

**Охрана окружающей среды и природопользование
Гидросфера**

**ПРАВИЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И
КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА ПРИ СОЗДАНИИ
ПЛОТИН И ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕКАХ**

**Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне
Гідрасфера**

**ПРАВИЛЫ ВЫЗНАЧЭННЯ ПРАГНОЗНЫХ КОЛЬКАСНЫХ І ЯКАСНЫХ
ХАРАКТАРЫСТЫК ВОДНАГА РЭЖЫМУ ПРЫ ЁЗВЯДЗЕННІ ПЛАЦІН І
ВАДАСХОВІШЧАЎ НА РЭКАХ**

Издание официальное



Минприроды

Минск

Ключевые слова: оценка воздействия на окружающую среду, математическая модель, гидрологический режим, гидрогеологический режим, прогнозирование качества воды, оценка вероятных чрезвычайных ситуаций, оценка ледовых явлений, прогноз заиления водохранилищ.

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению техническим нормированием и стандартизацией в области охраны окружающей среды установлены Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды».

1 РАЗРАБОТАН Республиканским унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (РУП «ЦНИИКИВР»).

ВНЕСЕН Управлением Государственной экологической экспертизы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 16 января 2012 г. № 3-Т.

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины и определения.....	2
4 Обозначения и сокращения.....	2
5 Общие положения.....	2
6 Оценка изменений гидрологического режима и характеристик скоростного режима течений.....	3
7 Оценка изменения гидрогеологического режима территорий.....	6
7.1 Расчет подпора подземных вод при горизонтальном положении водоупора.....	6
7.2 Расчет подпора подземных вод при наклонном положении водоупора.....	8
7.3 Расчет подпора подземных вод в сложных гидрогеологических условиях.....	8
8 Оценка возможной переработки берегов водохранилища.....	10
9 Прогноз возможного заиления водохранилища.....	12
10 Оценка размыва русла и понижения уровней воды в нижнем бьефе водохранилища.....	15
11 Прогноз изменения качества воды.....	19
11.1 Общие положения.....	19
11.2 Расчет водно-солевого баланса водохранилищ.....	19
12 Прогноз влияния ледовых явлений на гидротехнические сооружения.....	22
12.1 Прогноз максимальных зажорных и заторных уровней воды.....	22
12.2 Прогноз воздействия ледовых явлений.....	22
13 Оценка вероятных чрезвычайных (аварийных) ситуаций, оценка зон вероятного затопления.....	24
Приложение А (справочное) Материалы для расчетов возможной переработки берегов водохранилища.....	26
Приложение Б (справочное) Пример расчета и построения схемы переформирования склона берега водохранилища.....	29
Приложение В (справочное) Расчет заиления водохранилища по участкам.....	31
Библиография.....	35

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ**Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера.
ПРАВИЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И
КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА ПРИ СОЗДАНИИ
ПЛОТИН И ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕКАХ****Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідрасфера.
ПРАВИЛЫ ВЫЗНАЧЭННЯ ПРАГНОЗНЫХ КОЛЬКАСНЫХ І ЯКАСНЫХ
ХАРАКТАРЫСТЫК ВОДНАГА РЭЖЫМУ ПРЫ ЁЗВЯДЗЕННІ ПЛАЦІН І
ВАДАСХОВІШЧАЎ НА РЭКАХ**

Environmental protection and nature management. Hydrosphere.
RULES OF DEFINITION OF PREDICTED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE
CHARACTERISTICS OF WATER REGIME UNDER DAMS AND RESERVOIRS
CONSTRUCTION AT WATERCOURSES

Дата введения: 2012-04-01

1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее – технический кодекс) устанавливает порядок определения прогнозных количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках.

Положения настоящего технического кодекса следует применять при разработке оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при создании плотин высотой 2 м и более с водохранилищами площадью водной поверхности 2 км² и более при нормальном подпорном уровне, а также водохранилищ с указанными выше параметрами, согласно [1].

Требования настоящего технического кодекса применяют при разработке проектной документации на первой стадии проектирования плотин и водохранилищ. Положения настоящего технического кодекса также могут использоваться при определении прогнозных количественных и качественных характеристик водного режима водных объектов при создании водохранилищ при разработке раздела «Охрана окружающей среды» в проектной документации.

Требования настоящего технического кодекса являются обязательными при разработке проектной документации для вновь строящихся и реконструируемых плотин и водохранилищ, независимо от их отраслевой принадлежности и источников финансирования.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом кодексе использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА):

ТКП 17.06-03-2008 Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок оформления водохозяйственных балансов

ТКП 45-3.04-170-2009 Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов)

ТКП 17.06-06-2012

СТБ 17.06.01-01-2008 Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Использование и охрана вод. Термины и определения

СТБ 17.06.02-01-2008 Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация поверхностных и подземных вод

СТБ 1883-2008 Строительство. Канализация. Термины и определения

ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения

ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения

Примечание – При пользовании настоящим техническим кодексом целесообразно проверить действие ТНПА по перечням технических нормативных правовых актов, действующих на территории Республики Беларусь. Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем техническом кодексе применяют термины, установленные в СТБ 17.06.01-01, СТБ 17.06.02-01, СТБ 1883, ГОСТ 19179, ГОСТ 19185.

4 Обозначения и сокращения

ВП – вероятность превышения (обеспеченность гидрологической величины);

ГЭС – гидроэлектростанция;

НПУ – нормальный подпорный уровень;

ФПУ – форсированный подпорный уровень водохранилища.

5 Общие положения

5.1 Основными задачами при проведении прогноза количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках, являются:

- оценка и прогноз изменения гидрологического и гидрогеологического режимов водотоков и прилегающим к ним территорий;
- оценка и прогноз скоростного режима течений и русловых процессов, включая движение наносов, понижения уровней в нижнем бьефе;
- оценка и прогноз переработки берегов водохранилища;
- оценка и прогноз возможного заиления водохранилища;
- оценка ледовых явлений и прогноз их воздействия на проектируемые сооружения;
- оценка и прогноз изменения качества воды при создании водохранилища;
- оценка вероятных чрезвычайных (аварийных) ситуаций, в том числе прогноз движения волны прорыва плотины.

5.2 Исходными данными для оценки и прогноза являются:

- значения расходов и уровней воды, заданных вероятностей превышения (далее – ВП), включая среднемноголетние 50 % ВП, минимальные среднемесячные в течение летне-осенней межени 50 % ВП, 95 % ВП, максимальные весеннего половодья 3 % и 1 % ВП, летне-осенних паводков 10 % ВП;
- отметки нормального подпорного уровня (далее – НПУ) и форсированного подпорного уровня (далее – ФПУ) водохранилища;
- картографическая информация (карты местности с масштабом 1:25000 и крупнее);
- морфометрическая информация по руслу и пойме реки (координаты и отметки точек поперечных сечений по руслу и пойме реки и значения локальных коэффициентов шероховатости по смоченному периметру поперечных сечений);

- результаты расчетов водохозяйственных балансов для створа гидроузла гидроэлектростанций (далее – ГЭС) с учетом различных режимов ее функционирования, выполненные в соответствии с ТКП 17.06-03.

- данные наблюдений за стоком взвешенных и влекомых наносов;
- данные гидрохимических наблюдений за качеством воды в реке на участке размещения плотины;
- данные наблюдений за ледовыми явлениями;
- данные наблюдений скоростей и направлений ветров и продолжительности действия ветра в районе размещения водохранилища;
- геологическая и гидрогеологическая информация по району строительства плотины.

5.3 При подготовке морфометрической информации поперечные сечения по руслу и пойме реки следует задавать на расстоянии от 3 до 10 км между сечениями. При этом указанные сечения должны отображать характерные особенности русла и поймы, в том числе сужения, расширения, повороты.

5.4 При наличии мостов через реку должны быть заданы поперечные сечения в створе моста, а также не менее одного поперечного сечения ниже и выше моста на расстоянии от 50 до 100 м от створа моста.

5.5 В створе размещения плотины задаются поперечные сечения для предпроектного и проектного состояния:

– в нижнем бьефе 4 поперечных сечения – с интервалами 100 м между сечениями, при этом первое из них задается на расстоянии 100 м от створа плотины, следующие 5 поперечных сечений – с интервалом от 500 м до 1000 м, далее ниже по течению поперечные сечения устанавливаются согласно требований 5.3;

– в верхнем бьефе 2 поперечных сечения – с интервалами 100 м между сечениями, при этом первое из них – на расстоянии 100 м от створа плотины, следующие 5 поперечных сечений – с интервалом от 500 м до 1000 м, далее выше по течению поперечные сечения устанавливаются согласно требований 5.3.

5.6 В случае размещения каскада плотин исходная информация должна приводиться по всем размещаемым плотинам в каскаде согласно требований 5.3-5.5.

6 Оценка изменений гидрологического режима и характеристик скоростного режима течений

6.1 Для определения отметок уровней воды в водотоке вследствие размещения плотин и водохранилищ ГЭС и построения профилей с данными об уровнях воды для естественных и проектных условий следует производить гидродинамические расчеты с учетом морфологических параметров водотока и рельефа местности на участке.

Допускается использование уравнения (6.1) неравномерного движения воды для определения отметок уровней воды.

$$Z_{i+1} = Z_i + \frac{1+M}{2g} \left[\alpha_i \frac{Q_i |Q_i|}{\omega_i^2} - \alpha_{i+1} \frac{Q_{i+1} |Q_{i+1}|}{\omega_{i+1}^2} \right] + \frac{1}{\beta_1} \left[\frac{Q_i |Q_i|}{K_i^2} + \frac{Q_{i+1} |Q_{i+1}|}{K_{i+1}^2} \right] \left[(X_{i+1} - X_i) + (Z_{i+1} - Z_i - Z_{0i+1} + Z_{0i}) \beta_2 \right] \quad (6.1)$$

где i – номер расчетного сечения водотока;

Z_i, Z_{i+1} – отметки свободной поверхности воды в i -ом и $i+1$ -ом сечениях, м;

Z_{0i}, Z_{0i+1} – отметки дна в i -ом и $i+1$ -ом сечениях, м;

Q_i и Q_{i+1} – расходы воды в i -ом и в $i+1$ -ом сечениях, м³/с;

ω_i, ω_{i+1} – площади поперечного сечения водотока в i -ом и $i+1$ -ом сечениях, м²;

β_1, β_2 – корректирующие коэффициенты удельного количества движения в i -ом и $i+1$ -ом сечениях;

ТКП 17.06-06-2012

K_i, K_{i+1} – модули расходов в i -ом и $i+1$ -ом сечениях, м³/с;

α_i и α_{i+1} – корректирующие коэффициенты кинетической энергии в i -ом и $i+1$ -ом сечениях;

M – параметр, характеризующий соотношение расхода и площади живого сечения в поперечных сечениях водотока. Значение M принимается равным 1, если $\frac{\omega_i}{\omega_{i+1}}$ меньше $\frac{\omega_{i+1}}{\omega_i}$, в противном случае значение M принимается равным 0.

Корректирующие коэффициенты удельного количества движения β_1, β_2 рассчитываются по формулам (6.2) и (6.3).

$$\beta_1 = \frac{2(X_{i+1} - X_i)}{\sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{0i+1} - Z_{0i})^2}}, \quad (6.2)$$

$$\beta_2 = \frac{Z_{0i+1} - Z_{0i}}{X_{i+1} - X_i}, \quad (6.3)$$

где X_i, X_{i+1} – расстояния от постоянного начала до i -го и $i+1$ -го сечений, м.

Остальные обозначения следует принимать по уравнению (6.1).

6.2 Модуль расхода K , м³/с, определяется по формуле (6.4).

$$K = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \omega C \sqrt{R}, \quad (6.4)$$

где C – коэффициент Шези, м^{0.5}/с;

R – гидравлический радиус, м.

Остальные обозначения следует принимать по уравнению (6.1).

Для определения коэффициента Шези C , м^{0.5}/с, при значении R больше либо равным 1,0 м следует использовать зависимость (6.5), при значении R меньше 1,0 м следует использовать зависимость (6.6).

$$C = 7,696 \ln R + \frac{1}{N}, \quad (6.5)$$

$$C = \frac{1}{N} R^{1,18\sqrt{N}}, \quad (6.6)$$

где R – гидравлический радиус, м;

N – приведенный коэффициент шероховатости.

6.3 Приведенный коэффициент шероховатости N определяется как средневзвешенное значение локальных значений коэффициентов шероховатостей n_i , характеризующих участок периметра поперечного сечения. Допускается определять приведенный коэффициент шероховатости расчетным путем [2].

6.4 Граничными условиями для уравнения (6.1) при математическом моделировании водного режима для естественных условий являются уровни и расходы на границах расчетного участка реки (верхний бьеф – зона влияния подпора водохранилища при форсированном подпорном уровне, нижний бьеф – максимальная зона влияния при вероятных чрезвычайных ситуациях), для проектных условий дополнительно НПУ, ФПУ по водохранилищу ГЭС и местоположение гидроузла плотины водохранилища.

Ширина, площадь сечения и уклон дна вычисляются по исходной морфометрической информации моделируемого объекта.

6.5 Местные осредненные продольные скорости течения воды определяются по зависимости (6.7).

$$V = V_{cp} + \dot{\epsilon} \sqrt{I} \left[LC_H \sqrt{H_e} \left[1 + \frac{\sqrt{I}}{\chi C(x_3)} \left(1 + \ln \frac{D(x_3)}{H(x_3)} \right) \right] + MC_B \sqrt{B_e} \left[1 + \frac{\sqrt{I}}{\chi C(x_2)} \left(1 + \ln \frac{D(x_2)}{B(x_2)} \right) \right] \right] - S \dot{\epsilon}, \quad (6.7)$$

где V – осредненная местная продольная скорость в точке живого сечения с координатами (x_3, x_2) ;

V_{cp} – средняя скорость потока, м/с. Определяется по формуле (6.8);

I – уклон уровня воды в водотоке;

L, M, S – коэффициенты, рассчитанные по формулам (6.9) – (6.11);

$B(x_2), H(x_3)$ – расстояния от границы потока до ближайшей гидродинамической оси и глубина потока, измеренные соответственно по горизонтали и вертикали, проходящих через точку (x_2, x_3) ;

$C(x_2), C(x_3)$ – коэффициенты Шези, вычисленные с использованием соответственно $B(x_2)$ и $H(x_3)$;

H_e, B_e – глубина и ширина эквивалентного плоского потока по вертикали и горизонтали;

C_H, C_B – коэффициенты Шези соответственно для гипотетически плоских потоков по вертикали и горизонтали;

χ – постоянная Кармана;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$D(x_2), D(x_3)$ – расстояния от ближайшей границы потока до точки (x_2, x_3) , измеренные соответственно по горизонтальному и вертикальному направлениям.

6.5.1 Средняя скорость потока определяется по формуле (6.8).

$$V_{cp} = C \sqrt{RI}, \quad (6.8)$$

где C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус, м;

I – уклон воды.

Для определения координат живого сечения для естественных и проектных условий используется рассчитанный с помощью уравнения (6.1) уровень воды. Для расчетов по зависимости (6.7) используются средние скорости V_{cp} , м/с, и уклоны воды I , рассчитанные с помощью уравнения неравномерного движения (6.1). При этом также учитываются относительные погрешности вычислений по зависимости (6.7), рассчитываемые для каждой точки исходя из ее относительных координат.

6.5.2 Расчет коэффициентов L, M, S производится по формулам (6.9) – (6.11).

$$L = \frac{R^{1.5}(k_v N + C)}{H^{1.5}(k_v N + C_H)}, \quad (6.9)$$

$$M = \frac{R^{1.5}(k_v N + C)}{B^{1.5}(k_v N + C_B)}, \quad (6.10)$$

$$S = L V_H + M V_B, \quad (6.11)$$

где R – гидравлический радиус, м;

k_v – коэффициент, для квадратичной области сопротивления равный 2, для шероховатой области сопротивления равный 3;

N – приведенный коэффициент шероховатости;

C – коэффициент Шези, м^{0.5}/с;

H, B – глубина и ширина эквивалентного плоского потока по вертикали и горизонтали, м;

C_H, C_B – коэффициенты Шези соответственно для гипотетически плоских потоков по вертикали и горизонтали;

V_H, V_B – средняя продольная скорость в гипотетически плоском потоке по вертикали и по горизонтали соответственно.

6.6 Средние на вертикалях осредненные продольные скорости течения воды определяются по зависимости (6.12).

$$V_B = \frac{1}{H(x_3)} \int_0^{H(x_3)} W(x_2, x_3) dx_2, \quad (6.12)$$

где V_B – средние на вертикалях осредненные продольные скорости течения воды, м/с;
 H – глубина гипотетического плоского по вертикали потока в сечении прямоугольной формы, м;

W – объем, м³;

x_2 – ордината, характеризующая изменения глубины потока;

x_3 – абсцисса, характеризующая изменения ширины потока.

Интеграл вычисляется по значениям скоростей в пяти точках на вертикали по формуле (6.13).

$$W = 0,05 V_{пов.} + 0,347(V_{0,2} + V_{0,6}) + 0,173 V_{0,8} + 0,083 V_{дно} \quad (6.13)$$

где V – измеренные скорости на соответствующей глубине, м/с.

7 Оценка изменения гидрогеологического режима территорий

7.1 Расчет подпора подземных вод при горизонтальном положении водоупора

7.1.1 При горизонтальном водоупоре на участке между долинами двух рек А и Б расчет подпора грунтовых вод производится по формуле (7.1). Расчетная схема приведена на рисунке 7.1. Для проведения расчетов назначаются координатные оси: ось Х (абсцисс) – по поверхности водоупора, ось У (ординат) – проходящей через точку уреза воды проектируемого водохранилища в сечении перпендикулярно оси Х.

$$y = \sqrt{h^2 + (H_2^2 - H_1^2) \frac{L-x}{L} + (h_2^2 - h_1^2) \frac{x}{L}}, \quad (7.1)$$

где y , h – отсчитанные от поверхности водоупора ординаты кривой депрессии соответственно для подпорного и неподпорного потока подземных вод в точке с координатой x ;

H_1 , H_2 – высоты уровня воды над поверхностью водоупора в долине А до и после заполнения водохранилища;

x – расстояние расчетного сечения от уреза водохранилища в долине А;

L – расстояние между урезом водохранилища А и урезом в долине Б,

h_1 , h_2 – высоты над поверхностью водоупора уровня воды в долине Б до и после заполнения водохранилища в долине А.

7.1.2 Для расчета подпора грунтовых вод при горизонтальном водоупоре в случае создания водохранилища в долине реки Б, следует использовать формулу (7.2) и расчетную схему на рисунке 7.1

$$y = \sqrt{h^2 + H_2^2 - H_1^2 + (H_1^2 - h_1^2) \frac{x}{L}}, \quad (7.2)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (7.1)

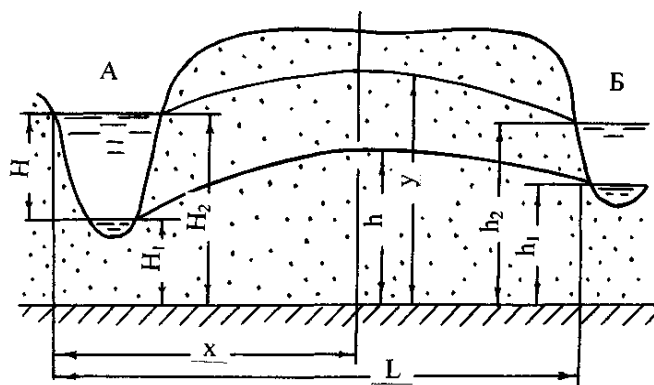


Рисунок 7.1 – Расчетная схема для определения подпора грунтовых вод при горизонтальном расположении водоупора

7.1.3 При горизонтальном водоупоре, в случае когда влияние подпора, создаваемого водохранилищем в долине А, не отражается на уровнях в долине Б из-за ее удаленности, расчет подпора подземных вод производится по формуле (7.3).

$$y = \sqrt{h^2 + (H_2^2 - H_1^2) \frac{L - x}{L}}, \quad (7.3)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (7.1)

7.1.4 При горизонтальном водоупоре, в случае если область в которой определяется подпор, значительно меньше области питания подземных вод, расчет подпора грунтовых вод производится по формуле (7.4).

$$y = \sqrt{h^2 + H_2^2 - H_1^2}, \quad (7.4)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (7.1)

7.1.5 При горизонтальном водоупоре, когда влияние подпора, создаваемого водохранилищем в долине А, не отражается на уровнях в долине Б из-за ее удаленности, расчет подпора напорных подземных вод производится по формуле (7.5).

$$y = h + (H_2 - H_1) \frac{L - x}{L}, \quad (7.5)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (7.1)

7.1.6 При горизонтальном водоупоре, когда верховая граница потока подземных вод удалена от водохранилища на значительное расстояние, расчет подпора напорных вод производится по формуле (7.6).

$$y = h + H_2 - H_1, \quad (7.6)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (7.1)

7.1.7 При горизонтальном водоупоре в случае радиального потока подземных вод, расчет подпора подземных вод (без учета инфильтрации) производится по формуле (7.7).

$$y = \sqrt{(h^2 - H_1^2) \left(\frac{h_1^2 - H_2^2}{h_1^2 - H_1^2} \right) + H_2^2}, \quad (7.7)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (7.1)

7.1.8 При горизонтальном водоупоре, в случае радиального потока подземных вод расчет подпора напорных подземных вод производится по формуле (7.8).

$$y = (h - H_1) \frac{h_1 - H_2}{h_1 - H_1} + H_2, \quad (7.8)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (7.1)

7.2 Расчет подпора подземных вод при наклонном положении водоупора

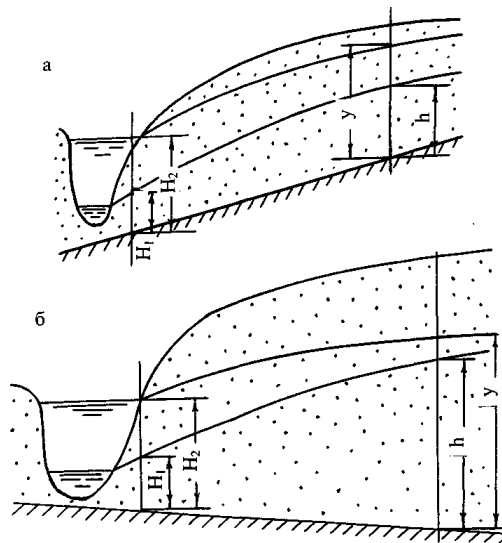
При наклонном водоупоре и уклоне водоупора меньше 0,01 расчет подпора грунтовых вод производится по формуле (7.9). Расчетная схема приведена на рисунке 7.2.

$$y = \sqrt{\frac{Z^2}{4} + H_2^2 + h^2 - H_1^2 + Z(h + H_1 - H_2)} - \frac{Z}{2}, \quad (7.9)$$

где Z – разность отметок водоупорного ложа между урезом водохранилища и расчетным сечением, причем для обратного уклона водоупора (имеющего наклон поверхности, обратный падению уровня грунтовых вод) величина Z принимается отрицательной.

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (7.1).

Формула применима в том случае, если соблюдается условие H_1 больше $Z/2$.



y, h – отсчитанные от поверхности водоупора ординаты кривой депрессии соответственно для подпорного и неподпорного грунтового потока в точке с координатой x ;

H_1, H_2 – высоты над поверхностью водоупора уровня воды в долине до и после заполнения водохранилища.

Рисунок 7.2 - Расчетная схема для определения подпора грунтовых вод при наклонном водоупоре: а – уклон прямой; б – уклон обратный

7.3 Расчет подпора подземных вод в сложных гидрогеологических условиях

7.3.1 При горизонтальном водоупоре и двухслойном пласте расчет подпора грунтовых вод производится по формуле (7.10). Расчетная схема приведена на рисунке 7.3.

$$y = \sqrt{m_{np}^2 + 2m_{np}(h + H_2 - H_1) + h^2 + H_2^2 - H_1^2} - m_{np}, \quad (7.10)$$

где m_{np} – приведенная мощность.

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (7.1)

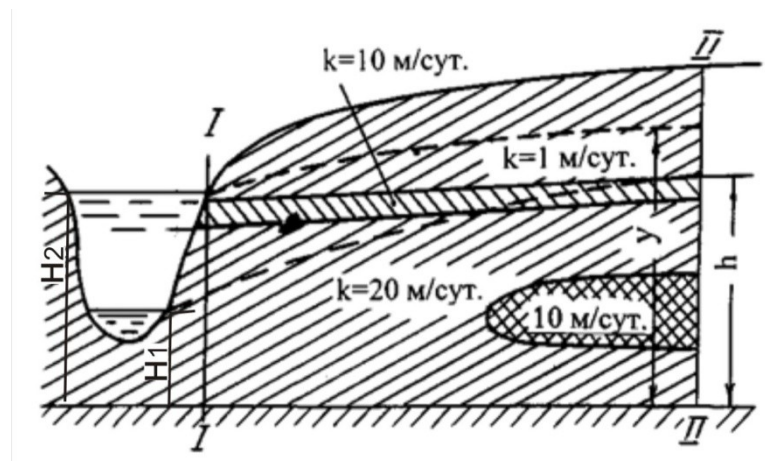
7.3.2 При горизонтальном водоупоре и неоднородном пласте расчет подпора грунтовых вод производится по формуле (7.11).

$$(K_H H_1 + K_P h)(h - H_1) = (K_H^1 H_2 + K_P^1 y)(y - H_2), \quad (7.11)$$

где K_H и K_H^1 – средние коэффициенты фильтрации пласта в начальном сечении до и после подпора;

K_P и K_P^1 – средние коэффициенты фильтрации пласта в расчетном сечении до и после подпора.

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (7.1).



k – коэффициент фильтрации слоев грунта;

y – мощность водоносного горизонта после подпора;

h – мощность водоносного горизонта до подпора;

H_1, H_2 – высоты над поверхностью водоупора уровня воды в долине до и после заполнения водохранилища.

Рисунок 7.3 – Расчетная схема для определения подпора грунтовых вод при общей неоднородности пласта

7.3.3 При наклонном водоупоре и неоднородном пласте расчет подпора грунтовых вод производится по формуле (7.12).

$$y = \sqrt{\left(\frac{a - b + H_2}{2}\right)^2 + \frac{K}{K_1} l' I (H_1 + h) + \frac{a - b - H_2}{2}}, \quad (7.12)$$

где y и H_2 – мощности водоносного горизонта после подпора, соответственно, в расчетном и начальном его сечениях, при расстоянии l' между ними;

h и H_1 – мощность водоносного горизонта до подпора, соответственно, в расчетном и начальном его сечениях;

a – отметка подпорного уровня воды в водохранилище;

b – отметка водоупора в расчетном сечении;

I – уклон водоупора;

K и K_1 – средние коэффициенты фильтрации слоев пород, рассчитываются по формуле (7.13).

Средние коэффициенты фильтрации слоев пород рассматриваемого участка до и после подпора, определяются по формуле (7.13).

$$K = \frac{K'_1 m'_1 + K'_2 m'_2 + \dots + K'_n m'_n + K''_1 m''_1 + K''_2 m''_2 + \dots + K''_n m''_n}{\sum m'_i + \sum m''_i}, \quad (7.13)$$

где K'_1, K'_2, \dots – коэффициенты фильтрации слоев грунта, соответственно, мощностью m'_1, m'_2, \dots ;

$m'_1, m'_2, \dots, m''_1, m''_2, \dots$ – мощность слоев грунта;

K_1'' , K_2'' ... – коэффициенты фильтрации слоев мощностью m_1'' , m_2'' .

7.3.4 При горизонтальном водоупоре, неоднородном по простиранию пласте, потоке с непараллельными линиями тока, наличии верховой границы с постоянным напором расчет подпора грунтовых вод проводится по схеме «от сечения к сечению» по формуле (7.14).

$$y_{n+1} = \sqrt{\frac{h_1^2 - H_2^2}{h_1^2 - H_1^2} (h_{n+1}^2 - h_n^2) + y_n^2}, \quad (7.14)$$

где H_1 и H_2 – соответственно мощность водоносного пласта до подпора и при подпоре в начальном сечении;

h_n и y_n – соответственно мощность водоносного пласта до подпора и при подпоре в сечении n ;

h_{n+1} и y_{n+1} – соответственно мощность водоносного пласта до подпора и при подпоре в сечении $n+1$;

h_1 – напор на верховой границе потока.

7.3.5 При горизонтальном водоупоре, неоднородном по простиранию пласте, плоском потоке, наличии верховой границы с постоянным напором расчет подпора грунтовых вод производится по схеме «от сечения к сечению» по формуле (7.15).

$$y_{n+1} = \sqrt{h_{n+1}^2 + (y_n^2 - h_n^2) \frac{L - x_{n+1}}{L - x_n}}, \quad (7.15)$$

где L – расстояние от берега водохранилища до верховой границы с постоянным напором;

x_n и x_{n+1} – соответственно расстояния от берега водохранилища до сечений n и $n+1$.

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (7.14).

7.3.6 При горизонтальном водоупоре, неоднородном по простиранию пласте, плоском потоке, верховой границе удаленной от водохранилища и расчетных сечений на значительное расстояние расчет подпора грунтовых вод производится по схеме «от сечения к сечению» по формуле (7.16).

$$y_{n+1} = \sqrt{h_{n+1}^2 + y_n^2 - h_n^2}, \quad (7.16)$$

где h_n и y_n – соответственно мощность водоносного пласта до подпора и при подпоре в сечении n ;

h_{n+1} и y_{n+1} – соответственно мощность водоносного пласта до подпора и при подпоре в сечении $n+1$.

8 Оценка возможной переработки берегов водохранилища

8.1 Прогнозирование процесса переформирования берегов водохранилища при создании плотин производится путем оценки абразионного воздействия волновых явлений на берега с крутыми откосами (с углами заложения откоса более 45°) и намыва разрушенных отложений.

8.2 Расчет средней длины волны при ветровом разгоне производится по формуле (8.1).

$$\bar{\lambda} = \frac{g \bar{T}^2}{2\pi}, \quad (8.1)$$

где \bar{T} – средний период волн, с;

Величина среднего периода волн \bar{T} , с определяется с помощью графика,

приведенного в приложении А на рисунке А.1 исходя из параметров $\frac{gt}{V_w}$ и $\frac{gL}{V_w^2}$;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

t – продолжительность действия ветра, с;

Продолжительность действия ветра принимается по данным наблюдений для скоростей ветра обеспеченности 4 %. При отсутствии данных наблюдений по продолжительности действия ветра допускается принимать ее значение равное 6 часам (21600 с).

V_w – расчетная скорость ветра, м/с, принимается на основании данных наблюдений для обеспеченности 4 %;

Расчетную скорость ветра при разгонах волн менее 100 км допускается определять по данным натурных наблюдений над максимальными ежегодными значениями скоростей ветра без учета их продолжительности.

L – разгон волн, м, определяется для каждого расчетного створа по топографическим материалам.

8.3 Проверка условий глубоководности расчетного створа осуществляется по формуле (8.2).

$$d > 0,5\bar{\lambda}, \quad (8.2)$$

где d – глубина воды в водохранилище при расчетном уровне, м;

$\bar{\lambda}$ – длина волны, м.

В случае если условие по неравенству 8.2 не выполняется, средняя высота волны принимается равной нулю, и абразионное переформирование в рассматриваемом створе не определяется.

8.4 Расчетная высота волны обеспеченностью 13 % определяется по формуле (8.3)

$$h_{13\%} = k_{13\%} \bar{h}, \quad (8.3)$$

где $k_{13\%}$ – коэффициент пересчета, принимаемый по графику, приведенному на рисунке

А.2 в приложении А, в зависимости от величины $\frac{gL}{V_w^2}$;

\bar{h} – средняя высота волны, м, определяется по графику приведенному на рисунке

А.1 в приложении А, исходя из параметров $\frac{gt}{V_w}$ и $\frac{gL}{V_w^2}$.

8.5 Ширина профиля береговой отмели, получаемой после переформирования берега водохранилища, определяется по формуле (8.4)

$$B = B_n + B_D, \quad (8.4)$$

где B_n – ширина криволинейного участка профиля отмели по горизонтали, м;

B_D – ширина прямолинейного участка профиля отмели по горизонтали, м.

8.6 Определение профиля береговой отмели осуществляется по формулам (8.5)- (8.7)

$$x = \frac{y^2}{K} + \frac{y}{m_n}, \quad (8.5)$$

$$B_n = \frac{H^2}{K} + \frac{H}{m_n}, \quad (8.6)$$

$$B_D = D \left(\frac{2H}{K} + \frac{1}{m_n} \right), \quad (8.7)$$

где D – величина сработки уровня водохранилища за безледоставный период, м;

K – коэффициент, рассчитываемый по формуле (8.8);

H – глубина размывающего действия волны на краю отмели, м, определяется по формуле (8.9).

Расчет коэффициента K осуществляется по формуле (8.8).

$$K = 20 \frac{m_n m_0}{m_n - m_0}, \quad (8.8)$$

где m_n – уклон береговой отмели на урезе;

m_0 – уклон береговой отмели на условной глубине 10 м.

Величины m_n и m_0 принимаются в зависимости от крупности частиц грунтов береговых откосов по таблице А.1, приведенной в приложении А.

Глубина размывающего действия волны на краю отмели H , м, рассчитывается по формуле (8.9).

$$H = 0,64 h_{13\%} \operatorname{arcsch}(8,1 h_{13\%}), \quad (8.9)$$

где $h_{13\%}$ – расчетная высота волны, м, определяемая по формуле 8.3.

Допускается определять величину H с помощью графика, приведенного в приложении А на рисунке А.3 в зависимости от расчетной высоты волны h и значения η/d_0 , приведенного в таблице А.1.

8.7 Уклон надводного берегового склона $tg\gamma_H$ принимается равным тангенсу угла естественного откоса грунта берега в сухом состоянии, который определяется по данным геологических изысканий.

Уклон подводного берегового склона $tg\gamma_n$, принимается равным тангенсу угла естественного откоса грунта под водой. При отсутствии данных геологических изысканий допускается принимать уклон подводного берегового склона равным 0,5.

8.8 Итоговый профиль берега водохранилища с учетом прогнозируемых деформаций (переформирование) определяется путем наложения профиля, определенного согласно пунктам 8.6-8.7, на первоначальный профиль берега таким образом, чтобы отношение объема аккумуляции к объему разрушения было равно принятому коэффициенту аккумуляции. Прогноз переформирования берегов водохранилища должен быть представлен в виде схемы.

Для водохранилищ коэффициент аккумуляции принимается равным 0,74 для глинистых грунтов и 0,8 для песчаных и супесчаных грунтов.

Пример расчета и построения схемы переформирования склона берега водохранилища приведен в приложении Б.

9 Прогноз возможного заиления водохранилища

9.1 Расчеты заиления водохранилища проводятся для оценки срока заиления, для учета возможных повышений уровней воды в нем, в том числе при пропуске половодий и установлении дополнительного затопления земель вследствие заиления.

9.1.1 Оценка интенсивности заиления водохранилища производится путем определения показателя условной заиляемости t_y , лет, по формуле (9.1).

$$t_y = \frac{W}{V_R}, \quad (9.1)$$

где W – объем водохранилища, м³;

V_R – средний многолетний годовой сток наносов реки, питающей водохранилище, м³/год.

9.1.2 При определении величины условной заиляемости следует учитывать объем отложений, поступающих в водохранилище при абразионной переработке берегов, который определяется по данным прогноза переработки берегов согласно требований раздела 8. Для учета объема отложений поступающих в водохранилище при абразионной переработке берегов его величина вычитается из расчетного объема водохранилища в формуле 9.1. Допускается не учитывать объем отложений поступающих в водохранилище при абразионной переработке берегов в случае, если его величина менее 3 % от расчетного объема водохранилища.

9.1.3 При величине условной заиляемости водохранилищ более 200 лет, дальнейшие расчеты не производятся. При величине условной заиляемости водохранилищ 200 лет и менее следует производить расчет процесса заиления с учетом выноса части наносов за пределы водохранилища в нижний бьеф и в водозаборы по зависимостям приведенным в п. 9.2 – 9.3.

9.2 Расчет процесса заиления с учетом выноса части наносов за пределы водохранилища производится для водохранилища руслового типа при отношении полезного объема водохранилища к полному его объему более 0,4 по формулам (9.2)-(9.5).

9.2.1 Определение объема отложившихся наносов в зависимости от срока эксплуатации водохранилища производится по формуле (9.2).

$$W_{Ht} = W_0(1 - a_0^t), \quad (9.2)$$

где W_{Ht} – объем отложившихся наносов за время эксплуатации водохранилища t , м³;
 W_0 – предельный объем наносов, которые могут отложиться в водохранилище, м³;
 a_0 – коэффициент относительного заиления;
 t – время эксплуатации водохранилища, лет.

Расчет хода заиления следует производить задаваясь значениями величины t , от 2 до 200 лет. Расчет заканчивается, когда объем заиления становится близким к предельному объему заиления, а емкость водохранилища свободная от наносов становится равной объему русла, при котором обеспечивается транзит наносов в нижний бьеф.

9.2.2 Предельный объем наносов, которые могут отложиться в водохранилище, соответствующий установлению режима их движения в пределах водохранилища с прекращением их дальнейшего отложения W_0 , м³, определяется по формуле (9.3).

$$W_0 = W \left[1 - \left(\frac{\omega_P}{\omega_{II}} \right)^{1,7} \right], \quad (9.3)$$

где W – объем водохранилища, м³;

ω_P – площадь поперечного сечения реки в створе ближайшем к плотине, в бытовых условиях до постройки плотины при расходе 0,75 от расчетного максимального расхода, м²;

ω_{II} – площадь поперечного сечения водохранилища в верхнем бьефе в створе ближайшем к плотине, м².

9.2.3 Определение коэффициента относительного заиления a_0 водохранилища производится по формуле (9.4).

$$a_0 = 1 - \frac{W_{H1}}{W_0}, \quad (9.4)$$

где W_{H1} – объем отложившихся наносов в первый год эксплуатации водохранилища, м³;

W_0 – предельный объем отложившихся в водохранилище наносов, м³.

9.2.4 Объем наносов, отложившихся в первый год эксплуатации водохранилища W_{H1} , м³, производится по формуле (9.5).

$$W_{H1} = V_R \left[1 - \left(\frac{\omega_P}{\omega_{\Pi}} \right)^n \right], \quad (9.5)$$

где V_R принимается по формуле 9.1;

ω_{Π} , ω_P – принимаются по формуле 9.3;

n – показатель степени, зависящий от продольного уклона реки, принимаемый по таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Значения показателя степени n , в зависимости от продольного уклона реки

Продольный уклон реки	Менее 0,0001	0,0001-0,001	0,001-0,01
Значение n	1,0-0,8	0,8-0,5	0,5-0,33

9.3 Расчет процесса заиления с учетом выноса части наносов за пределы водохранилища производится для водохранилища руслового типа при отношении полезного объема водохранилища к полному его объему 0,4 и менее по формулам (9.6)-(9.9).

9.3.1 Определение объема аккумуляции наносов в водохранилище $\Delta W_{a,i+1}$, м³, за расчетный отрезок времени эксплуатации производится по формуле (9.6).

$$\Delta W_{a,i+1} = \frac{R_{cp}}{\rho_{отл}} (1 - \psi_i) \Delta t, \quad (9.6)$$

где R_{cp} – расход наносов, кг/с;

$\rho_{отл}$ – объемный вес отложений, кг/м³;

ψ_i – критерий заиления.

При этом остаточный объем водохранилища определяется по формуле (9.7).

$$W_{i+1} = W_i - \Delta W_{a,i+1}, \quad (9.7)$$

где W_i – объем водохранилища в начале расчетного периода эксплуатации, м³;

W_{i+1} – объем водохранилища в конце расчетного периода эксплуатации, м³;

$\Delta W_{a,i+1}$ – объем аккумуляции наносов, м³.

Расчет следует производить задаваясь значениями величины Δt от 1 до 200 лет. Расчет заканчивается, когда объем заиления становится близким к предельному объему заиления, а емкость водохранилища свободная от наносов становится равной объему русла, при котором обеспечивается транзит наносов в нижний бьеф при значении критерия ψ_i равном 0,95-0,99.

9.3.2 Определение расхода наносов R_{cp} , кг/с, производится по формуле (9.8).

$$R_{cp} = Q S_{cp}, \quad (9.8)$$

где Q – среднегодовой расход воды, м³/с;

S_{cp} – средняя мутность потока воды, кг/м³, определяется по данным наблюдений стока наносов.

9.3.3 Определение критерия заиления ψ_i производится по формуле (9.9).

$$\psi_i = \frac{H_P}{H_{B_i}} \left(\frac{\omega_P}{\omega_{B_i}} \right)^{2,8}, \quad (9.9)$$

где H_P – среднее значение глубины реки, м;

H_{B_i} – среднее значение глубины водохранилища с учетом заиления, м;

ω_p – среднее значение площади поперечного сечения реки, м²;

ω_{Bi} – среднее значение площади поперечного сечения водохранилища с учетом заиления, м².

9.4 При объеме отложений, поступающих в водохранилище при абразионной переработке берегов более 3 % расчетного объема водохранилища, их поступление должно учитываться при расчетах процесса заиления по формулам (9.2) – (9.9).

Поступление отложений от абразионной переработки берегов следует добавлять к годовому объему отложений, получаемых при осаждении взвешенных наносов в начальный период эксплуатации водохранилища. Годовое поступление отложений от абразионной переработки берегов $W_{БЕР}^{ГОД}$, м³, рассчитывается по формуле (9.10).

$$W_{БЕР}^{ГОД} = \frac{W_{БЕР}^{СУМ}}{t}, \quad (9.10)$$

где $W_{БЕР}^{СУМ}$ – суммарный объем переработки за время полного затухания абразионных явлений, м³;

t – длительность периода от начала эксплуатации до практически полного затухания абразионных явлений, лет.

Длительность периода от начала эксплуатации до практически полного затухания абразионных явлений принимается по данным наблюдений проводимых при технической эксплуатации водохранилищ аналогичного типа. При отсутствии данных наблюдений допускается принимать длительность периода от начала эксплуатации до практически полного затухания абразионных явлений 5-7 лет.

9.5 Расчет распределения наносов по площади водохранилища по участкам следует производить при необходимости оценки влияния отложения наносов на эксплуатацию водозаборов, причалов и других сооружений расположенных вне плотины водохранилища. Расчеты следует выполнять путем деления водохранилища на расчетные участки и последовательного определения от вышерасположенных участков к ниже расположенным объемов отложившихся наносов на основании оценки транспортирующей способности потока. Порядок расчета приведен в приложении В.

10 Оценка размыва русла и понижения уровней воды в нижнем бьефе водохранилища

10.1 Оценка размыва русла и понижения уровней воды в нижнем бьефе водохранилища производится для условий равномерного движения воды в нижнем бьефе при руслообразующем расходе принимаемом равным максимальному расходу с вероятностью превышения 50 %. Русло принимается в виде призматического канала с шириной B , м. Величина B определяется по морфологическим данным. Расчетная схема для определения размыва русла и понижения уровней воды в нижнем бьефе водохранилища приведена на рисунке 10.1.

10.2 Объем размыва грунта ΔW , м³, за период время Δt , лет, с момента начала эксплуатации водохранилища, до достижения фронта размыва створа, удаленного от гидроузла на расстояние x_i производится по формуле (10.1).

$$\Delta W = \frac{B}{2} [(h_1 - h_0)(x_i - x_1) + \Delta H x_i] \quad (10.1)$$

где B – ширина русла, м, принимаемая согласно требований 10.1;

h_1 – средняя глубина размыва, м;

h_0 – глубина потока при пропуске руслообразующего расхода $Q_{рф}$, м;

x_i – расстояние от гидроузла до расчетного створа, м;

x_1 – длина участка местного размыва, м, определяется гидродинамическим расчетом.
 Допускается принимать длину участка местного размыва равной 200-500 м;
 ΔH – понижение уровня воды в створе гидроузла, м.

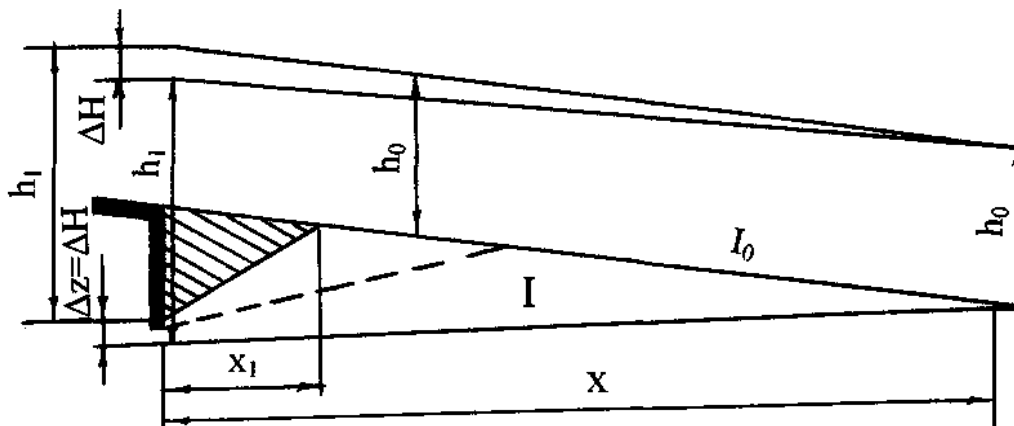


Рисунок 10.1 – Схема к расчету размыва русла и понижения уровней воды в нижнем бьефе водохранилища

10.3 Глубина потока h_0 , м, при пропуске руслообразующего расхода $Q_{рф}$, определяется по формуле (10.2).

$$h_0 = \left(\frac{Q_{рф} n}{B \sqrt{I_0}} \right)^{0,6}, \quad (10.2)$$

где $Q_{рф}$ – руслоформирующий расход, м³/с;

n – коэффициент шероховатости русла;

B – ширина русла, м;

I_0 – уклон дна русла, определяется по морфологическим данным.

10.4 Средняя глубина размыва h_1 , м, при руслоформирующем расходе $Q_{рф}$, соответствующая средней критической неразмывающей скорости потока V_H , рассчитывается по формуле (10.3).

$$h_1 = \frac{Q_{рф}}{V_H}, \quad (10.3)$$

где $Q_{рф}$ – руслоформирующий расход, м³/с;

V_H – средняя критическая неразмывающая скорость потока, м/с.

10.5 Определение средней критической неразмывающей скорости V_H , м/с, производится по зависимости (10.4).

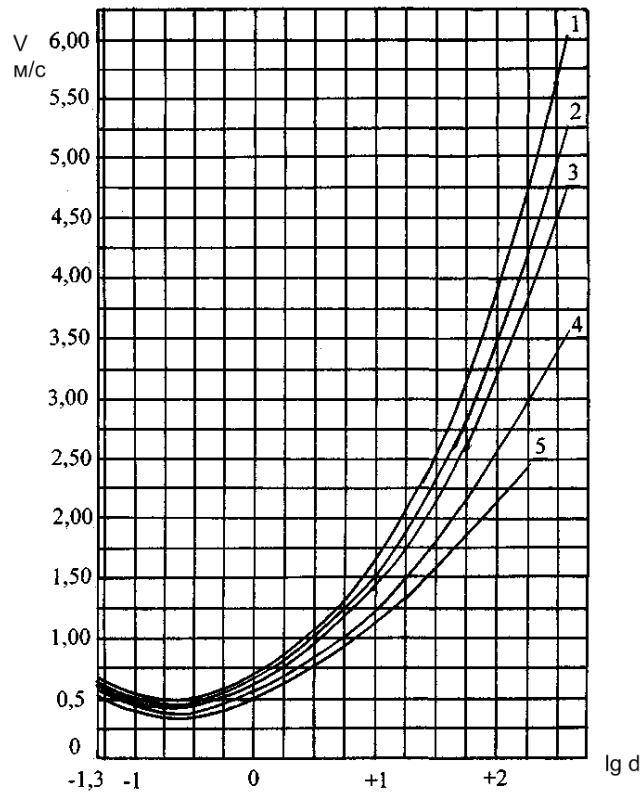
$$V_H = B_{унл} \sqrt{0,001 d_{cp}} \ln \left(\frac{R}{0,007 d_{cp}} \right), \quad (10.4)$$

где $B_{унл}$ – коэффициент, характеризующий уплотненность грунтов (для уплотненных грунтов принимается равным 4,4, для рыхлых 3,75);

R – гидравлический радиус поперечного сечения, рассчитанный при соответствующем уровне воды, м;

d_{cp} – средний диаметр частиц грунта влекомых наносов, мм.

Допускается определять среднюю критическую неразмывающую скорость V_H , м/с, по графику, приведенному на рисунке 10.2, в зависимости от диаметра частиц d , мм, и глубины h , м, потока.



1 – $h=10\text{м}$; 2 – $h=5\text{м}$; 3 – $h=3\text{м}$; 4 – $h=1\text{м}$; 5 – $h=0,5\text{м}$

Рисунок 10.2 – График для определения критической неразрывающей средней скорости V_H , м/с

10.6 Определение понижений уровня воды ΔH , м, в створе гидроузла производится по формуле (10.5).

$$\Delta H = (I_0 - I_f) x - h_1 + h_0 + \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2, \quad (10.5)$$

где \mathcal{E}_1 – удельная энергия в поперечном сечении створа гидроузла, м;
 \mathcal{E}_2 – удельная энергия в поперечном сечении расчетного створа, м;
 I_0 – уклон дна русла в бытовых условиях;
 I_f – уклон трения.

Остальные обозначения принимать по формуле (10.1).

10.7 Уклон трения рассчитывается по формуле (10.6).

$$I_f = \frac{Q_{p\phi}^2 n^2}{B^2 h_{cp}^{10/3}}, \quad (10.6)$$

где $Q_{p\phi}$ – руслоформирующий расход, м³/с;
 n – коэффициент шероховатости русла;
 B – ширина русла, м;
 h_{cp} – средняя глубина размыва, м.

Средняя глубина размыва h_{cp} , м, определяется по формуле (10.7).

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_0}{2}, \quad (10.7)$$

Обозначение параметров принимать по формуле (10.1).

10.8 Определение удельных энергий в сечениях в створе гидроузла \mathcal{E}_1 , м, и расчетном створе \mathcal{E}_2 , м, производится по формулам (10.8)-(10.9).

$$\mathcal{E}_1 = h_1 + \frac{\alpha_k Q_{p\phi}^2}{2gB^2 h_1^2}, \quad (10.8)$$

$$\Xi_2 = h_0 + \frac{\alpha_k Q_{p\phi}^2}{2gB^2 h_0^2}, \quad (10.9)$$

где α_k – коэффициент Кориолиса;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Остальные обозначения принимать по формулам (10.1) и (10.2).

10.9 Определение времени размыва Δt , с, за которое происходит размыв грунта объемом ΔW , м³, производится по формуле (10.10).

$$\Delta t = \rho_{zp} \Delta W / (\rho_1 G), \quad (10.10)$$

где ρ_{zp} – плотность грунта дна, кг/м³;

ΔW – объем размываемого грунта за время Δt , м³;

ρ_1 – плотность наносов, кг/м³;

G – транспортирующая способность потока, м³/с.

10.10 Определение транспортирующей способности потока G , м³/с, осуществляется по формуле (10.11).

$$G = \frac{1 + \varphi}{2200} V_H d (V/V_H)^{4,33} B \quad (10.11)$$

где φ – параметр турбулентности, определяемый в зависимости от температуры воды и диаметра частиц наносов с использованием таблицы 10.1;

d – крупность влекомых наносов, исходя из равнотерности грунтов русла, мм;

V – средняя скорость потока, м/с;

V_H – средняя критическая неразмывающая скорость потока, м/с, определяется по зависимости (10.4);

B – ширина русла, м.

Таблица 10.1 – Значения параметра турбулентности, φ

Диаметр частиц грунта, мм	Температура воды, °С			
	5	10	15	20
0,06	21	18,2	15,8	14,0
0,1	9,75	8,40	7,3	6,5
0,2	3,95	3,55	3,25	3,0
0,4	2,27	2,18	2,09	2,0
0,6	1,76	1,71	1,67	1,63
0,8	1,48	1,44	1,42	1,40
1,0	1,29	1,28	1,25	1,24
1,2	1,18	1,16	1,15	1,13
1,4	1,04	1,03	1,02	1,04
1,5	1,00	1,00	1,00	1,00

10.11 Средняя скорость потока V , м/с, принимается по результатам расчетов скоростного режима по требованиям 6.5, 6.6. Допускается среднюю скорость потока рассчитывать по формуле (10.12).

$$V = \frac{Q_{p\phi}}{h_0 B}, \quad (10.12)$$

где $Q_{p\phi}$ – руслоформирующий расход, м³/с.

Остальные обозначения принимать по формуле (10.1).

11 Прогноз изменения качества воды

11.1 Общие положения

11.1.1 Долгосрочное прогнозирование качества воды при создании водохранилища должно включать:

- анализ современного состояния качества воды водотока,
- установление расчетного объема водохранилища,
- прогноз поступления загрязняющих веществ в водохранилище из различных источников,
- прогноз концентраций веществ в водохранилище,
- разработку рекомендаций по рациональному использованию и охране вод.

11.1.2 При разработке прогноза формирования качества воды, водной экосистемы с учетом влияния различных источников загрязнения в проектных условиях данные предпроектных изысканий должны использоваться как фоновые.

11.1.3 При прогнозе устанавливаются три периода:

- наполнение водохранилища (обычно 1, реже 2 весенних сезона),
- достижение устойчивого гидрохимического режима с предельной минерализацией (до 3-5 лет),
- регулярная эксплуатация водохранилища (неопределенно долгое время).

11.1.4 Величины стока берутся для среднемноголетних расходов воды 50 % ВП, целесообразно производить расчет для маловодных условий летне-осенней межени 95 % ВП, предусматривая наихудшие условия.

11.1.5 В зависимости от целей прогноза и полноты имеющихся материалов за расчетный период берут для оценки размещения водохранилища – период наполнения водохранилища, после размещения водохранилища – сезон. Необходимо выполнение условия: объем оттока $W_{см}$, м³, меньше начального объема водохранилища W_0 , м³, иначе нарушается целостность процесса пополнения водохранилища.

11.1.6 Определение минерализации проводится путем расчета водно-солевого баланса при условии полного перемешивания воды во всем объеме водохранилища за расчетный период времени, T . Начальная концентрация загрязняющих веществ C_0 , мг/дм³, принимается для всего водохранилища.

11.1.7 Для расчетов водно-солевого баланса для водохранилищ руслового типа (при вытянутом по длине водоеме) следует учитывать динамику процесса вытеснения воды водохранилища поступающей водой питающего водотока. В данном случае следует разделить водохранилище на отдельные участки по их морфологическим особенностям и проводить расчет водно-солевого баланса по отдельным участкам последовательно, от верхних участков к нижним.

11.2 Расчет водно-солевого баланса водохранилищ

11.2.1 Расчеты водно-солевого баланса следует применять для определения минерализации воды, а также для определения концентраций отдельных веществ. Расчет производится путем определения баланса поступающей в водохранилище и отводимой из водохранилища воды с учетом содержащихся в ней веществ.

Количество солей в водохранилище S_T , кг, через расчетный промежуток времени T определяется из уравнения (11.1).

$$S_T = \left[S_0 + S_{np} + S_{зр} - (S_{см} + S_{фил} + S_{заб}) \right] + S_{эл} \pm (S_{ло} + S_{ос-раств} + S_{бр} + S_{бер}), \quad (11.1)$$

где S_0 – количество солей, содержащихся в воде водохранилища в начальный момент времени, кг;

S_{np} – количество солей, вносимых притоками, кг;

$S_{зр}$ – количество солей, вносимых с грунтовыми водами, кг;

$S_{см}$ – количество солей, выносимых со стоком, кг;

ТКП 17.06-06-2012

$S_{фил}$ – количество солей, выносимых при фильтрации через плотину, кг;

$S_{заб}$ – количество солей, выносимых при заборе воды из водохранилища, кг;

$S_{эол}$ – количество солей, вносимых с атмосферными осадками и пылью, кг;

$S_{ло}$ – количество солей при ледообразовании и ледотаянии, кг;

$S_{ос-рств}$ – количество осажденных и растворенных солей, кг;

$S_{бр}$ – количество солей, поглощенных и выделенных при биологических процессах, кг;

$S_{бер}$ – количество солей при потерях и растворении в береговой полосе при колебаниях уровня водохранилища, кг.

При отсутствии отдельных данных допускается принимать $S_{бр}$ равным $S_{фил}$ и учитывать только первую часть уравнения, заключенную в квадратные скобки.

11.2.2 Для определения прогнозной концентрации загрязняющих веществ используется формула (11.2).

$$C_T = \frac{C_0 W_0 + C_{np} W_{np} - C_{cm} W_{cm}}{W_0 + W_{np} - W_{cm} - W_u}, \quad (11.2)$$

где C_0 – начальная концентрация загрязняющих веществ в водохранилище, мг/дм³;

W_0 – начальный объем водохранилища, м³;

C_{np} – концентрация загрязняющих веществ в воде поступающей в водохранилище, мг/дм³;

W_{np} – объем поступающей в водохранилище воды, м³;

$C_{ст}$ – концентрация загрязняющих веществ в воде, отводимой и забираемой из водохранилища, мг/дм³;

$W_{ст}$ – объем воды, отводимой и забираемой из водохранилища, м³;

$W_{и}$ – объем воды, испаряющейся за расчетный период с водной поверхности водохранилища, за вычетом осадков, выпадающих за это же время на водную поверхность водохранилища.

11.2.3 Концентрация ионов стока воды из водохранилища определяется из условия, что за период времени T в водохранилище происходит полное перемешивание и концентрация ионов стока воды из водохранилища $C_{ст}$, мг/дм³, меняется линейно и рассчитывается по зависимости (11.3).

$$C_{cm} = \frac{C_0 W_0 + C_{np} W_{np} - 0,5 C_{cm} W_{cm}}{W_0 + W_{np} - 0,5 W_{cm} - W_u} \quad (11.3)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (11.2).

11.2.4 При отсутствии данных по объемам воды, испаряющихся с водной поверхности, для расчетов концентрации ионов стока воды из водохранилища $C_{ст}$, мг/дм³, допускается использовать зависимость (11.4).

$$C_{cm} = \frac{C_0 W_0 + C_{np} W_{np}}{W_0 + W_{np}}, \quad (11.4)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (11.2).

11.2.5 Для прогноза концентраций минеральных, биогенных и органических веществ в водохранилище используется метод, основанный на расчете смешения и разбавления вод. Расчет производится по формуле (11.5).

$$C = C_{\phi} + \frac{G_i - C_{\phi} W_i e^{-k\tau_i}}{\gamma_i W_{\phi} + W_i}, \quad (11.5)$$

где C – средняя за расчетный период концентрация загрязняющего вещества в расчетном створе, мг/дм³;

C_{ϕ} – средняя за расчетный период концентрация загрязняющего вещества в фоновом створе, принимается створ в реке выше водохранилища, мг/дм³;

G_i – суммарное количество загрязняющего вещества, поступающего в водохранилище от i -того источника загрязнения за расчетный период, г;

W_i – расход i -того источника загрязнения за расчетный период, м³;

W_ϕ – расход 95 % вероятности превышения в фоновом створе, м³;

γ_i – коэффициент смешения;

e – экспоненциальная функция;

k – коэффициент скорости самоочищения воды от загрязняющего вещества, 1/сут., определяется на основании данных изысканий или проведении исследований. При отсутствии указанных данных допускается значения коэффициентов скорости самоочищения принимать по таблицам 11.1–11.2;

τ_i – время добега воды от i -того источника загрязнения до расчетного створа, сут.

Таблица 11.1 – Ориентировочные значения коэффициентов скорости самоочищения воды водоемов от некоторых загрязняющих веществ k

Вещества и групповые показатели химического состава воды	Значения k (10^{-5} 1/сут.) при температуре воды, °С		
	менее 10	от 10 до 15	более 15
Азот аммонийный	0,23	0,35	0,58
Бензин	0,02	0,06	0,09
БПК ₅	0,12	0,23	0,35
БПК _{полн}	0,02	0,07	0,12
Нефтепродукты (обобщенные показатели)	0,0	0,03	0,05
СПАВ (обобщенный показатель)	0,06	0,12	0,18
Спирты (амиловый, гептиловый, изобутиловый, метиловый, пропиловый, этиловый)	0,07	0,24	0,35
Фенол (обобщенный показатель)	0,05	0,09	0,12
Формальдегид	0,23	0,81	1,16
Фосфорорганические пестициды (обобщенный показатель)	0,05	0,07	0,09
Хлорорганические пестициды (обобщенный показатель)	0,01	0,01	0,02
ХПК	0,01	0,01	0,02
Целлюлоза	0,0006	0,002	0,002

Таблица 11.2 – Ориентировочные значения коэффициентов скорости самоочищения речной воды от некоторых загрязняющих веществ k

Вещества и групповые показатели химического состава воды	Значения k (10^{-5} 1/сут.) при температуре воды, °С		
	менее 10	от 10 до 15	более 15
Ионы аммония (NH_4^+)	1,04	2,08	3,12
Медь	0,69	1,38	2,08
БПК ₅	0,57	1,15	1,73
СПАВ анионактивные	0,34	0,69	1,04
БПК _{полн}	0,23	0,57	0,81
Фенолы	0,23	0,46	0,69
Цинк	0,11	0,34	0,69
ХПК	0,11	0,23	0,34
Нефтепродукты	0,11	0,23	0,34
Железо общее	0,11	0,23	0,34
Никель	0,11	0,23	0,34
Хром	0,11	0,23	0,34
Фосфорорганические пестициды	0,04	0,06	0,10
Хлорорганические пестициды	0,01	0,01	0,02

11.2.6 Для прогноза изменения качества воды в нижнем бьефе водохранилища используется аналитическая зависимость (11.6).

$$C = C_p e^{-kt}, \quad (11.6)$$

ТКП 17.06-06-2012

где C – концентрация вещества в нижнем бьефе водохранилища, мг/дм³;
 C_p – концентрация вещества в реке, питающей водохранилище, мг/дм³;
 k – коэффициент скорости самоочищения воды водохранилища от загрязняющего вещества, 1/сут.;

t – время однократной замены водной массы водохранилища или реки на его участке (условный показатель водообмена), сут.

Условный показатель t водообмена – время, в течение которого произошла бы замена водной массы водохранилища, если бы воды притока не смешивались с водами водохранилища, а вытесняли их к створу вытекающих из него вод.

12 Прогноз влияния ледовых явлений на гидротехнические сооружения

12.1 Прогноз максимальных зажорных и заторных уровней воды

Ежегодная вероятность превышения максимальных зажорных (заторных) уровней определяется по формуле (12.1).

$$P = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (12.1)$$

где m – порядковый номер членов ряда превышения уровней, расположенных в убывающем порядке;

n – общее число членов ряда.

12.2 Прогноз воздействия ледовых явлений

12.2.1 При расчете воздействий ледовых явлений на сооружения следует определять динамическое воздействие от ударов плавающих льдин и статического давления ледяного покрова на сооружения.

12.2.1.1 Динамическое давление при ударе свободно плавающих льдин под углом от 80° до 90° между фронтом сооружения и направлением движения льдин следует определять по формуле (12.2).

$$P_{\delta} = K V_{cp} \delta \sqrt{lb} \quad (12.2)$$

где K – коэффициент, принимаемый по справочным данным для условий начальной стадии ледохода при коротком потеплении (K равно 6 сек кг/м³) и условий наивысшего уровня ледохода или на уровне начальной стадии ледохода при длительном таянии (K равно 4,3 сек кг/м³);

V_{cp} – средняя скорость движения льдин, м/с;

δ – толщина льда, принимаемая максимальной по данным наблюдений, м;

l и b – длина и ширина льдин, м.

12.2.1.2 Динамическое давление при ударе свободно плавающих льдин под углом менее 80° между фронтом сооружения и направлением движения льдин определяется по формуле (12.3).

$$P_{\delta} = c V_{cp} \delta^2 \sqrt{\frac{lb}{\mu lb + \lambda \delta^2}} \quad (12.3)$$

где μ – отношение тригонометрических функций угла φ ($\cos^2\varphi/\operatorname{tg}^2\varphi$), при средней величине угла $\varphi=45^\circ$ $\mu=0,5$;

c и λ – коэффициенты, принимаемые по справочным данным для условий начальной стадии ледохода при коротком потеплении (c равно 136 сек т/м³; λ равно 500) и условий наивысшего уровня ледохода или на уровне начальной стадии ледохода при длительном таянии (c равно 136 сек т/м³; λ равно 1000).

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (12.2).

12.2.2 Статическое давление, воспринимаемое сооружением от навала ледяного поля вследствие ветра или течения при длине ледяного поля меньше 1200 м, определяется по формуле (12.4).

$$P_n = \left(0,3 + \frac{1}{1000} \right) V_{cp}^2 B, \quad (12.4)$$

где P_n – статическое давление, Па;

B – ширина ледяного поля, м.

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (12.2).

12.2.3 Статическое давление ледяного покрова вследствие термического расширения сплошного ледяного покрова определяется согласно 12.2.3.1, 12.2.3.2.

12.2.3.1 При протяженности ледяного покрова между сооружением и противоположным ему упором менее 50 м статическое давление ледяного покрова определяется по формуле (12.5).

$$P_T = 0,9\delta(t_0 + 1) \sqrt[3]{\frac{t_0}{s} (t_0 + 1)^2}, \quad (12.5)$$

где P_T – статическое давление, Па;

t_0 – наибольшее возможное непрерывное повышение температуры ледяного покрова в градусах в течение s часов, принимаемое равным $0,35t$, где t – повышение температуры воздуха за этот же период времени;

s – длительность непрерывного повышения температуры воздуха в часах. При

отсутствии метеорологических данных соотношение $\frac{t_0}{s}$ принимается равным $\frac{6}{t}$.

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (12.2).

12.2.3.2 При протяженности ледяного покрова от 50 до 150 м для условий наиболее тяжелых температурных изменений статическое давление определяется по таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Статическое давление P_T ледяного покрова вследствие его термического расширения

в Па

Толщина ледяного покрова δ , м	Статическое давление P_T ледяного покрова при длине ледяного покрова			
	150 м и более	100 м	75 м	50 м
1,5	28	39	47	55
1,2	20	25	30	36
1,0	15	19	23	27
0,7	10	13	17	20
0,3	7	8	10	13

12.2.4 Вертикальное (поднимающее, выдергивающее) воздействие, передаваемое сооружению примерзающим к нему ледяным покровом при повышении уровня воды под ним определяется по формуле (12.6).

$$P_s = \frac{300\delta^2}{\ln\left(\frac{50\delta}{D}\right)}, \quad (12.6)$$

где P_s – вертикальное (поднимающее, выдергивающее) воздействие, Па;

D – диаметр сваи или опоры, м.

Обозначения остальных параметров принимать по формуле (12.2).

12.2.5 Допускаются расчеты по определению волновых и ледовых нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения согласно ТКП 45-3.04-170.

13 Оценка вероятных чрезвычайных (аварийных) ситуаций, оценка зон вероятного затопления

13.1 Математическая модель оценки чрезвычайных ситуаций предназначена для прогноза движения волны прорыва в случае аварии или разрушения плотины.

13.2 Движение волны прорыва, возникающей при разрушении гидротехнических сооружений, описывается уравнениями Сен-Венана в форме для непрерывных и разрывных течений в зависимости от числа Фруда (Fr) [3].

При Fr меньше 1 следует использовать методику, описанную в [2], при Fr больше либо равно 1 – [5-7].

13.3 В результате решения уравнения неравномерного движения (6.1) с учетом расчетов гидравлических параметров определяется начальное состояние водного объекта до прорыва плотины: уровни и расходы воды, средние в поперечных сечениях скорости течения воды, уклоны водной поверхности и дна.

13.4 Исходная морфометрическая информация должна включать координаты поперечных сечений русла и поймы по водохранилищу и участку реки выше окончания кривой подпора водохранилища, а также по участку реки в нижнем бьефе, с максимальной длиной участка, на который может распространиться влияние волны прорыва, локальные вдоль участков периметра коэффициенты шероховатости, которые приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Значения коэффициентов шероховатости для естественных водотоков

Характеристика русла	Коэффициент шероховатости
Естественное русло в благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением)	0,025-0,033
Естественное русло в благоприятных условиях с камнями	0,03-0,04
Периодические потоки (большие и малые при хорошем состоянии поверхности и форме ложа)	0,033
Земляные русла сухих логов в относительно благоприятных условиях	0,04
Русла периодических водотоков несущих во время паводка заметное количество наносов с крупногалечниковым или покрытым растительностью ложем. Периодические водотоки сильно засоренные и извилистые	0,05
Чистое извилистое ложе с небольшим числом промоин и отмелей	0,033-0,045
Извилистое ложе слегка заросшее и с камнями	0,035-0,05
Заросшие участки рек с очень медленным течением и глубокими промоинами	0,05-0,08
Заросшие участки рек болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и др.)	0,075-0,15
Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (трава, кустарник)	0,05
Поймы значительно заросшие со слабым течением и большими глубокими промоинами	0,08
Поймы значительно заросшие с неправильным косоструйным течением, заводьями и др.	0,1
Поймы лесистые со значительными мертвыми пространствами, местными углублениями, озерами и пр.	0,133
Глухие поймы, сплошные заросли (лесные, таежного типа)	0,3

13.4.1 Исходная гидрологическая информация включает расчетные значения расходов и рассчитанных с использованием уравнения неравномерного движения, либо по пропускной способности гидротехнических сооружений (для соответствующих створов) уровней воды заданной ВП. Для расчетов волны прорыва принимаются следующие гидрологические условия:

- максимальные расходы воды весеннего половодья 1 % ВП;
- максимальные расходы воды дождевых паводков 10 % ВП;
- среднемеженные расходы воды 50 % ВП.

13.4.2 Для расчетов волны прорыва необходима кривая объемов водохранилища $w(h)$, которая характеризует зависимость объема водохранилища от уровня воды.

13.5 При расчете неустановившегося движения в случае разрушения плотины в зависимости от числа Фруда необходимо выполнять расчет движения волны прорыва в два этапа:

- расчет движения сверхкритических (бурных) потоков;
- расчет неустановившегося движения воды в открытых руслах.

13.6 Визуализация зон вероятного затопления территории осуществляется с помощью цифровой модели на картографической основе масштаба 1:25 000 или крупнее.

На цифровой модели отображаются следующие дополнительные характеристики территории:

- глубина воды на затопленной территории;
- скорость течения воды по пойме и другим затопливаемым территориям;
- направления течения воды по затопленной территории;
- время стояния воды на затопливаемой территории;
- время подхода волны при прорыве плотины.

Приложение А
(справочное)

Материалы для расчетов возможной переработки берегов водохранилища

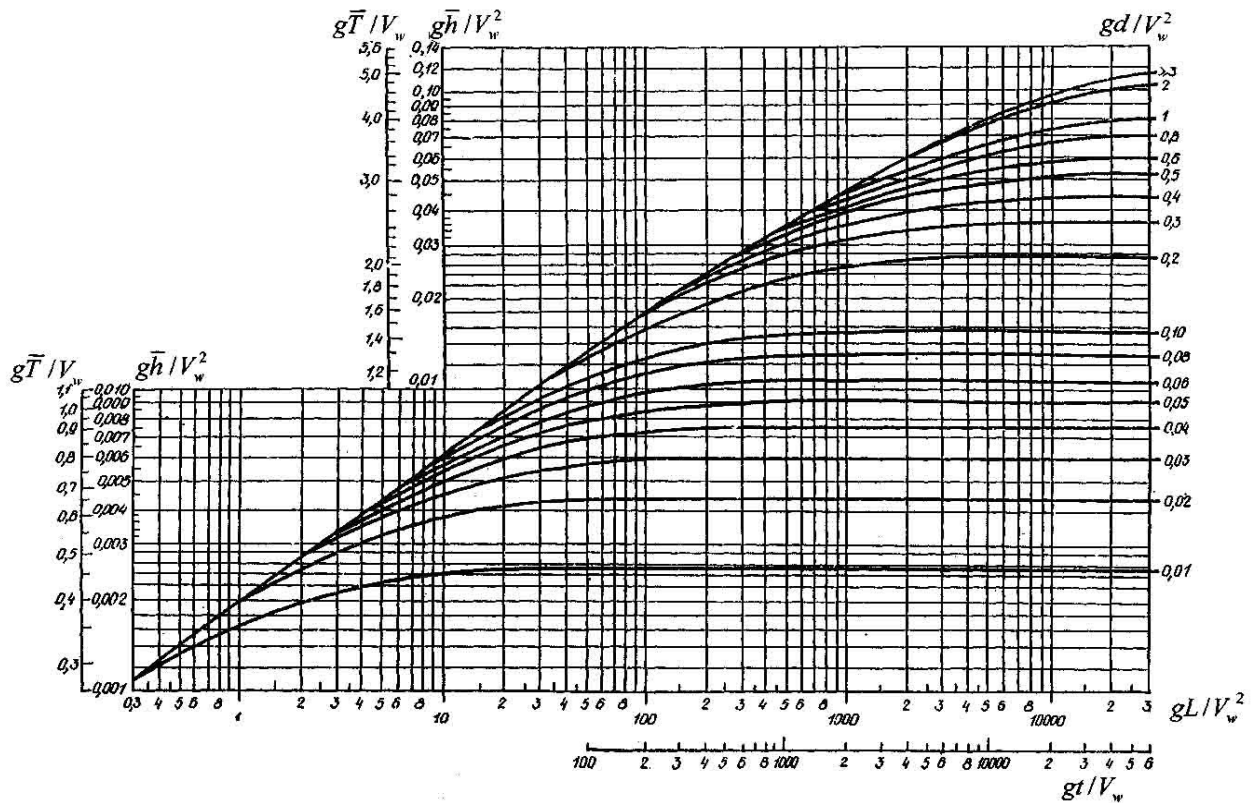


Рисунок А.1 – График для определения элементов ветровых волн, средней высоты волны \bar{h} и периода \bar{T}

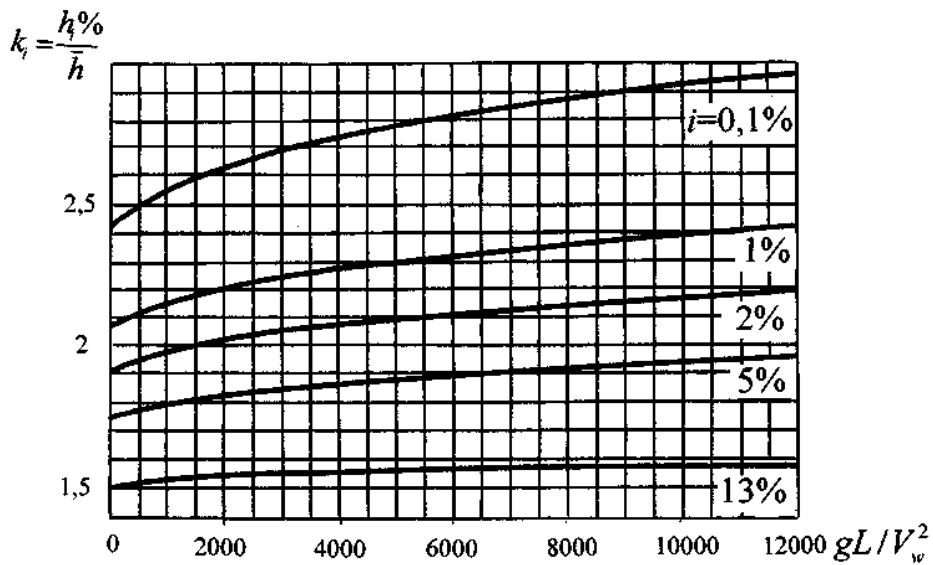


Рисунок А.2 – График для определения значений коэффициента k_i

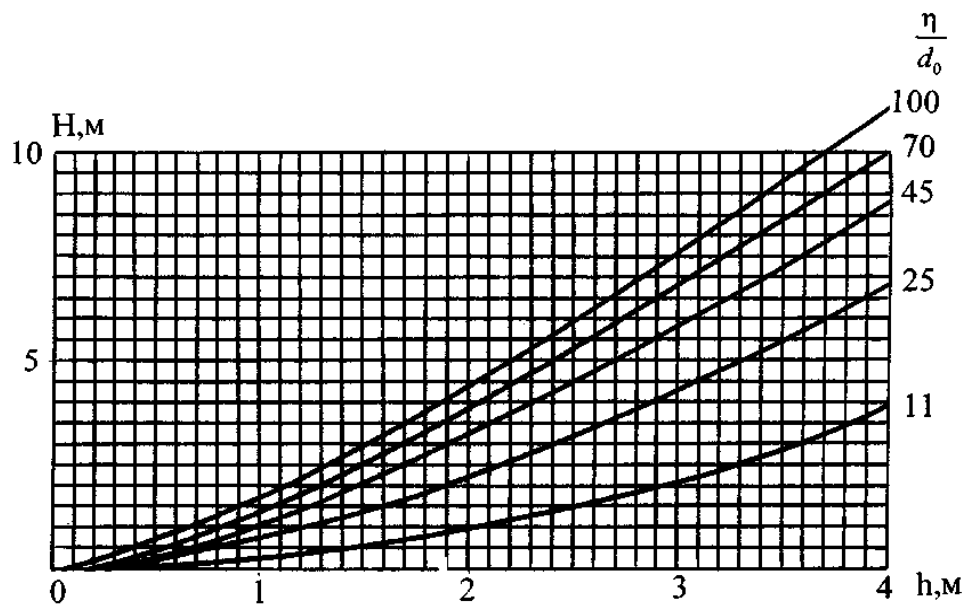


Рисунок А.3 – График для определения глубины H размывающего действия волны в зависимости от расчетной высоты h волны и значений показателя устойчивости частиц η/d_0

Таблица А.1 – Характеристики профиля устойчивой береговой отмели

Порода	Диаметр частиц d_0 , мм	Уклон береговой отмели		Показатель устойчивости частиц η/d_0
		на урезе m_n	на условной глубине m_0	
Ил	0,001 – 0,01	-	-	-
Пыль	0,01 – 0,1	0,005	0,001	100
Песок мелкий	0,1 – 0,25	0,03	0,005	70
Песок средний	0,25 – 0,50	0,07	0,01	70
Песок крупный	0,50 – 1,0	0,14	0,02	70
Гравий мелкий	1,0 – 2,0	0,19	0,03	45
Гравий средний	2,0 – 5,0	0,21	0,05	45
Гравий крупный	5,0 – 10,0	0,25	0,08	25
Галечник мелкий	10 – 20	0,30	0,10	11
Галечник средний	20 – 50	0,36	0,15	6
Галечник крупный	50 – 100	0,40	0,20	4

ТКП 17.06-06-2012

$$x = \frac{y^2}{K} + \frac{y}{m_n}, \text{ м}$$

Таблица А.2 – Координаты кривой

m_n	m_o	K	$y, \text{ м}$													
			0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
0,005	0,001	0,025 0	52,5	110,0	172,5	240	390	560	750	960	1190	1440	2000	2640	3370	4160
0,03	0,001	0,020 7	11,4	28,7	52,1	81,6	158,8	259,7	386	535	708	907	1376	1940	2603	3352
0,03	0,005	0,120	8,8	18,7	29,7	41,7	68,8	100,0	135	175	219	267	375	500	642	800
0,07	0,001	0,020 3	6,6	19,5	38,8	64,3	132,4	225,6	344	483	653	847	1303	1858	2520	3264
0,07	0,005	0,108	4,2	9,5	15,9	23,6	42,3	67,7	93,7	126	164	206	304	420	555	70
0,07	0,010	0,233	3,8	8,2	13,1	18,6	31,1	45,7	62,5	81,4	102,5	125	179	240	310	389
0,14	0,001	0,020 1	4,9	16,0	33,3	56,9	122,7	212,3	329	469	635	826	1281	1834	2490	3243
0,14	0,005	0,104	2,4	6,0	10,8	16,8	32,4	52,8	78,1	108	143	183	277	390	523	674
0,14	0,01	0,215	2,1	4,7	8,0	11,8	21,2	32,8	46,9	63,2	81,9	103	152	210	277	354
0,14	0,02	0,467	1,9	3,6	4,6	9,3	15,5	22,8	31,2	40,7	51,2	62,8	89,3	120	155	194
0,19	0,001	0,020 1	4,4	15,1	31,9	55,1	119,9	208,5	324,1	464	628	818	1271	1823	2477	3227
0,19	0,005	0,103	1,9	5,1	9,4	15,0	29,8	49,5	74,0	103	138	177	270	382	514	665
0,19	0,01	0,211	1,6	3,8	6,6	10,0	18,5	29,5	42,8	58,4	76,4	96,8	145	202	269	345
0,19	0,02	0,447	1,4	2,7	5,2	7,5	12,9	19,2	27,1	35,9	45,8	56,8	82,2	112,0	146	185
0,19	0,03	0,712	1,4	2,7	4,0	6,7	11,0	16,1	21,9	28,4	35,6	43,5	61,4	82,1	106	132
0,21	0,001	0,020 1	4,3	14,8	31,6	54,6	119,1	207,5	323	462	627	816	1269	1820	2473	3223
0,21	0,005	0,102	1,8	4,8	9,6	14,5	29,1	48,6	72,9	102	136	175	268	380	512	663
0,21	0,01	0,210	1,5	3,8	6,2	9,5	17,8	28,6	41,7	57,1	75	95,2	143	200	267	343
0,21	0,02	0,442	1,3	2,9	4,8	7,0	12,2	18,6	26,0	34,6	44,4	55,2	80,4	110	144	183
0,21	0,03	0,700	1,3	2,7	4,4	6,2	10,4	15,2	20,8	27,1	34,2	41,9	59,5	80	103	131
0,21	0,05	0,312	1,2	2,6	4,0	5,5	8,8	12,6	16,7	21,1	26,0	31,2	42,8	56,0	70,7	86,8

Приложение Б (справочное)

Пример расчета и построения схемы переформирования склона берега водохранилища

Водохранилище с отметкой НПУ=118,0 м и величиной D сработки уровня воды от НПУ, равной 0,5 м. Склон берега водохранилища сложен песком мелким. Расчетная скорость ветра $V_w = 10$ м/с (4 %-ной обеспеченности). Разгон волн $L=5$ км (для рассматриваемого участка волнового воздействия на берег у населенного пункта).

Требуется найти расчетную высоту h волны и по исходным данным определить предельную ширину зоны разрушения берегового склона путем построения схемы его переформирования (при коэффициенте аккумуляции 0,80).

По величине $(gL/V_w^2) = (9,81 \cdot 5000/10^2) = 490,5$ и верхней огибающей кривой графика на рисунке А.1, приведенном в приложении А, находятся значения $(g\bar{h}/V_w^2) = 0,035$ и $(g\bar{T}/V_w) = 2,4$. По ним определяются средняя высота $\bar{h} = (0,035 \cdot 10^2/9,81) = 0,36$ м и средний период волн $\bar{T} = (2,4 \cdot 10/9,81) = 2,45$ с.

По формуле (8.1) определяется средняя длина волн $\bar{\lambda} = (9,81 \cdot 2,45^2/2 \cdot 3,14) = 9,38$ м.

Расчетную высоту волны $h = k_i \bar{h}$ (обеспеченностью 13 %) определяется при величине $(gL/V_w^2) = 490,5$ по графику на рисунке А.2, приведенном в приложении А, равной $1,505 \cdot 0,36 = 0,54$ м.

По исходным данным строится схема переформирования склона берега водохранилища согласно рисунку Б.1. При этом глубину $H=0,5$ м размывающего действия расчетной волны $h=0,54$ м определяется с помощью графика на рисунке А.3, приведенном в приложении А, при величине $(\eta/d_0) = 70$ согласно таблице А.1, приведенной в приложении А, для песка мелкого, по которой принимаются также значения $m_n = 0,03$ и $m_0 = 0,005$.

Координатные оси, располагаются так, что ось x совмещается с линией НПУ, а ось y направлена вертикально вниз, согласно рисунку Б.1. Значения координат x и y при построении линии профиля устойчивой береговой отмели bfd на криволинейном участке bf принимаются по строке таблицы А.2 со значениями $m_n = 0,03$, $m_0 = 0,005$ и $K = 0,120$.

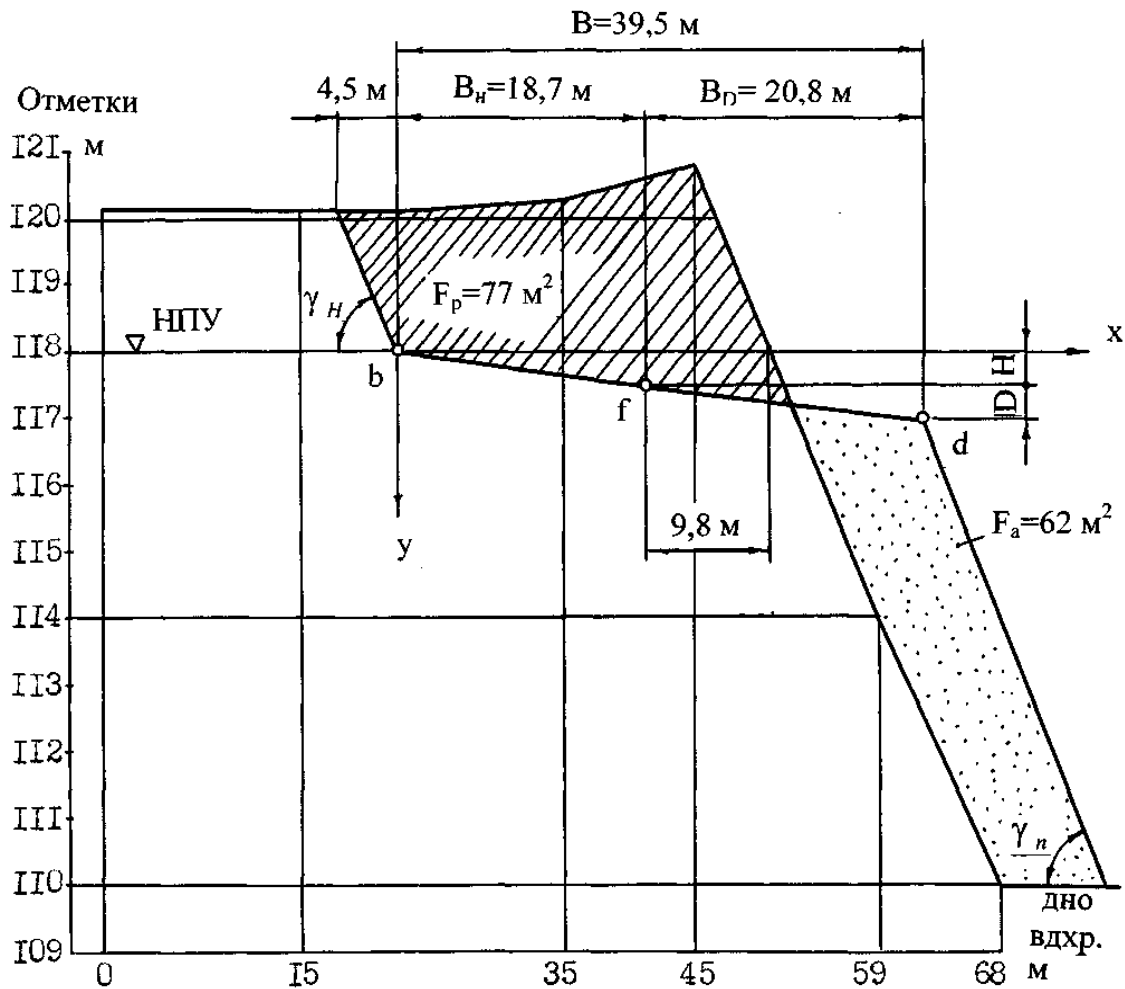
По формуле (8.6) находится ширина криволинейного участка профиля отмели $B_n = (0,5^2/0,12) + (0,5/0,03) = 18,7$ м, а ширина прямолинейного участка fd по формуле (8.7): $B_D = 0,5[(2 \cdot 0,5/0,12) + (1/0,03)] = 20,8$ м. Полная ширина профиля отмели по формуле (8.4) составляет $B = 18,7 + 20,8 = 39,5$ м.

Уклон $tg \gamma_n$ подводного берегового склона принимается равным 0,5, а уклон $tg \gamma_n$ надводного – равным уклону берега в естественном состоянии.

На профиль первоначального берега с нанесенной линией НПУ накладываются профиль береговой отмели bfd с включением подводного и надводного береговых склонов и нанесением линии того же НПУ. Совместив линии общего НПУ, профиль отмели передвигается по линии этого НПУ до такого положения, при котором отношение площади F_a , соответствующей объему аккумуляции, к площади разрушения F_p (заштрихована на рисунке Б.1), будет равно исходному коэффициенту аккумуляции, т.е. $(F_a/F_p) = (62/77) = 0,80$.

Согласно рисунку Б.1 предельная ширина зоны разрушения берегового склона составляет $L_0 = 18,7 + 9,8 + 4,5 = 33,0$ м.

Профиль строится с помощью графических программных средств или путем совмещения рисунков на прозрачной бумаге.



Масштабы:
 1:500 по горизонтали
 1:100 по вертикали

Рисунок Б.1 – Схема переформирования профиля склона берега водохранилища (порода склона – песок мелкий)

Приложение В (справочное)

Расчет заиления водохранилища по участкам

В.1 Расчеты отложения и распределения наносов по площади водохранилища по участкам следует производить при необходимости оценки влияния отложения наносов на эксплуатацию водозаборов, причалов и других сооружений, расположенных вне плотины водохранилища.

В.2 Расчеты следует вести балансовым методом пофракционно с разделением водохранилища на расчетные участки, путем последовательного определения объемов отложившихся наносов от вышерасположенных к ниже расположенным участкам по течению с оценкой, транспортирующей способности потока.

В.3 Разделение водохранилища на расчетные участки следует производить установлением ряда поперечных сечений на плане водохранилища. Начальное сечение назначается вне зоны подпора, конечное – непосредственно перед створом плотины. В верхней части водохранилища следует назначать меньшие расстояния между поперечными сечениями в сравнении с нижней частью водохранилища.

В.4 Схематизацию типовых гидрографов $Q(t)$ и расхода наносов $R(t)$ следует производить выделением 3-4 расчетных интервалов, на которые делится типовой год.

Число расчетных интервалов времени и их длительность устанавливается в соответствии с фазами гидрологического режима реки и режима работы гидроузла и корректируются в процессе расчетов исходя из того, чтобы величина деформации на расчетных участках не превышала 0,25 от глубины воды на расчетном участке.

Расчеты заиления должны сопровождаться гидравлическими расчетами, включающими построение кривых свободной поверхности, определение средних глубин, площадей сечения, скоростей, расходов согласно требованиям 6.

Для каждого расчетного интервала определяются средние значения расхода воды и наносов, которые служат исходными расчетными параметрами при определении заиления.

В.5 Транспортируемый поток взвешенных наносов следует разделить на 3-4 фракции.

В.6 Определение частного стока наносов каждой фракции за расчетный интервал времени производится по формуле (В.1).

$$P_{ij} = \frac{\alpha_{Cpi}}{100} P_j, \quad (B.1)$$

где P_{ij} – сток наносов i -той фракции;

α_{Cpi} – средний для расчетного интервала процент i -той фракции взвешенных наносов, осредненный по сечению;

P_j – сток наносов всех фракций за расчетный интервал времени j .

Заиление взвешенными наносами для расчетного участка производится по формуле (В.2).

$$P_{aj} = \sum_{i=1}^m P_{начj} - Q_{конj} \Delta t_j 10^{-6} \sum_{i=1}^m S_{иконj}, \quad (B.2)$$

где P_{aj} – масса наносов всех фракций, отложившихся на расчетном участке за время Δt_j , кг;

$P_{i нач j}$ – поступление наносов i -той фракции за время Δt_j , с, через начальный створ водохранилища (участка), определяемый по хронологическому графику притока наносов или по данным расчета, выполненного для вышерасположенного участка;

$Q_{кон j}$ – средний за время Δt_j расход воды через конечный створ водохранилища, створ плотины или расчетного участка, м³/с;

$S_{i \text{ кон } j}$ – средняя за время Δt_j частная мутность i -той фракции в конечном створе водохранилища или участка, г/м³.

В.7 Определение мутности потока по участкам водохранилища производится по формуле (В.3).

$$S_{i \text{ кон } j} = S_{i \text{ imp } j} + (S_{i \text{ нач } j} - S_{i \text{ imp } j}) e^{-G_i^* \Delta \tilde{L}}, \quad (\text{В.3})$$

где $S_{i \text{ кон } j}$ – мутность потока по участкам водохранилища, г/м³;

$S_{i \text{ нач } j}$ – среднее значение мутности за интервал времени Δt_j в начальном створе, г/м³;

$S_{i \text{ imp } j}$ – значение мутности, соответствующее частной транспортирующей способности потока (по содержанию i -той фракции), которое вычисляется с использованием средних для интервала времени гидрологических параметров, относящихся к расчетному участку по формуле (В.9);

e – экспоненциальная функция;

G_i^* – параметр, определяемый по формуле (В.4);

$\Delta \tilde{L}$ – относительная длина участка, определяемая по формуле (В.7).

Параметр G_i^* определяется по формуле (В.4).

$$G_i^* = \frac{u_i + k_i}{V_{CP}}, \quad (\text{В.4})$$

где u_i – гидравлическая крупность наносов i -той фракции, м/с;

k_i – скоростная характеристика, м/с, вычисляемая по формуле (В.5);

V_{CP} – средняя скорость потока на участке, м/с.

Скоростная характеристика k_i , м/с, вычисляется по формуле (В.5).

$$k_i = \frac{u_i \Gamma_i}{1 - \Gamma_i}, \quad (\text{В.5})$$

где u_i – гидравлическая крупность наносов i -той фракции, м/с;

Γ_i – гидромеханический параметр для наносов i -той фракции.

Значения Γ_i для наносов i -той фракции определяются в зависимости от коэффициента Шези C , вычисляемого по формуле (В.8), и параметра G_i . Параметр G_i вычисляется для каждой фракции по формуле (В.6).

$$G_i = \frac{u_i}{V_{CP}}, \quad (\text{В.6})$$

где u_i – гидравлическая крупность i -той фракции наносов, м/с;

V_{CP} – средняя скорость потока на участке, м/с.

Относительная длина участка $\Delta \tilde{L}$ определяется по формуле (В.7).

$$\Delta \tilde{L} = \frac{\Delta L}{H_{CP}}, \quad (\text{В.7})$$

где ΔL – длина участка водохранилища, м;

H_{CP} – средняя глубина участка водохранилища, м.

Вычисление значения коэффициента Шези производится по формуле (В.8).

$$C = \frac{V_{CP}}{\sqrt{H_{CP} I}}, \quad (\text{В.8})$$

где V_{CP} – средняя скорость потока на участке, м/с;

H_{CP} – средняя глубина участка водохранилища, м;

I – уклон водной поверхности.

В.8 Значение мутности $S_{i \text{ imp } j}$, г/м³, соответствующей частной транспортирующей способности потока (по содержанию i -той фракции) производится по формуле (В.9).

$$S_{impj} = \frac{\alpha_{CPi}}{100} S_{взм} , \quad (B.9)$$

Средняя мутность потока S_{mp} , г/м³, соответствующая его транспортирующей способности, рассчитывается по формуле (B.10)

$$S_{mp} = \Gamma S_{взм} , \quad (B.10)$$

где Γ – гидромеханический параметр наносов, определяемый по формуле (B.11);
 $S_{взм}$ – мутность взыва, г/м³, рассчитывается по формуле (B.12).

Гидромеханический параметр наносов Γ определяется по формуле (B.11).

$$\Gamma = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{\alpha_{CPi}}{100\Gamma_i}} , \quad (B.11)$$

где m – число фракций взвешенных веществ, в соответствии с принятым в расчете делением на фракции;

$\alpha_{cp i}$ – осредненное по сечению потока процентное содержание i -той фракции в составе взвешенных наносов.

Определение мутности взыва производится по формуле (B.12).

$$S_{взм} = E \frac{V_{CP}^2}{H_{CP}} , \quad (B.12)$$

где E – комбинированный параметр, зависящий от коэффициента Шези C , определяется по графику приведенному на рисунке B.1.

Остальные значения принимать согласно формуле (B.8).

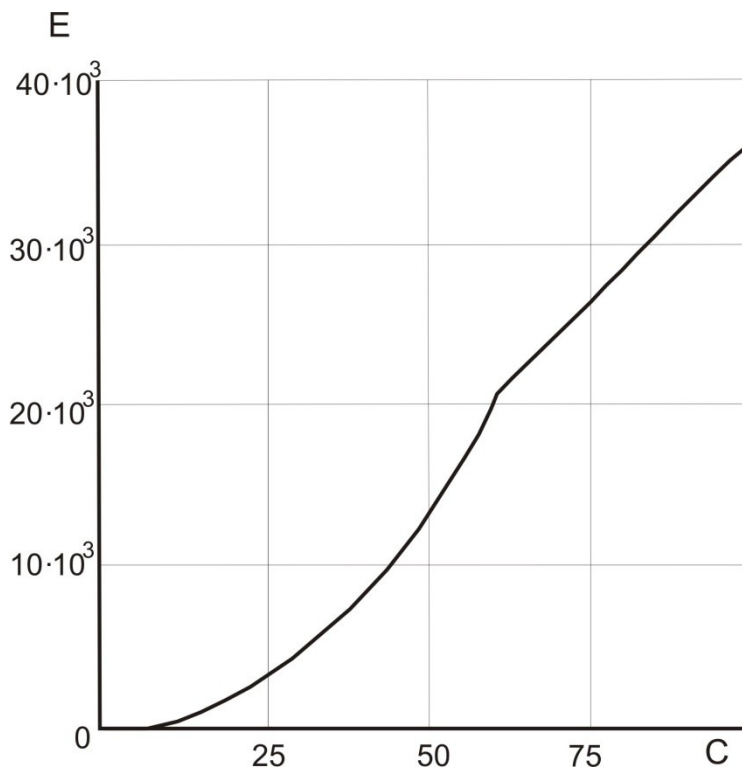


Рисунок B.1 – График для определения комбинированного параметра E

B.9 Для определения массы годовой аккумуляции взвешенных наносов всех фракций отложившихся на расчетном участке следует произвести суммирование величины P_{aj} , кг, за расчетные интервалы времени по зависимости (B.13).

$$P_{a\varrho} = \sum_{j=1}^n P_{aj}, \quad (B.13)$$

где P_{aj} – масса наносов всех фракций, отложившихся на расчетном участке за время Δt_j , кг;

n – число расчетных интервалов времени в году.

В.10 Расчет занесения водохранилища влекомыми наносами следует производить с разделением расчетного периода на интервалы идентичные принятым в расчете отложения взвешенных наносов В.4.

Определение массы влекомых наносов $P_{a\text{вл}j}$, кг, отложившихся на рассматриваемом расчетном участке за время Δt_j , производится по разности влекомых наносов в начальном и конечном створах по формуле (B.14).

$$P_{a\text{вл}j} = 10^{-3} (R_{\text{влнач}j} - R_{\text{влкон}j}) \Delta t_j, \quad (B.14)$$

где $R_{\text{влнач}j}$ и $R_{\text{влкон}j}$ – расходы влекомых наносов в начальном и конечном створах, кг/с, средние за расчетный интервал Δt_j . Определяются по формуле (B.15);

Δt_j – расчетный интервал времени, с.

Определение расхода наносов при пофракционном определении производится по формуле (B.15).

$$R_{\text{вл}} = 24Q\sqrt{I} \left(\frac{RI}{1,6f_0d} - 1 \right), \quad (B.15)$$

где Q – расход воды, м³/с;

I – уклон водной поверхности;

R – гидравлический радиус потока, м;

f_0 – параметр рассчитываемый по формуле (B.16);

d – диаметр донных отложений, м.

Параметр f_0 рассчитывается по формуле (B.16).

$$f_0 = 0,1 \left(\lg 19 \frac{d}{d_{CP}} \right)^{-2}, \quad (B.16)$$

где d – диаметр донных отложений, м;

d_{CP} – средний диаметр донных отложений, м.

В.11 Для определения массы годовой аккумуляции влекомых наносов всех фракций $P_{a\text{вл}\varrho}$, кг, отложившихся на расчетном участке следует произвести суммирование величины P_{aj} , кг, за расчетные интервалы времени по формуле (B.17).

$$P_{a\text{вл}\varrho} = \sum_{j=1}^n P_{a\text{вл}j}, \quad (B.17)$$

где $P_{a\text{вл}j}$ – масса влекомых наносов всех фракций, отложившихся в расчетном участке за время Δt_j , с;

n – число расчетных интервалов времени в году.

Определение суммарной массы, P , кг, отложений влекомых и взвешенных наносов производится по формуле (B.18).

$$P = P_{\text{вз}} - P_{\text{вл}} - P_c, \quad (B.18)$$

где $P_{\text{вз}}$ – масса отложений взвешенных наносов, кг;

$P_{\text{вл}}$ – масса отложений влекомых наносов, кг;

P_c – масса наносов, вынесенных за пределы расчетного участка, кг.

В.12 Пересчет массовых показателей в объемные, м³, производится по формуле (B.19).

$$W = \frac{P}{\gamma_d \alpha_1 + \gamma_s \alpha_2}, \quad (B.19)$$

где γ_d – плотность отложившихся влекомых наносов, кг/м³;

ТКП 17.06-06-2012

γ_B – плотность отложившихся взвешенных наносов, кг/м³;

α_1 – доля влекомых наносов в отложениях;

α_2 – доля взвешенных наносов в отложениях;

P – масса отложившихся на расчетном участке водохранилища наносов, кг.

Плотность отложившихся наносов следует принимать с учетом их уплотнения по данным [4].

Библиография

- [1] Закон Республики Беларусь «О государственной экологической экспертизе» от 9 ноября 2009 г. № 54-З.
- [2] Рогунович, В.П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков / В.П. Рогунович. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 263 с.
- [3] Историк, Б.Л. Численное исследование резко нестационарных течений в открытых руслах / Б.Л. Историк // Гидравлика и фильтрация. – М., 1979. – с.16-27.
- [4] Указания по расчету заиления водохранилищ при строительном проектировании. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 55 с.
- [5] Оценка параметров прорывного паводка при составлении декларации безопасности ГТС / В.В. Беликов [и др.] // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Гидравлика гидротехнических сооружений. – С.-Петербург. – т. 240. – 2002. – с. 145-151.
- [6] Атавин, А.А. О разрывных течениях в открытых руслах / А.А. Атавин, М.Т. Гладышев, С.М. Шугрин // Динамика сплошной среды. – Вып. 22 – 1975. – с.37-63.
- [7] Васильев О.Ф., Гладышев М.Т. О расчете прерывных волн в открытых руслах // Известия АН СССР, Механика жидкости и газа – № 6 – 1966. – с.184-189.
- [8] Пособие по проведению оценки воздействия на окружающую среду водохранилищных ГЭС – Концерн «Белэнерго» – Минск, 2005. – 68 с.