХРАНИЛИЩАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

РД 09-391–00

gost.e-ecolog.ru

02

Федеральный горный и промышленный надзор России
(Госгортехнадзор России)

Серия 09

Нормативные документы по безопасности,
надзорной и разрешительной деятельности
в химической, нефтехимической и
нефтеперерабатывающей промышленности

Выпуск 4

# МЕТОДИКА
# РАСЧЕТА ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЯХ НА ХРАНИЛИЩАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

РД 09-391–00

Москва
Государственное унитарное предприятие
«Научно-технический центр по безопасности в промышленности
Госгортехнадзора России»
2002

ББК 35.111
М54

Разработчики:
**А.А. Шаталов, З.А. Плужникова, Р.А. Стандрик**
(Госгортехнадзор России)
**Ю.Ф. Некрасов, В.В. Агентов, В.В. Платонов, А.Л. Татаринов, Т.А. Митрофанов**
(ЗАО «Экоцентр-Агрохимбезопасность)
**Л.И. Кондратьев, Л.И. Кондратьев**
(ГНЦ РФ ВОДГЕО)

М54 **Методика расчета зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий (РД 09-391–00). Серия 09. Выпуск 4** / Колл. авт. — М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. — 68 с.

ISBN 5–93586–051–1.

Методика предназначена для расчета зон затопления и количественной оценки уровня безопасности при гидродинамической аварии на эксплуатируемых и проектируемых хранилищах шламов, жидких производственных отходов, стоков и технических вод.

ББК 35.111

**Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России» (ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность») — официальный издатель нормативных документов Госгортехнадзора России (приказ Госгортехнадзора России от 19.03.01 № 32)**

**Официальное издание**

ISBN 5-93586-051-1



© Госгортехнадзор России, 2002
© Оформление. Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002

**За содержание нормативных документов, изданных другими издателями, Госгортехнадзор России ответственность не несет**

© Госгортехнадзор России, 2002

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение ..... 4
1. Общие положения ..... 5
2.Расчет распространения отходов, содержащихся в хранилище, в случае разрушения ограждающей дамбы ..... 8
2.1. Основные положения, принимаемые при расчете ..... 8
2.2. Расчет образования прорана ..... 9
2.3. Определение параметров потока в сечении у подошвы откоса дамбы ..... 17
2.4. Расчет максимальных параметров потока по трассе растекания ..... 21
2.5. Определение параметров загрязнения почвы, грунтовых вод и поверхностных водоемов вредными веществами, содержащимися в отходах ..... 24
2.6. Показатели последствий гидродинамических аварий на хранилищах отходов предприятий химического комплекса ..... 28
Список литературы ..... 31
Приложение 1 ..... 33
Приложение 2 ..... 36
Приложение 3 ..... 42
Приложение 4 ..... 44
Приложение 5 ..... 46

© Оформление ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

Утверждена
постановлением Госгортехнадзора
России от 04.11.00 № 65
Введена в действие 04.11.00

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЯХ НА ХРАНИЛИЩАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

## РД 09-391–00

## ВВЕДЕНИЕ

Методика предназначена для расчета зон затопления и количественной оценки уровня безопасности при гидродинамической аварии на эксплуатируемых и проектируемых хранилищах шламов, жидких производственных отходов, стоков и технических вод (далее — хранилища).

При разработке Методики расчета зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий (далее — Методика) учтены требования следующих документов:

Федерального закона Российской Федерации от 21.07.97 № 117 «О безопасности гидротехнических сооружений*»;

Постановления Правительства Российской Федерации от 06.11.98 № 1303 «Об утверждении положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений».

* Далее — ГТС.

© Госгортехнадзор России, 2002

В Методике учтены особенности хранилищ отходов химического промышленного комплекса, в том числе:

наличие в хранилищах высокотоксичных и токсичных веществ, веществ, представляющих опасность для окружающей природной среды (далее — вредные вещества);

размещение хранилищ на местности с относительно плавными формами рельефа недалеко от поверхностных водоемов, на промплощадках предприятий, в непосредственной близости от населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий;

устройство ограждающих дамб из песчаных, супесчаных и суглинистых грунтов.

Методика может быть использована для расчета зон затопления и количественной оценки уровня безопасности при авариях на хранилищах предприятий других отраслей промышленности.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. При аварии на хранилищах отходов и стоков происходит разрушение ограждающих дамб и разлив содержимого хранилищ, вызывающий:

затопление окружающих территорий, в том числе мест временного или постоянного присутствия человека, зданий и сооружений;

распространение волной прорыва вредных веществ, которое приводит к загрязнению почв и земель, грунтовых вод, поверхностных водоемов, источников питьевого водоснабжения.

1.2. Опасность аварий определяется последствиями возникающих чрезвычайных ситуаций (ЧС).

1.3. При разработке Методики использованы традиционные положения теории русловых процессов, безнапорного гидротранспорта грунтов, а также Рекомендации по расчету охранных зон хвостохранилищ, выпущенные ВНИИПИ механической обработки полезных ископаемых (МЕХАНОБР) в 1984 году [1–7].

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

1.4. Методика позволяет определить показатели, характеризующие аварию и ее последствия:

границы зоны затопления;

время образования прорана (время от начала до полного истечения жидкости из хранилища);

размеры прорана;

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

высота, скорость и гидродинамическое давление волны прорыва по пути движения;

параметры загрязнения вредными веществами почвы, грунтовых и поверхностных вод;

показатели последствий аварий по воздействию волны прорыва на человека, здания и сооружения;

показатели последствий аварий по воздействию на окружающую природную среду.

1.5. Методика предназначена для использования:

предприятиями и организациями, эксплуатирующими хранилища;

проектными и экспертными организациями;

другими организациями, по роду своей деятельности связанными с обеспечением безопасности хранилищ;

при декларировании безопасности ГТС;

при определении возможности дальнейшей эксплуатации хранилищ и других работах, в которых требуется количественная оценка уровня безопасности.

1.6. Полученные показатели последствий аварии могут быть использованы при оценке ущерба окружающей природной среде, материальных потерь, границ зон поражающих факторов и классификации ЧС.

1.7. Основные термины и определения, используемые в методике.

***Затопление*** — повышение уровня воды водотока, водоема или подземных вод, приводящее к образованию свободной поверхности воды на участке территории [8, 9].

© Госгортехнадзор России, 2002

***Катастрофическое затопление*** — территория, на которой затопление имеет глубину 1,5 м и более и может повлечь за собой разрушения зданий и сооружений, гибель людей, вывод из строя оборудования предприятий [10].

***Зона затопления*** — зона, в пределах которой происходит движение потока, образующегося при разрушении дамбы (плотины) [8, 11].

***Почва*** — природное образование, слагающее поверхностный слой земной коры и обладающее плодородием [12, 13].

***Плотность сухого грунта*** — отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к его первоначальному объему [14].

***Плотность частиц грунта*** — масса единицы объема грунта без учета пор или масса единицы объема твердых частиц грунта [14].

***Вода грунтовая*** — гравитационная вода первого от поверхности земли постоянно действующего водоносного горизонта, расположенного на первом водоупорном слое [13].

***Коэффициент фильтрации*** — скорость фильтрации воды при градиенте напора, равном единице, и линейном законе фильтрации [14].

***Градиент напора*** — отношение разности напора воды к длине пути фильтрации [14].

***Инфильтрация*** — проникновение атмосферной или поверхностной воды в породы и почвы [14].

***Авария*** — опасное техногенное происшествие, создающее угрозу жизни и здоровью людей, приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного и транспортного процесса, нанесению ущерба окружающей природной среде [8, 15, 16].

***Гидродинамическая авария*** — авария на ГТС, связанная с распространением с большой скоростью воды и создающая угрозу возникновения чрезвычайной техногенной ситуации [8, 15, 16].

***Чрезвычайная ситуация*** — обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии на ГТС, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью

© Оформление ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение жизнедеятельности людей [8, 16].

***Предельно допустимая концентрация*** — максимальная концентрация, при которой вещество не оказывает прямого или опосредованного влияния на состояние здоровья населения (при воздействии на организм в течение всей жизни) и не ухудшает гигиенические условия водопользования [8].

***Опасные отходы*** — отходы, которые в силу их реакционной способности или токсичности представляют непосредственную или потенциальную опасность для здоровья человека или состояния окружающей среды самостоятельно или при вступлении в контакт с другими отходами и окружающей средой [8].

***Загрязняющие вещества*** — химические соединения, повышенное содержание которых в биосфере и ее компонентах вызывает негативную токсико-экологическую ситуацию [8].

***Прудок-отстойник*** — водоем, в котором происходит осветление в процессе намыва [8].

## 2. РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОТХОДОВ*, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ХРАНИЛИЩЕ, В СЛУЧАЕ РАЗРУШЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ

### 2.1. Основные положения, принимаемые при расчете

2.1.1. Процесс разрушения хранилища, образования прорана и движения образующегося при этом потока отходов является сложным. Неравномерный и неустановившийся характер движения потока по всей трассе растекания обусловливают переменные значения его гидродинамических параметров [1–7], поэтому для упрощения расчетов рассматриваемый процесс разделяется в расчетном отношении на два этапа:

* Отходы — жидкие производственные отходы, стоки и технические воды.

© Госгортехнадзор России, 2002

1) расчет образования прорана и расчет параметров потока в сечении у подошвы откоса дамбы;

2) расчет максимальных параметров потока по трассе растекания.

2.1.2. В Методике приняты следующие допущения:

расчет производится для глубины слоя жидкости и несконсолидированных отходов не менее 25 см;

отходы в хранилище могут представлять собой однородный или неоднородный состав;

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 [17, 18].

## 2.2. Расчет образования прорана (процесса разрушения дамбы)

2.2.1. В расчетах приняты следующие основные обозначения:

$H_{max}$ — максимальная глубина вытекающего из прудка слоя жидкости и несконсолидированных отходов, м;

$F$ — площадь хранилища по максимальной отметке гребня дамбы, м$^2$;

$V_{max}$ — полный объем отходов в хранилище, м$^3$;

$l_0$ — ширина гребня дамбы, м;

$m_{отк}$ — заложение внутреннего откоса дамбы*, м/м;

$n_{отк}$ — заложение внешнего откоса дамбы, м/м;

$\rho_s$ — плотность частиц грунта, т/м$^3$;

$\rho_ж^в$ — плотность жидкости в поверхностном слое, т/м$^3$;

$\rho_ж^с$ — плотность жидкости в слое, расположенном на глубине, равной $^1/_2$ толщины слоя жидкости и несконсолидированных отходов, т/м$^3$;

* Отношение длины горизонтальной проекции откоса к высоте откоса.

© Оформление ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

$\rho_{ж}^{н}$ — плотность жидкости в придонном слое, т/м$^3$;

$\rho_d$ — средняя плотность сухого грунта тела дамбы, т/м$^3$ [7];

$\nu^{в}$ — кинематический коэффициент вязкости жидкости в поверхностном слое, см$^2$/с;

$\nu^{с}$ — кинематический коэффициент вязкости жидкости в слое, расположенном на глубине, равной $^1/_2$ толщины слоя жидкости и несконсолидированных отходов, см$^2$/с;

$\nu^{н}$ — кинематический коэффициент вязкости жидкости в придонном слое, см$^2$ /с (для воды кинематический коэффициент вязкости равен 0,0101 см$^2$/с);

$d$ — средневзвешенный размер частиц грунта, мм.

### *2.2.2. Подготовка исходных данных для расчета на первом этапе*

2.2.2.1. Исходными данными для расчета являются:

максимальная глубина вытекающего из прудка слоя жидкости и несконсолидированных отходов;

площадь хранилища по максимальной отметке гребня дамбы;

ширина гребня дамбы;

заложение внутреннего откоса дамбы;

заложение внешнего откоса дамбы;

плотность частиц грунта;

средневзвешенный размер частиц грунта.

2.2.2.2. Вычисление средневзвешенного размера частиц грунта. Для этого производятся замеры размера частиц грунта:

для наливных хранилищ — на дамбе;

для комбинированных (наливных + намывных) и намывных — на первичной насыпной и на намывной дамбах.

Определяются среднее значение диаметра частиц грунта $d_{ср}$ и стандартное отклонение измерений $\sigma_d$:

$$d_{ср} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i; \qquad (1)$$

© Госгортехнадзор России, 2002

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(d_i - d_{\text{ср}}\right)^2}, \qquad (2)$$

где $d_i$ — диаметр $i$-й выделенной фракции частиц грунта, определяемый по гранулометрическому анализу, мм;

$n$ — количество измерений.

Из формул (1) и (2) получаем выражение для определения средневзвешенного размера частиц грунта

$$d = d_{\text{ср}} - \frac{t_{st}\,\sigma_d}{\sqrt{n}}, \qquad (3)$$

где $t_{st}$ — квантиль распределения Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95 [19].

2.2.2.3. Плотность жидкости $\rho_{\text{ж}j}$ в $j$-м слое для отходов с неоднородным составом определяется по следующей формуле:

$$\rho_{\text{ж}j} = \left(\rho_{\text{ж}}^{\text{н}} - \rho_{\text{ж}}^{\text{в}}\right)\left(\frac{x_j}{H}\right)^k + \rho_{\text{ж}}^{\text{в}}, \qquad (4)$$

где $x_j$ — расстояние от поверхности жидких отходов до рассматриваемого $j$-го слоя, м;

$$k = 1{,}443\ln\frac{\rho_{\text{ж}}^{\text{н}} - \rho_{\text{ж}}^{\text{в}}}{\rho_{\text{ж}}^{\text{с}} - \rho_{\text{ж}}^{\text{в}}}; \qquad (5)$$

$H$ — высота слоя жидкости и несконсолидированных отходов, м.

Для отходов с однородным составом $j = 1$.

2.2.2.4. Кинематический коэффициент вязкости жидкости $\nu_j$ в $j$-м слое для отходов с неоднородным составом определяется по следующей формуле:

$$\nu_j = \left(\nu^{\text{н}} - \nu^{\text{в}}\right)\left(\frac{x_j}{H}\right)^k + \nu^{\text{в}}, \qquad (6)$$

© Оформление ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

где $k = 1,443 \ln \frac{\nu^{н} - \nu^{в}}{\nu^{с} - \nu^{в}}$. (7)

Для отходов с однородным составом $j = 1$.

Вывод формул (4)–(7) приведен в приложении 1.

За начальные условия расчета размыва элементарного прорана принимается равенство

$$y_0 = b_0 = h_0 = 0,1 H_{max}, \quad (8)$$

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.

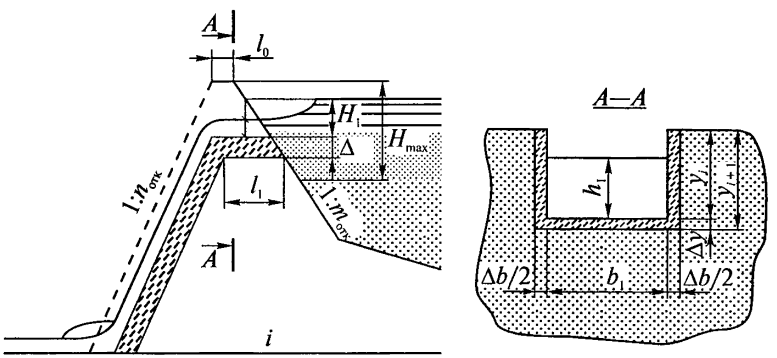


**Рис. 1.** Схема расчета размыва прорана

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

© Госгортехнадзор России, 2002

$$\Delta b = \Delta y \frac{y_0}{y_0 + \Delta y}. \qquad (9)$$

2.2.3. 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:

глубина прорана $y_i = y_{i-1} + \Delta y;$ (10)

ширина прорана $b_i = b_{i-1} + \Delta b;$ (11)

длина прорана, м, $l_i = (m_{\text{отк}} + n_{\text{отк}}) y_i + l_0.$ (12)

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

$$b_i = b_{i-1} + \Delta b', \qquad (13)$$

где $\Delta b' = 2{,}5\Delta y \frac{y_0}{y_0 + \Delta y}.$ (14)

Глубина потока в проране, м, $h_i = \frac{2}{3} H_i,$ (15)

где $H_i$ определяется по формуле (37).

Расход потока в проране, м$^3$/с [4]: $Q_i = m b_i H_i^{3/2} \sqrt{2g},$ (16)

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

Удельный расход потока в проране, м$^2$/с, $q_i = \frac{Q_i}{b_i} = 1{,}373 H_i^{3/2}.$ (17)

Скорость потока в проране, м/с, $u_i = \frac{Q_i}{b_i h_i} = 2{,}056 H_i^{1/2}.$ (18)

Неразмывающая скорость $u_0$, м/с, определяется для заданного значения $d_{\text{ср}}$ и гидравлических параметров потока производится по зависимостям В.С. Кнороза [20]:

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

для 0,1 мм < $d \le 0{,}25$ мм $$u_{0i} = 0{,}71\frac{\nu_j^{0,3}\left(g\,\rho'_j\right)^{0,35} d^{0,05}}{\sqrt{0{,}0008 + \left(0{,}006 R_i^{-0,25}\right)}}; \quad (19)$$

для 0,25 мм < $d$ < 1,5 мм $$u_{0i} = 1{,}8\nu^{0,136}\left(g\,\rho'_j\right)^{0,432} d^{0,292} \times$$

$$\times \lg\frac{660 R_i\, v_j^{0,7}}{\left(g\,\rho'_j\right)^{0,35} d^{0,24} k^{1,81}}; \quad (20)$$

для $d \ge 1{,}5$ мм $$u_{0i} = \sqrt{g\,\rho'_j\, d}\,\lg\left(11{,}5\frac{R_i}{k}\right), \quad (21)$$

где $k = 0{,}785\, d^{0,75}$;

$g$ — ускорение силы тяжести ($g$ = 981 см/с$^2$);

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

$$R_i = \frac{b_i y_i}{b_i + 2y_i}, \text{ м}; \quad (22)$$

$\rho'_j$ — относительная плотность жидких отходов $j$-го слоя, которая определяется как

$$\rho'_j = \frac{\rho_s - \rho_{ж\,j}}{\rho_{ж\,j}}. \quad (23)$$

Для частиц грунтов с $d$ < 0,1 мм при определении значения неразмывающей скорости необходимо учитывать силы сцепления между частицами грунта. Значение $u_0$ рекомендуется определять по нормативно-справочной литературе [17].

Величина гидравлической крупности $W_0$, м/с, для размываемых грунтов в проране определяется в зависимости от диаметра частиц грунта по формулам [20]:

© Госгортехнадзор России, 2002

при $d \le 0{,}1$ мм $$W_0 = \frac{g d^2 \rho'_j}{18 \nu_j}; \quad (24)$$

при $0{,}1$ мм $< d < 0{,}6$ мм $$W_0 = d \left( \frac{g \rho'_j}{11{,}2 \sqrt{\nu_j}} \right)^{1/1{,}5}; \quad (25)$$

при $0{,}6$ мм $< d < 2{,}0$ мм $$W_0 = \left( \frac{g d^{1{,}2} \rho'_j}{4{,}4 \nu_j^{0{,}2}} \right)^{1/1{,}8}; \quad (26)$$

при $d \ge 2{,}0$мм $$W_0 = 1{,}2 \sqrt{g d \rho'}, \quad (27)$$

где $g$ — ускорение силы тяжести ($g$ =981 см/с$^2$).

Время размыва элементарного объема прорана, с:

$$\Delta t_i = \frac{2 \rho_d \Delta W_i}{\mu_i Q_i}, \quad (28)$$

где $\mu_i$ — транспортирующая (размывающая) способность потока;

$\Delta W_i$— увеличение объема размытого прорана, м$^3$:

$$\Delta W_i = W_i - W_{i-1} = 0{,}5 \left( b_i y_i l_i - b_{i-1} y_{i-1} l_{i-1} \right). \quad (29)$$

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 $u_i \ge 2{,}7 u_{0i}$ и все частицы $d \le 0{,}15$ мм (переносятся во взвешенном состоянии), то величина $\mu_i$ может быть определена как [1]:

$$\mu_i = \left( \frac{u_{\text{кр}\,i} - u_{0i}}{3 W_0} \right)^4 \left( \frac{d}{R_i} \right)^{1{,}6}, \quad (30)$$

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

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

при $y_i < H_{max}$ $\quad u_{кр\,i} = 2{,}63 h_i^{0,5}$; (31)

при $y_i = H_{max}$ $\quad u_{кр\,i} = 3{,}77 h_i^{0,2}$. (32)

Если $u_i < 2{,}7 u_{0i}$ и все частицы $d > 0{,}15$ мм (движутся в донном режиме), то величина $\mu_i$ определяется по формуле [1]:

$$\mu_i = 0{,}002 \left( \frac{u_i}{\sqrt{g\,d}} \right)^3 \left( 1 - \frac{u_{0i}}{u_i} \right) \left( \frac{d}{h_i} \right)^{1,25}, \qquad (33)$$

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

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

$$\Delta V_i = Q_i\,\Delta t_i = \frac{2\rho_d\,\Delta W_i}{\mu_i}. \qquad (34)$$

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

$$V = \sum \Delta V_i. \qquad (35)$$

Понижение уровня в прудке

$$\Delta H_i = \frac{\Delta V_i}{F}. \qquad (36)$$

Глубина слоя, вытекающего из прудка:

$$H_i = H_{i-1} + \Delta y - \Delta H_{i-1}. \qquad (37)$$

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

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

Для удобства все результаты расчетов представляются в табличной форме.

© Госгортехнадзор России, 2002

## 2.3. 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 $q_{max}$.

2.3.1. Для определения формы свободной поверхности потока [4] необходимо сравнить величину нормальной глубины $h_0$ с критической глубиной $h_{кр}$ и значение уклона внешнего откоса дамбы $i_{во}$ со значением критического уклона $i_{кр}$.

Определение критической глубины потока, м,

$$h_{кр\,1} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q_{max}^2}{g b_{11}^2}}, \quad h_{кр\,2} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_{max}^2}{g}}, \quad * \qquad (38)$$

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

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

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

вычисляется модуль расхода [4]:

$$K_{01} = \frac{Q_{max}}{\sqrt{i_{во}}}, \quad K_{02} = \frac{q_{max}}{\sqrt{i_{во}}}, \qquad (39)$$

где $i_{во} = \frac{1}{n_{отк}}$.

* Здесь и далее по тексту формулы в левой колонке относятся к первому варианту расчета, в правой — ко второму.

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

Задавая различные значения $h_1$ $(h_2)$*, определяем характеристики потока:

площадь сечения, м$^2$,

$$\omega_1 = b_{11}h_1, \quad \omega_2 = b_{12}h_2; \tag{40}$$

смоченный периметр потока

$$\chi_1 = b_{11} + 2h_1, \quad \chi_2 = b_{12} + 2h_2; \tag{41}$$

гидравлический радиус

$$R_1 = \frac{\omega_1}{\chi_1}, \quad R_2 = \frac{\omega_2}{\chi_2}; \tag{42}$$

коэффициент Шези

$$C_1 = \frac{1}{n}R_1^{1/6}, \quad C_2 = \frac{1}{n}R_2^{1/6}, \tag{43}$$

где $n$ — коэффициент шероховатости, принимаемый равным 0,025 [4];

значение расчетного модуля расхода $K_r$:

$$K_{r1} = \omega_1 C_1\sqrt{R_1}, \quad K_{r2} = \omega_2 C_2\sqrt{R_2}. \tag{44}$$

Подставляя значения параметров, определяемых по уравнениям (40)–(43), в выражения (44), получим

$$K_{r1} = 40\,b_{кр1}\,h_1\sqrt[3]{\left(\frac{b_{кр1}\,h_1}{b_{кр1} + 2h_1}\right)^2}, \quad K_{r2} = 40\,b_{кр2}\,h_2\sqrt[3]{\left(\frac{b_{кр2}\,h_2}{b_{кр2} + 2h_2}\right)^2}. \tag{45}$$

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 [4]:

$$i_{кр1} = \frac{g\,\chi_{кр1}}{\alpha\,C_{кр1}^2\,b_{кр1}}, \quad i_{кр2} = \frac{g\,\chi_{кр2}}{\alpha\,C_{кр2}^2\,b_{кр2}}. \tag{46}$$

* Здесь и далее по тексту значения параметров, указанных в скобках, относятся ко второму варианту расчета.

© Госгортехнадзор России, 2002

Подставляя значения параметров, определяемых по уравнениям (40)–(43) при условии $h = h_{кр}$, в выражения (46), получим

$$i_{кр1} = 5{,}57 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{\frac{\left(b_{кр1} + 2h_{кр1}\right)^4}{b_{кр1}^4 h_{кр1}}}, \quad i_{кр2} = 5{,}57 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{\frac{\left(b_{кр2} + 2h'_{кр2}\right)^4}{b_{кр2}^4 h_{кр2}}}, \quad (47)$$

где $b_{кр1} = b_{11}$, $b_{кр2} = b_{12}$.

В зависимости от глубины потока в начале откоса $h_{11}$ ($h_{12}$) и соотношения $i_{во} \gtrless i_{кр1}$ ($i_{во} \gtrless i_{кр2}$) и $h_{01} \gtrless h_{кр1}$ ($h_{02} \gtrless h_{кр2}$) определяется форма свободной поверхности потока [4,17, 18].

### *2.3.2. Определение глубины потока в сечении у подошвы откоса*

Из полученных значений $h_{11}$, $h_{01}$, $h_{кр1}$ ($h_{12}$, $h_{02}$, $h_{кр2}$) выбирается наибольшее и наименьшее значение глубины потока [$h_{max1}$, $h_{min1}$ ($h_{max2}$, $h_{min2}$)] и вычисляется среднее значение:

$$h_{ср1} = \frac{h_{max1} + h_{min1}}{2}, \quad h_{ср2} = \frac{h_{max2} + h_{min2}}{2}. \quad (48)$$

Определяем длину откоса $L$, на которой устанавливается нормальная глубина $h_{01}$ ($h_{02}$) [6]:

$$\begin{aligned} L_1 &= h_{01} n_{отк} \left[\eta_{21} - \eta_{11} - \left(1 - \bar{j}_1\right)\left[\varphi(\eta_{21}) - \varphi(\eta_{11})\right]\right]; \\ L_2 &= h_{02} n_{отк} \left[\eta_{22} - \eta_{12} - \left(1 - \bar{j}_2\right)\left[\varphi(\eta_{22}) - \varphi(\eta_{12})\right]\right]; \end{aligned} \quad (49)$$

$$\bar{j}_1 = 45\sqrt[3]{h_{ср1}\left(\frac{b_{ср1}}{b_{ср1} + 2h_{ср1}}\right)^4}, \quad \bar{j}_2 = 45\sqrt[3]{h_{ср2}\left(\frac{b_{ср2}}{b_{ср2} + 2h_{ср2}}\right)^4}, \quad (50)$$

где $b_{ср1} = b_{11}$, $b_{ср2} = b_{12}$;

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

$$\eta_{11} = \frac{h_{max1}}{h_{01}}, \quad \eta_{12} = \frac{h_{max2}}{h_{02}}; \quad (51а)$$

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

$$\eta_{21} = \frac{h_{min1}}{h_{01}}, \quad \eta_{22} = \frac{h_{min2}}{h_{02}}. \tag{51б}$$

По величинам гидравлических показателей русла $X_1$ ($X_2$) и относительным глубинам находятся функции относительной глубины $\varphi(\eta_{11})$, $\varphi(\eta_{12})$ и $\varphi(\eta_{21})$, $\varphi(\eta_{22})$ (см. приложение 2). Гидравлический показатель русла определяется по формулам [6]:

$$X_1 = 3{,}4 - \frac{2{,}8}{\frac{b_{ср1}}{h_{ср1}} + 2}, \quad X_2 = 3{,}4 - \frac{2{,}8}{\frac{b_{ср2}}{h_{ср2}} + 2}. \tag{52}$$

Полученные в уравнении (49) 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 (49) определяем глубину потока у подошвы откоса:

$$h_{01} = \frac{L_0}{n_{отк}\left\{\eta_{21} - \eta_{11}\left(1 - \bar{j}_1\right)\left[\varphi(\eta_{21}) - \varphi(\eta_{11})\right]\right\}};$$
$$h_{02} = \frac{L_0}{n_{отк}\left\{\eta_{22} - \eta_{12}\left(1 - \bar{j}_2\right)\left[\varphi(\eta_{22}) - \varphi(\eta_{12})\right]\right\}}. \tag{53}$$

### *2.3.3. Определение скорости потока в сечении у подошвы откоса дамбы*

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

$$u_1 = \frac{Q_{max}}{b_1 h_{01}}, \quad u_2 = \frac{q_{max}}{h_{02}}. \tag{54}$$

Из полученных расчетов из двух случаев выбираем максимальные значения параметров потока в сечении у подошвы откоса:

© Госгортехнадзор России, 2002

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.

## 2.4. 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 предприятий химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности в основном относятся к овражным, овражно-пойменным и (или) равнинным типам и имеют емкость до *нескольких млн м*$^3$, принимаем, что вытекающий поток ограничен постоянным значением боковых склонов ложбин, лога или слабонаклоненных поверхностей поймы или равнины.

В расчете принято допущение о том, 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 $Q_п = Q_{max}$, полученное в результате расчета на первом этапе.

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

Для определения формул расчета скорости $u_i$, глубины $h_i$ и ширины $b_i$ потока [4] вычисляются уклоны $i$-х участков лога $Iл_i$

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

$$Iл_i = Lл_i / (Aд_i - Aд_{i-1}),$$

где $Lл_i$ — длина выбранного $i$-го участка лога.

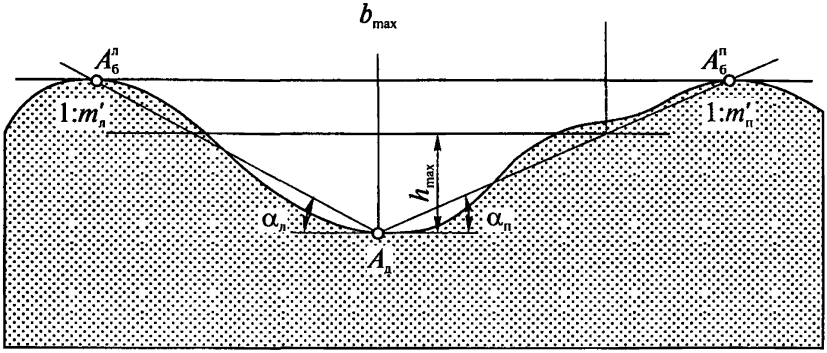


**Рис. 2.** Поперечное сечение лога

Для уклонов $Iл_i < 0{,}01$ параметры потока определяются:

скорость потока $$u_i = \frac{Q_п}{b_{i-1} h_{i-1}} \left(1 - \frac{\bar{X}_i}{3{,}32 - \bar{X}_i}\right); \quad (55)$$

глубина потока $$h_i = h_{i-1} \left(1 - \frac{\bar{X}_i}{2{,}85 - \bar{X}_i}\right); \quad (56)$$

ширина потока $$b_i = b_{i-1} \left(1 + 4{,}69 \bar{X}_i^{0{,}6}\right), \quad (57)$$

где $\bar{X}_i = \frac{l_i \sqrt{g h_{i-1}}}{b_{i-1} u_{i-1}}$ — относительное расстояние; (58)

$$b_i = h_i \left(m'_{л\,i} + m'_{п\,i}\right),$$

здесь $m'_{л\,i} = \operatorname{ctg} \alpha_л$ и $m'_{п\,i} = \operatorname{ctg} \alpha_п$ (см. рис. 2).

© Госгортехнадзор России, 2002

При $i = 0$: $b_0 = b_{max}$,

$l_0 = 0$,

$$h_0 = \sqrt{\frac{2b_{max}\, h_{max}}{m'_{л0} + m'_{п0}}},$$

где $m'_{л\,0}$ и $m'_{п\,0}$ — заложения левого и правого откосов лога у подошвы откоса дамбы соответственно.

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

$$P_i = \frac{2{,}7\rho_0\, u_i^2}{2}, \text{ Па}, \qquad (59)$$

где $\rho_0$ — средняя плотность потока.

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

$$S_k = \frac{Q_п}{u}. \qquad (60)$$

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.

Ввиду сложности расчетов и большого числа итераций в ЗАО «Экоцентр-Агрохимбезопасность» разработан комплекс компьютерных программ «PRORAN».

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

## 2.5. Определение параметров загрязнения почвы, грунтовых вод и поверхностных водоемов вредными веществами, содержащимися в отходах

2.5.1. Для проведения расчетов приняты следующие допущения:

инфильтрация жидкой фазы на площади затопления через почву и грунт — свободная, т. е. фильтрация происходит без подпора со стороны грунтовых вод;

не учитывается вода, остающаяся в почвенно-растительном слое и в естественных впадинах и понижениях по трассе потока;

не учитывается дифференциация загрязнения по мощности и площади почв, грунтового потока, акватории водоемов.

2.5.1.1. При определении степени загрязнения почвы принимается, что вся масса вредных веществ из профильтровавшейся с поверхности жидкости остается в почвенном слое и распределяется равномерно по глубине слоя и площади затопления.

При расчете не учитывается, что часть вредных веществ из профильтровавшихся стоков, не задерживаясь в почвенном слое, попадает в грунтовые воды.

2.5.1.2. При определении степени загрязнения грунтовых вод принимается, что вся масса вредных веществ из профильтровавшейся с поверхности жидкости попадает в грунтовые воды и распределяется равномерно по мощности грунтового потока и площади затопления.

При расчете не учитывается, что часть вредных веществ из профильтровавшихся стоков останется в почве.

2.5.1.3. При определении параметров загрязнения поверхностных водоемов принимается, что вся масса вредных веществ, содержащихся в вытекшей из хранилища жидкости, распределяется равномерно:

для замкнутых поверхностных водоемов — по всему объему водоема;

для проточных поверхностных водоемов — по сечению водоема.

© Госгортехнадзор России, 2002

При расчете не учитывается, что часть вредных веществ из профильтровавшихся в грунтовые воды стоков останется в почве и водоносных грунтах.

### *2.5.2. Расчет параметров загрязнения почвы [21–27]*

Объем профильтровавшейся с поверхности почвы жидкости $V_ф$, м$^3$, определяется по формуле

$$V_ф = K_ф J F_ф T_ф, \qquad (61)$$

где $K_ф$ — коэффициент фильтрации почвенного слоя, м/сут, определяется по данным изысканий;

$J$ — градиент инфильтрационного потока;

$F_ф$ — площадь фильтрации, м$^2$, $F_ф = F_з$, здесь $F_з$ — площадь затопления при максимальных значениях параметров волны от хранилища до водной преграды (реки, озера, водоотводящего канала);

$T_ф$ — время фильтрации жидкости, сут, которое определяется:

$$T_ф = k' T \frac{U'_{ср}}{U''_{ср}}, \qquad (62)$$

здесь $k'$ — коэффициент, характеризующий время, при котором расход потока в проране больше $0{,}7Q_{max}$, и определяемый по зависимости $Q = f(T)$, полученной по результатам расчетов в п. 2.2.3 (для расчетов рекомендуется принимать $k' = 0{,}3$);

$T$ — время образования прорана, сут (см. п. 2.2.3);

$U'_{ср}$ и $U''_{ср}$ — средние рассчитанные значения скоростей потока в проране (см. п.2.2.3) и по трассе растекания (см п. 2.4).

Значение $V_ф$ не должно превышать общего объема $V$, вытекшего из хранилища жидкости [см. формулу (35)].

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

Для каждого $i$-го вредного вещества, содержащегося в жидких отходах, вычисляется концентрация вредного вещества в почве $C_i^{\text{п}}$, мг/кг, на площади $F_{\text{ф}}$:

$$C_i^{\text{п}} = C_i \frac{V_{\text{ф}}}{F_{\text{ф}} M_{\text{п}} \rho_d^{\text{п}}} + C_{\text{ф}i}^{\text{п}}, \qquad (63)$$

где $C_i$ — концентрация $i$-го вредного вещества в жидких отходах, мг/л;

$M_{\text{п}}$ — мощность почвенного слоя, м;

$\rho_d^{\text{п}}$ — плотность сухого почвенно-грунтового слоя, т/м$^3$;

$C_{\text{ф}i}^{\text{п}}$ — фоновая концентрация $i$-го вещества в почве, мг/кг.

Параметры $M_{\text{п}}$ и $\rho_d^{\text{п}}$ определяются по данным изысканий.

Полученная концентрация сравнивается с ПДК данного вещества в почве (см. приложение 3).

При отсутствии конкретных исходных данных для ориентировочных оценок рекомендуется пользоваться следующими значениями параметров:

$$M_{\text{п}} = 0{,}5 - 1{,}0, \text{ м};$$

$$\rho_d^{\text{п}} = 1{,}4 - 1{,}6, \text{ г/см}^3;$$

$$C_{\text{ф}i}^{\text{п}} = 0.$$

### *2.5.3. Расчет параметров загрязнения грунтовых вод [21–27]*

Объем профильтровавшейся с поверхности жидкости определяется по формуле (61). Для каждого $i$-го вредного вещества, содержащегося в жидких отходах, вычисляется концентрация вещества в грунтовых водах $C_i^{\text{гв}}$, мг/л, в зоне затопления:

$$C_i^{\text{гв}} = \frac{V_{\text{ф}} C_i + F_{\text{ф}} m^{\text{гв}} n^{\text{г}} C_{\text{ф}i}^{\text{гв}}}{V_{\text{ф}} + F_{\text{ф}} m^{\text{гв}} n^{\text{г}}}, \qquad (64)$$

© Госгортехнадзор России, 2002

где $C_{фi}^{гв}$ — концентрация вещества в грунтовых водах до гидродинамической аварии (фоновая концентрация), мг/л;

$m^{гв}$ — мощность грунтового потока, м;

$n^{г}$ — пористость водоносных грунтов.

Параметры $C_{фi}^{гв}$, $m^{гв}$ и $n^{г}$ определяются по данным изысканий. Полученная концентрация сравнивается с ПДК данного вещества в воде (см. приложение 4).

2.5.4. Расчет степени загрязнения поверхностных водоемов. Следует различать два случая:

1. Непроточная водная преграда (замкнутый водоем).

2. Проточная водная преграда.

Объем жидких отходов $V_в$, попадающих в замкнутый водоем, принимаем равным объему жидкости, вылившейся из хранилища [см. п. 2.2.3, формула (35)]:

$$V_в = V.$$

Для каждого из вредных веществ, содержащихся в жидких отходах, вычисляется концентрация в воде замкнутого водоема $C_i^{в}$, мг/л:

$$C_i^{в} = \frac{V_в C_i + V_з C_{фi}^{в}}{V_в + V_з}, \qquad (65)$$

где $V_з$ — объем замкнутого водоема, м$^3$.

Полученная концентрация сравнивается с ПДК данного вещества в воде (см. приложение 4).

Для проточного водоема удельное содержание вредного вещества в воде проточного водоема $C_i^{в}$, мг/л, составит:

$$C_i^{в} = \frac{Q_{max} C_i + Q_п C_{фi}^{в}}{Q_{max} + Q_п}, \qquad (66)$$

где $Q_п$ — расход проточного водоема, м$^3$/сут;

$Q_{max}$ — максимальный расход изливающегося из хранилища потока, м$^3$/сут (см. п. 2.3.1).

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

Полученная концентрация сравнивается с ПДК данного вещества в воде.

2.5.5. При наличии соответствующих исходных данных возможно районирование площади фильтрации стоков по значениям $K_ф$, $J$, $T_ф$, $M_п$, $\rho_d^п$, $C_{фi}^п$, $n^г$. В этих случаях при определении параметров загрязнения почвы и грунтовых вод для каждого выделенного района ($r$) рассчитывают величины $V_ф(r)$, $C_i^п(r)$.

2.5.6. Учет сорбции, ионного обмена, окислительно-восстановительных, других физико-химических и биохимических процессов, которые происходят с вредными веществами при фильтрации стоков через почвенный слой и грунты, может привести к снижению параметров загрязнения.

## 2.6. Показатели последствий гидродинамических аварий на хранилищах отходов предприятий химического комплекса

2.6.1. Показатели последствий гидродинамической аварии характеризуются следующими видами опасных явлений: гибелью людей, нанесением ущерба здоровью и нарушением условий жизнедеятельности людей, разрушением и повреждением зданий и сооружений, загрязнением окружающей природной среды.

Величина показателя последствий является количественной оценкой уровня безопасности.

Исследования показали устойчивость результатов расчета показателей последствий аварии к вариации параметров, принимаемых в соответствии с допущениями, принятыми в пп. 2.2.2.2–2.2.2.4.

Определяемые в методике величины показателей последствий являются количественной оценкой уровня безопасности гидродинамической аварии и могут использоваться при оценке количества пострадавших людей, материальных потерь, ущерба окружающей среде, определении класса чрезвычайных ситуаций.

2.6.2. Показатели последствий силового воздействия волны прорыва на человека, здания и сооружения (гибель, нанесение

© Госгортехнадзор России, 2002

ущерба здоровью и нарушение условий жизнедеятельности людей, разрушение и повреждение зданий и сооружений) определяются для территории в пределах зоны затопления, в границах которой воздействие волны опасно для жизни или здоровья человека, может вызвать разрушение и повреждение зданий и сооружений.

2.6.2.1.Показатель последствий силового воздействия волны прорыва на человека ($Z_N$) определяется количеством людей, постоянно ($N_1$) или временно ($N_2$) находящихся в зоне воздействия волны прорыва, значения параметров которой равны или превышают критические значения для жизни и здоровья человека:

$$Z_N = N_1 + N_2 P_{\text{ч}}^{\text{в}}, \text{ чел}, \qquad (67)$$

где $P_{\text{ч}}^{\text{в}}$ — вероятность пребывания человека в зоне силового воздействия волны прорыва в течение суток.

Например, если в зоне затопления люди присутствуют круглосуточно, $P_{\text{ч}}^{\text{в}} = 1$; если в зоне затопления люди присутствуют неполные сутки, например одну смену (8 ч), — $P_{\text{ч}}^{\text{в}} = 0{,}33$.

В качестве критического значения параметра волны прорыва может быть принята, например, глубина потока в зоне растекания $h_{\max} \geq 1{,}5$ м или параметры потока, приводящие к разрушению зданий и сооружений, в которых находятся люди.

2.6.2.2. Показатель силового воздействия волны прорыва $Z_{\text{с}}$ на здания и сооружения определяется прочностными характеристиками зданий и сооружений, а также параметрами волны прорыва (гидродинамическое давление, скорость и глубина потока):

$$Z_{\text{с}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\varphi_{\text{с}}(i)}{\varphi_{\text{lim}}(i)}. \qquad (68)$$

Если $\varphi_{\text{с}}(i) \geq \varphi_{\text{lim}}(i)$, то $\dfrac{\varphi_{\text{с}}(i)}{\varphi_{\text{lim}}(i)} = 1$. Если $\varphi_{\text{с}}(i) < \varphi_{\text{lim}}(i)$, то $\dfrac{\varphi_{\text{с}}(i)}{\varphi_{\text{lim}}(i)} = 0$,

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

где $\varphi_c(i)$ — значение параметра гидродинамической волны прорыва;

$\varphi_{lim}(i)$ — предельное значение параметра волны прорыва для данного вида $i$-го здания или сооружения (см. приложение 5);

$n$ — количество зданий и сооружений, оказавшихся в зоне затопления.

Показатель $Z_c$ численно равен количеству зданий и сооружений, подвергшихся повреждению или разрушению.

2.6.2.3. Показатель последствий гидродинамической аварии по воздействию на окружающую среду определяется соотношением концентраций загрязняющих веществ в почве ($C_i^{п}$), грунтовых водах ($C_i^{гв}$), в водоемах ($C_i^{в}$) и соответствующих предельно допустимых концентраций ($C_{ПДК}$).

Рассчитав показатель для отдельных вредных веществ как $Zi = Ci/C_{ПДК}(i)$, выбирают несколько веществ, имеющих наибольшее значение $Zi$, и определяют суммарный показатель последствий ($Z_п$).

Показатели определяются по каждому элементу окружающей среды — почва, грунтовые воды [24]:

$$Z_{п}^{п} = \sum_{i=1}^{k} \frac{C_i^{п}}{C_{ПДК}^{п}(i)}; \qquad (69а)$$

$$Z_{п}^{гв} = \sum_{i=1}^{k} \frac{C_i^{гв}}{C_{ПДК}^{гв}(i)}; \qquad (69б)$$

$$Z_{п}^{в} = \sum_{i=1}^{k} \frac{C_i^{в}}{C_{ПДК}^{в}(i)}, \qquad (69в)$$

где $k$ — количество суммируемых вредных веществ.

© Госгортехнадзор России, 2002

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Леви И.И.** Динамика русловых процессов. Л.: Госэнергоиздат, 1957.

2. **Гончаров В.Н.** Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеоиздат, 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.: ВНИИВОДГЕО, 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. РД 09-255–99. Методические рекомендации по оценке технического состояния и безопасности хранилищ производственных отходов и стоков предприятий химического комплекса.

9. ГОСТ 19185–73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.

10. СНиП II-89–80. Генеральные планы промышленных предприятий. М., 1990.

11. ПБ 06-123–96. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых, шламовых и гидроотвальных хозяйств.

12. ГОСТ 25100–82. Грунты. Классификация.

13. ГОСТ 25584–90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.

14. Геологический словарь. М.: Недра, 1978. Т. 1.

15. ГОСТ Р 22.0.05–94. Термины и определения.

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

16. РД 03-268–99. Порядок разработки и дополнительные требования к содержанию декларации безопасности гидротехнических сооружений на подконтрольных Госгортехнадзору России предприятиях (организациях).

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.** Неразмывающие скорости для несвязных грунтов и факторы, их определяющие // Известия ВНИИГ. 1958. Т. 59.

21. Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве. М., 1993.

22. ГН 2.1.5.689–98. ПДК химических веществ водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

23. Перечень ПДК вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М., 1995.

24. СНиП 2.06.15–85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. М., 1990.

25. СНиП 1.02.07–87. Инженерные изыскания для строительства. М., 1988.

26. СНиП 2.02.02–85. Основания гидротехнических сооружений. М., 1988.

27. ГОСТ 5180–84. Грунты. Метода лабораторного определения физических характеристик.

28. **Мальцев В.А.** Методики оценки обстановки на промышленном предприятии при чрезвычайных ситуациях. М.: ИПК Госслужбы, 1993.

© Госгортехнадзор России, 2002

***Приложение 1***

# ВЫВОД ФОРМУЛ РАСЧЕТА ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ОТХОДОВ С НЕОДНОРОДНЫМ СОСТАВОМ

Для оценки изменения плотности по глубине слоя жидкости и неконсолидированных отходов делаются допущения о нелинейной закономерности, описывающей это явление.

Предполагается, что закономерность, описывающая изменение плотности отходов по глубине слоя, имеет вид

$$\rho_{жj} = a\chi_j^k + b, \qquad \text{(п. 1.1)}$$

где $\rho_{жj}$ — плотность $j$-го слоя;
$\chi_j^k$ — глубина до $j$-го слоя;
$a$, $b$ и $k$ — параметры используемой закономерности.

Для определения параметров необходимы измерения плотности отходов на трех уровнях: верхнем $\rho_ж^в$, среднем $\rho_ж^с$ и нижнем $\rho_ж^н$.

В качестве параметра $b$ используется величина плотности жидких отходов в верхнем слое, т. е.

$$b = \rho_ж^в. \qquad \text{(п. 1.2)}$$

Подставляя значение в уравнение (п. 1.1) и логарифмируя, получим

$$\ln\left(\rho_{жj} - \rho_ж^в\right) = \ln a + k\ln\chi_j. \qquad \text{(п. 1.3)}$$

Для нижнего слоя формула (п. 1.3) будет иметь вид

$$\ln\left(\rho_ж^н - \rho_ж^в\right) = \ln a + k\ln H. \qquad \text{(п. 1.4)}$$

Для среднего слоя формула (п. 1.3) будет иметь вид

$$\ln\left(\rho_ж^с - \rho_ж^в\right) = \ln a + k\ln\frac{H}{2}. \qquad \text{(п. 1.5)}$$

Решая совместно уравнения (п. 1.4) и (п. 1.5), получим

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

$$\ln\left(\rho_{ж}^{н}-\rho_{ж}^{в}\right)-\ln\left(\rho_{ж}^{с}-\rho_{ж}^{в}\right)=k\left(\ln H-\ln\frac{H}{2}\right). \qquad \text{(п. 1.6)}$$

Преобразуя уравнение (п. 1.6), окончательно получаем

$$k=1{,}443\ln\frac{\rho_{ж}^{н}-\rho_{ж}^{в}}{\rho_{ж}^{с}-\rho_{ж}^{в}}. \qquad \text{(п. 1.7)}$$

Для определения $a$ подставляем в выражение для $k$ формулу (п. 1.4). После преобразования окончательно имеем

$$a=\frac{\rho_{ж}^{н}-\rho_{ж}^{в}}{H^{k}}. \qquad \text{(п. 1.8)}$$

Подставляя значения $k$ и $a$ в уравнение (п. 1.1), получим

$$\rho_{жj}=\left(\rho_{ж}^{н}-\rho_{ж}^{в}\right)\left(\frac{x_j}{H}\right)^{k}+\rho_{ж}^{в}. \qquad \text{(п. 1.9)}$$

Для оценки изменения вязкости по глубине слоя жидкости и неконсолидированных отходов делаются допущения о нелинейной закономерности, описывающей это явление.

Предполагается, что закономерность, описывающая изменение вязкости отходов по глубине слоя, имеет вид

$$\nu_j=a\chi_j^{k}+b, \qquad \text{(п. 1.10)}$$

где $\nu_j$ — вязкость $j$-го слоя;

$\chi_j^{k}$ — глубина до $j$-го слоя;

$a$, $b$ и $k$ — параметры используемой закономерности.

Для определения параметров необходимы измерения вязкости отходов на трех уровнях: верхнем $\nu^{в}$, среднем $\nu^{с}$ и нижнем $\nu^{н}$.

В качестве параметра $b$ используется величина вязкости жидких отходов в верхнем слое, т. е.

$$b=\nu^{в}. \qquad \text{(п. 1.11)}$$

© Госгортехнадзор России, 2002

Вывод формулы $\nu_j = \left(\nu^{н} - \nu^{в}\right)\left(\frac{x_j}{H}\right)^k + \nu^{в}$, (п.1.12)

где $k = 1{,}443 \ln \frac{\nu^{н} - \nu^{в}}{\nu^{с} - \nu^{в}}$, (п. 1.13)

ведется аналогично выводу формулы (п. 1.9) для плотности.

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

***Приложение 2***

## Функции относительной глубины $\varphi(\eta_{ij})$ [4]

| | 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 |

* Гидравлический показатель русла.

** Значения относительной глубины, определяемые в п. 2.3.2 по формулам (49а)–(49г).

© Госгортехнадзор России, 2002

***Продолжение прил. 2***

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,72 | 0,907 | 0,843 | 0,807 | 0,793 | 0,781 | 0,774 | 0,766 | 0,754 | 0,747 | 0,740 |
| 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 | 1,265 | 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 |

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

***Продолжение прил. 2***

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |
| 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 |

© Госгортехнадзор России, 2002

***Продолжение прил. 2***

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |
| 1,19 | 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 |

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

***Продолжение прил. 2***

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |
| 1,48 | 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 |

© Госгортехнадзор России, 2002

***Окончание прил. 2***

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

*Приложение 3*

**Предельно допустимые концентрации в почве (ПДК) некоторых химических веществ, характерных для хранилищ жидких отходов предприятий химического комплекса [21]**

| п/п | Наименование вещества | ПДК, мг/кг | Лимитирующий признак вредности*** |
|---|---|---|---|
| 1 | Бензол | 0,3 | воздушно-миграционный |
| 2 | Мышьяк | 2,0 | транслокационный |
| 3 | Нитраты | 130 | воздушно-миграционный |
| 4 | Ртуть | 2,1 | транслокационный |
| 5 | Свинец | 32,0 | общесанитарный |
| 6 | Серная кислота[а] | 160 | общесанитарный |
| 7 | Толуол | 0,3 | воздушно-миграционный |
| 8 | Формальдегид | 7,0 | воздушно-миграционный |
| 9 | Хлористый калий[б] | 560 | водно-миграционный |
| 10 | Медь | 3,0* | общесанитарный |
| 11 | Цинк | 23,0* | транслокационный |
| 12 | Хром | 6,0* | общесанитарный |
| 13 | Никель | 4,0* | общесанитарный |
| 14 | Сероводород | 0,4 | воздушно-миграционный |
| 15 | Фтор | 2,8* | транслокационный |
| 16 | Сероводород | 0,4 | воздушно-миграционный |
| 17 | Фтор | 10,0** | транслокационный |
| 18 | Бензин[в] | 0,1 | воздушно-миграционный |

[а] ПДК серной кислоты может быть использована для оценки загрязнения почвы сульфат-ионом.

© Госгортехнадзор России, 2002

[6] ПДК хлористого калия может быть использована для оценки загрязнения почвы хлорид-ионом.

[в] ПДК бензина может быть использована для ориентировочной оценки загрязнения почвы нефтепродуктами с низкой температурой кипения (до 200 °С).

* Подвижная форма элемента, извлекаемая из почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором pH 4,8.

** Водорастворимая форма.

*** Лимитирующий признак вредности — признак, характеризующийся наименьшей безвредной концентрацией вещества (при использовании различных тестов).

Лимитирующие признаки вредности в почве:

воздушно-миграционный — характеризует переход вещества из почвы в атмосферу;

транслокационный — характеризует переход вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений;

общесанитарный — показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы.

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

*Приложение 4*

## Предельно допустимые концентрации в воде (ПДК) некоторых химических веществ, характерных для хранилищ жидких отходов предприятий химического комплекса [22, 23]

| № п/п | Наименование вещества | ПДК в воде, мг/л | |
|---|---|---|---|
| | | водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования | водоемов рыбохозяйственного назначения |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Аммиак (по азоту) | 2,0 (с.-т.)* | 0,05 (токс.) |
| 2 | Бензол | 0,5 (с.-т.) | 0,5 (токс.) |
| 3 | Железо | 0,3[а] (орг.-окр.) | 0,1 (токс.) |
| 4 | Метанол | 3,0 (с.-т.) | 0,1 (с.-т.) |
| | Мышьяк | 0,05[а] (с.-т.) | 0,05 (токс.) |
| | Натрий | 200 (с.-т.) | 120 (с.-т.) |
| 7 | Нитриты | 3,3 (с.-т.) | 0,08 (токс.) |
| 8 | Нитраты | 45 (с.-т.) | 40 (с.-т.) |
| 9 | Ртуть | 0,0005[в] | Отсутствие |
| 10 | Свинец | 0,03 (с.-т.) | 0,1 (токс.) |
| 11 | Сульфаты | 500 (орг.-привк.) | 100 (токс.) |
| 12 | Толуол | 0,5 (орг.-зап.) | 0,5 (орг.) |
| 13 | Фенол | 0,001[б] (орг.-зап.) | 0,001 (рыб. хоз.) |
| 14 | Формальдегид | 0,05 (с.-т.) | 0,1 (токс.) |
| 15 | Хлориды | 350 (орг.-привк.) | 300 (с.-т.) |
| 16 | ХПК** | 15; 30[з] | — |
| 17 | Цинк | 1,0 (общ.) | 0,01 (токс.) |

© Госгортехнадзор России, 2002

***Окончание прил. 4***

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 18 | Нефтепродукты | 0,3 (орг.-пленка) | 0,05 (рыб. хоз.) |
| 19 | Полифосфаты | 3,5[в] (орг.) | 2,0[г] (токс.) |
| 20 | Цианид-ион | 0,035[д] (с.-т.) | 0,05 (токс.) |
| 21 | Фторид-ион | 0,7–1,5[ж] (с.-т.) | 0,05[е] (токс.) |

[а] с учетом валового содержания всех форм;

[б] эта ПДК для суммы летучих фенолов при условии применения хлора для обеззараживания воды, в иных случаях ПДК = 0,1 мг/л;

[в] по $PO_4$;

[г] по Р;

[д] цианиды простые и комплексные (за исключением цианоферратов) в расчете на цианидион;

[е] в дополнение к фоновому, но не выше их суммарного содержания 0,75 мг/л;

[ж] для климатических районов I–II — 1,5 мг/л;
III — 1,2 мг/л;
IV — 0,7 мг/л;

[з] для хозяйственно-питьевого водоснабжения 15 мг $O_2$/л; для культурно-бытового — 30 мг $O_2$/л.

* В скобках приведен лимитирующий признак вредности [признак, характеризующийся наименьшей безвредной концентрацией вещества (при использовании различных тестов)]:

с.-т. — санитарно-токсикологический (характеризует влияние химического вещества в воде на здоровье человека);

общ. — общесанитарный [характеризует влияние химического вещества на самоочищение воды в водоемах (процессы биохимического окисления, сапрофитную микрофлору и т. п.)];

орг. — органолептический (привкус, запах, окраска);

токс. — токсикологический.

** Химическая потребность в кислороде (ХПК) — интегральный показатель загрязнения органическими веществами (количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимое для восстановления всех восстановителей, содержащихся в воде).

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002

*Приложение 5*

**Характер разрушений инженерно-технического комплекса промышленного объекта при воздействии волны прорыва [28]**

| Элементы инженерно-технического комплекса | Параметры волны прорыва, вызывающие виды разрушений на объекте | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | легкие | | слабые | | средние | | сильные | |
| | *h*, м | *U*, м/с | *h*, м | *U*, м/с | *h*, м | *U*, м/с | *h*, м | *U*, м/с |
| Промышленные здания с легким металлическим каркасом | 1,5 | 0,5 | 2,0 | 1,0 | 4,0 | 2,0 | 5,0 | 2,5 |
| Промышленные здания бескаркасные | 1,5 | 0,5 | 2,0 | 1,0 | 4,0 | 2,0 | 5,0 | 2,5 |
| Кирпичные административные и вспомогательные здания | 1,5 | 0,5 | 2,0 | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 4,0 | 2,0 |
| Деревянные здания в 1–2 этажа | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 2,5 | 1,0 | 3,5 | 1,50 |
| Сборные и легкие деревянные здания | 1,5 | 0,5 | 2,0 | 1,0 | 2,5 | 1,5 | 3,5 | 1,5 |
| Емкости, трубопроводы на опорах | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 4,0 |
| Сооружения на подвижных опорах | 1,5 | 0,5 | 2,5 | 1,0 | 2,5 | 1,5 | 3,5 | 2,5 |
| Мосты, эстакады | — | — | — | — | 0,5* | 1,0 | 1–2* | 1,5–2,5 |
| Дороги с твердым покрытием | — | — | — | — | — | — | 1,0 | 1,8–2,5 |
| Автомобильный и железнодорожный транспорт | — | — | — | — | 1,0 | 1–1,5 | 1,5 | 2,0 |

* Высота потока выше проезжей части сооружения.

© Госгортехнадзор России, 2002

Официальное издание

Лицензия ИД № 05178 от 25.06.01
Гигиенический сертификат
№ 77.01.08.950.П.34650.09.9 от 17.09.99

Подписано в печать 12.02.2001. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Times. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем 4,25 печ. л.
Заказ № 77.
Тираж 1000 экз.

Государственное унитарное предприятие
«Научно-технический центр по безопасности
в промышленности Госгортехнадзора России»
107066, г. Москва, ул. Александра Лукьянова, д. 4, к. 8

Отпечатано в типографии ООО «БЭСТ-принт»
Москва, ул. Щербаковская, д. 53

gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002