

УДК 712.5(282.3):627.8.059.22

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РИСКООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ГИДРОУЗЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В КАСКАДАХ

Левкевич В.Е., к.т.н., Пастухов С.М.

В публикации представлен анализ каскадного расположения искусственных водных объектов по бассейнам главных рек, а также методика проведения натуральных наблюдений и обследований за рискообразующими факторами, приводящими к возникновению гидродинамических аварий как на одиночных водоемах, так и на водоемах, расположенных в каскадах. Подробно рассмотрен способ регистрации движения донных наносов, а также методика определения высоты волны в глубоководной зоне водохранилищ, в зависимости от длины ее разгона и скорости ветра над поверхностью водоемов. Представлены особенности определения высоты волны для водоемов с простой и сложной конфигурацией береговой линии.

(Поступила в редакцию 23 ноября 2007 г.)

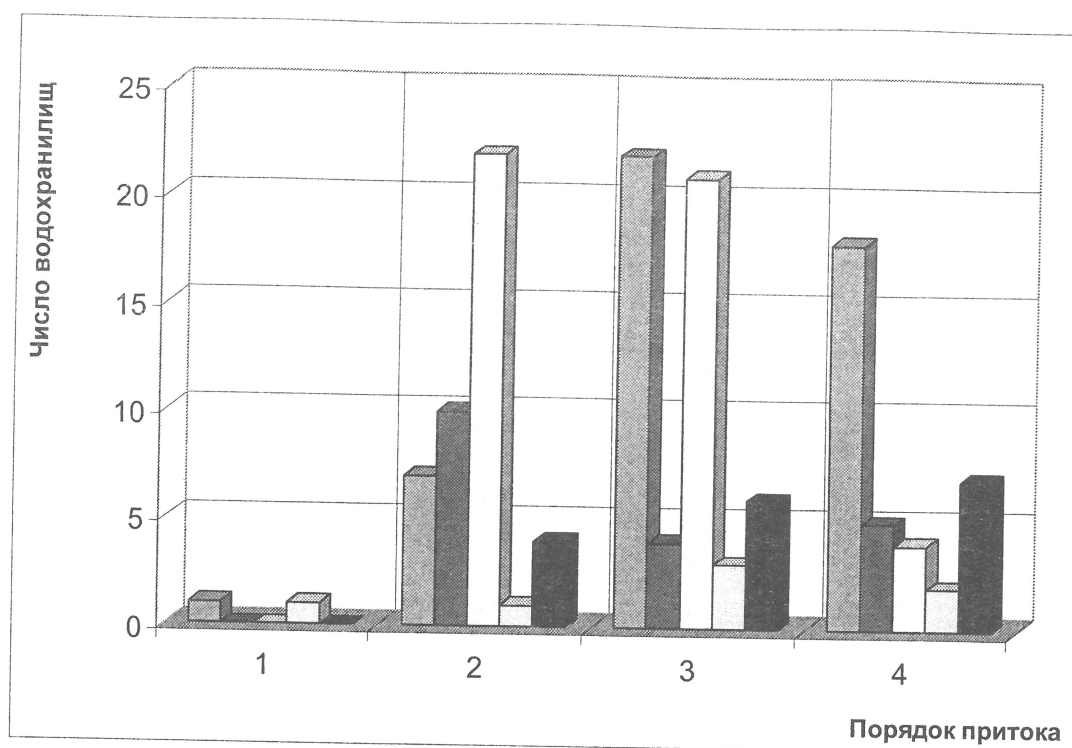
К одной из первых зарегистрированных гидродинамических аварий, сопровождавшихся человеческими жертвами, относится разрушение плотины Пуэнтес на р. Гвадалантин в Испании в 1802 г. Первым разрушившимся каскадом водохранилищ считается каскад в верховьях р. Буффало-крик (1972 г., штат Западная Виргиния в США), при аварии на котором погибло 125 человек, получили травмы свыше 1000 человек, повреждено и уничтожено более 1500 зданий и сооружений, ущерб от аварии составил около 50 млн. долларов [1]. В настоящее время поддержание безопасной эксплуатации искусственных водных объектов является важной задачей. Для Республики Беларусь актуальность проблемы подчеркнута в положениях Республиканской программы энергосбережения на 2006–2010 гг., в соответствии с которыми одним из приоритетных направлений инвестирования проектов по увеличению использования местных топливно-энергетических ресурсов в прогнозируемом периоде является строительство новых гидроэлектростанций и восстановление ранее выведенных из эксплуатации [2].

Более половины от общего количества водохранилищ составляют водоемы руслового типа, на которых преимущественно и создаются каскады. Отличительной особенностью водохранилищ республики является то, что они в основном располагаются не на главных водотоках (Днепр, Западная Двина, Неман, Западный Буг), а на притоках первого – третьего порядка, что усиливает их влияние на значительные расстояния [3–5]. Распределение водохранилищ по притокам главных рек показано на рисунке 1. Из представленной на рисунке 1 диаграммы видно, что наибольшее количество водохранилищ, расположенных в каскадах находится на притоках первого и второго порядка главных рек Припять, Днепр, Неман. Одна из особенностей каскадного расположения водохранилищ заключается в возможности разрушения всех нижележащих водоемов каскада при разрушении вышележащего – т. е. верхней ступени каскада.

Необходимость в проведении натуральных наблюдений за гидрометеорологическими явлениями и процессами переработки берегов обусловлена тем, что большинство исследователей [6] при оценке безопасности искусственных водных объектов учитывают лишь технические параметры, пренебрегая зачастую действием природных факторов. Анализ существующих подходов и учет различных факторов при оценке безопасности искусственных водных объектов представлен на рисунке 2.

Разработанная нами методика проведения натуральных наблюдений за рискообразующими факторами на гидроузлах включает в себя:

1) Разовые и стационарные обследования состояния верхних откосов и их креплений, а также мест примыкания напорных сооружений к коренным берегам водохранилищ в верхнем бьефе с целью выявления участков плотины, наиболее подверженных разрушениям.



Слева направо: водохранилища бассейнов рек Днепр, Неман, Припять, Западный Буг, Западная Двина

Рисунок 1 – Распределение водохранилищ по притокам главных рек

2) Изучение движения материалов переработки напорных верховых откосов и коренных берегов (донных наносов) на различных участках подводной части береговой отмели.

3) Наблюдение и регистрация скорости ветра и волновых параметров (высота волны, длина разгона) 1–5%, 25%-й обеспеченности с целью оценки разрушения подводной и надводной части береговой отмели.

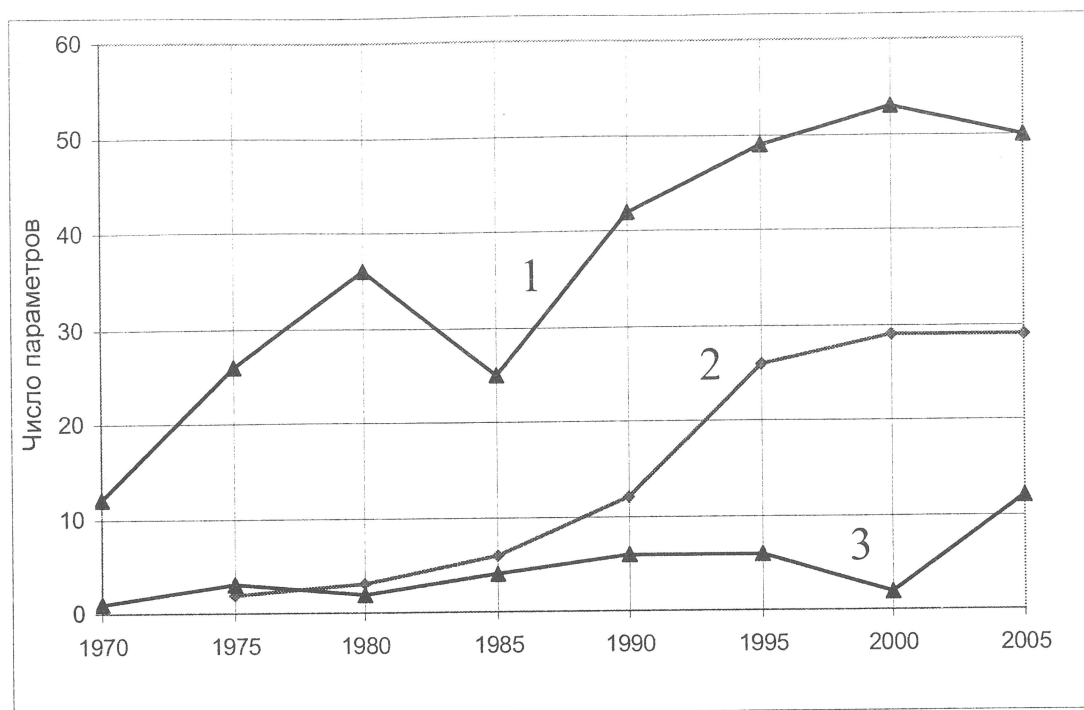
4) Исследование влияния каскадного расположения водохранилищ на гидрологический и уровневый режимы нижележащих водоемов, а также их морфометрических и гидрологических особенностей, изучение изменения амплитуды колебания уровней на одиночных водоемах и водоемах, расположенных в каскадах.

5) Отбор проб грунта тела плотины с целью выявления фактического состава четвертичных отложений в районе расположения водоема и установления типа коренных берегов (в случае их абразионного разрушения).

6) Разовые наблюдения и регистрация воздействия льда на гидротехнические сооружения в верхнем бьефе в период ледохода (воздействие ледовых нагрузок на напорные верховые откосы, замер толщины льда и ширины ледовых полей в приплотинной части водохранилищ).

7) Визуальные наблюдения за фильтрационными деформациями низовых откосов дамб и плотин в нижнем бьефе гидроузлов. Выявление выхода грунтовых вод на поверхность низовых откосов.

Остановимся более подробно на описании таких наблюдений, как разовые и стационарные за состоянием плотины, исследование движения донных наносов на участках коренных берегов и верховых откосах, регистрация скорости и направления ветра и волновых параметров (высоты и длины разгона волны).



1 – учет технических параметров; 2 – учет природных явлений и технических параметров;
3 – учет природных явлений

Рисунок 2 – Анализ подходов по учету факторов безопасности гидротехнических сооружений

Разовые и стационарные обследования за состоянием плотины включают в себя:

- осмотр напорных верховых откосов плотины, их описание, фотографирование, замер величины линейной переработки (S_t) и определение объема вымываемого грунта (Q_t) для абразионных берегов;
- отбор проб грунтов с надводной и подводной частей береговой отмели и их последующая привязка к реперам;
- лабораторный анализ проб и построение кривых гранулометрического состава размываемых грунтов и наносов;
- замер величины разрушения бетонного крепления (при его наличии), а также иной защиты напорных верховых откосов;
- профилирование береговой линии, примыкающей к плотине, по контрольным створам с закреплением реперов и створных знаков на репрезентативных участках побережья;
- районирование береговой линии и участков плотины по доминирующему процессу;
- построение плана (схемы повреждений) гидроузла с прилегающей береговой линией и поперечных профилей береговых склонов.

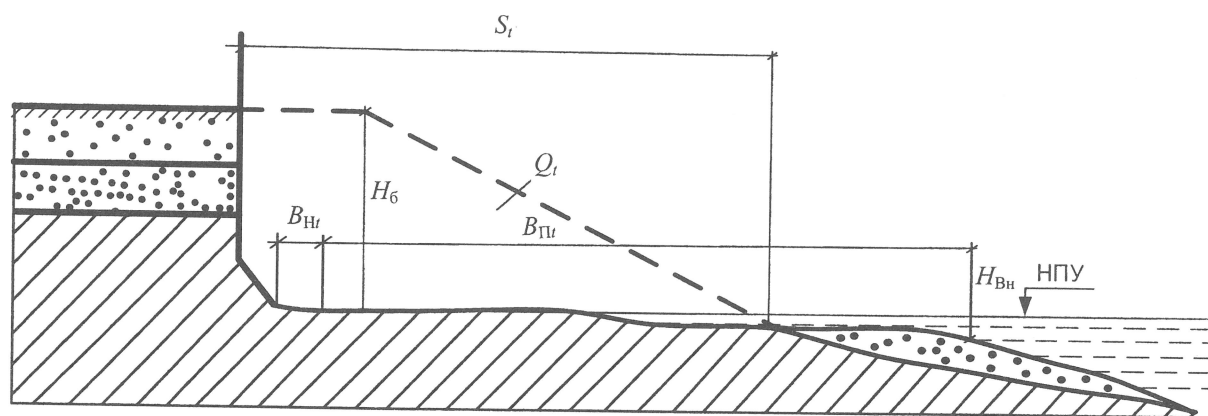
Периодичность проведения указанных наблюдений в соответствии с работами [6, 7] следующая:

- контроль за процессами переработки берегов и переформирования верховых откосов (абразия, линейная и русловая эрозия, суффозия) – два раза в год: весенний период (после освобождения водоемов ото льда) и предледоставный период (октябрь – ноябрь);
- отбор проб размываемых грунтов с подводной и надводной частей береговой отмели и коренных берегов – ежегодно в период развитого волнения;
- осмотр верховых откосов, их фотографирование и описание, замер величины линейной переработки (S_t) и объема вымываемого грунта (Q_t) – три раза в год: весенний период

(после освобождения водоемов ото льда), летний период (после прохождения сильных дождей и сильного волнения), предледоставный период (октябрь – ноябрь).

На рисунке 3 представлены измеряемые параметры для верхового откоса плотины нормального профиля, который по данным [8] является наиболее распространенным в условиях Республики Беларусь.

Профилирование береговой линии является важной составляющей при изучении процессов переработки коренных берегов и напорных верховых откосов. Данный вид обследований включает в себя разбивку береговой линии на контрольные створы по репрезентативным участкам побережья. Количество створов определяется в каждом конкретном случае на основании данных, полученных при проведении продольной фотосъемки, визуального осмотра и местных условий [8]. Профилирование осуществляется с использованием нивелира и нивелира-теодолита, нивелирных реек и створных вешек. При профилировании подводной части отмели на глубине более 1,5 м используется мерная рейка высотой не менее 3 м с горизонтальным уровнем, а также плавсредства [7].



S_t – величина линейной переработки береговой отмели, м; Q_t – объем вымываемого грунта, м³/пм; H_6 – высота береговой террасы, м; $B_{нт}$ – ширина надводной части береговой отмели, м; $B_{пт}$ – ширина подводной части береговой отмели, м; $H_{вн}$ – глубина на внешнем краю отмели (свале глубин), м

Рисунок 3 – Схема и элементы профиля абразионного склона напорного верхового откоса

Для изучения движения донных наносов на участках коренных берегов и напорных верховых откосах необходимо выбирать тестовые водоемы (каскады водоемов), имеющие различный срок эксплуатации. Измерения движения наносов необходимо выполнять в период развитого волнения 1 раз в год в осенний период времени (сентябрь – октябрь), поскольку именно в данный период года преобладают ветра максимальной силы и повторяемости [9]. Регистрацию направления перемещения влекомых донных наносов и их объема необходимо проводить с помощью разработанного одним из авторов и апробированного в натуральных условиях комплекта из пяти наносоуловителей [8]. Схема установки наносоуловителей представлена на рисунке 5, позиция 3.

Каждый наносоуловитель состоит из внешнего цилиндра – 1, с конусом – 2 и бортиком – 3, установленного непосредственно в точке измерений, внутреннего цилиндра – 4 с перегородками – 5, делящим весь объем на 4 равных сектора, бортиком – 6 и заглушкой – 7, поплавка-индикатора – 8. Для регистрации движения наносов вдоль берега на внутреннем цилиндре – 4 установлены лепестки – 9, позволяющие регистрировать это перемещение наносов (рисунок 4).

Наносоуловители в натуральных условиях при изучении режима движения влекомых наносов необходимо устанавливать в следующей последовательности: первый – в зоне наката волны, второй – на урезе, третий – в зоне разрушения волны, четвертый – в зоне трансформации волны и пятый – в глубоководной зоне на краю береговой отмели.

Измерение осуществляется следующим образом: в предварительно погруженные в грунт подводной отмели внешние цилиндры – 1 опускаются внутренние цилиндры – 4 и открываются заглушки – 7, затем через контрольное время извлекаются внутренние цилиндры – 4, из каждой секции которых достаются пробы наносов. Полученные пробы затем взвешиваются и определяется объем наносов в каждом секторе и для каждого наносоуловителя суммарный объем наносов.

Наблюдение и регистрацию скорости и направления ветра необходимо производить при помощи полевого ветромера «8Ю01-М» с анемометром. Скорость ветра измеряется на надводной части береговой отмели, на высоте 2 м от плоскости поверхности (рисунок 5, позиция 1). В соответствии со схемой, представленной на рисунке 5, регистрация скорости ветра проводится на напорном фронте гидрозлозов. Приборы необходимо устанавливать непосредственно на плотине и коренных берегах водохранилищ. По результатам полученных показаний определяется высота волны, которая затем сравнивается с расчетной.

Измерение высоты волны выполняется в период развитого волнения в весенне-летнее и осенне-зимнее время года при отсутствии льда. Высота волны измеряется при помощи волномерной рейки с поплавками в различных зонах подводной части отмели (рисунок 5, позиция 5). Длительность измерений устанавливается в зависимости от направления и скорости ветра, в каждом конкретном случае с учетом местных условий расположения водных объектов.

Среднее значение величины разгона волн для заданной расчетной скорости ветра (V_{ω} , м/с) определяется по формуле (1) [10]:

$$L = k_{vis} \frac{v}{V_{\omega}}, \quad (1)$$

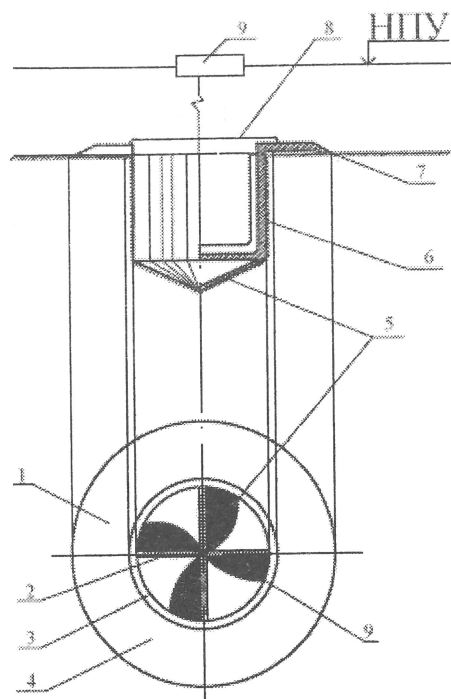
где k_{vis} – коэффициент, принимаемый равным $5 \cdot 10^{11}$;

v – коэффициент кинематической вязкости воздуха, принимаемый равным 10^{-5} , м²/с.

Значения предельного разгона волны L_u , м, допускается принимать по таблице для заданной расчетной скорости ветра V_{ω} , м/с.

Таблица – Значение предельного разгона волны L_u , м

Скорость ветра V_{ω} , м/с	20	25	30	40	50
Значения предельного разгона $L_u \cdot 10^{-3}$, м	1600	1200	600	200	100



НПУ – нормальный подпорный уровень воды в водохранилище

Рисунок 4 – Схема наносоуловителя

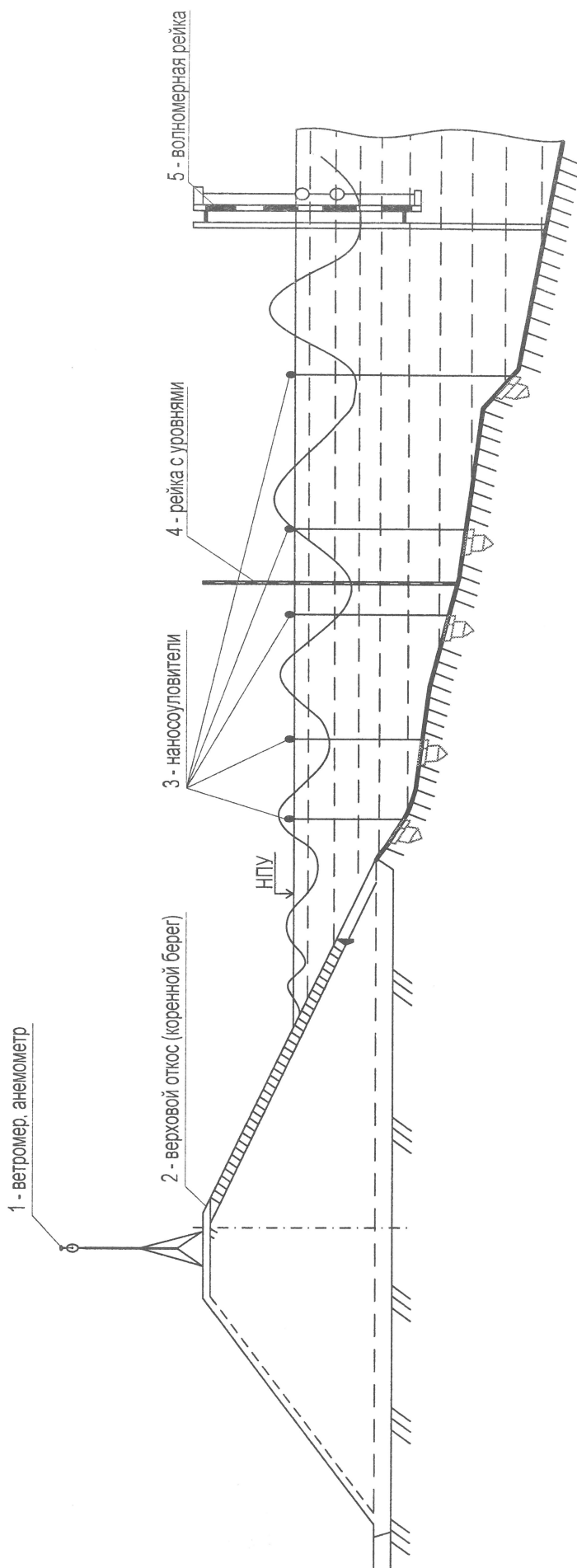


Рисунок 5 – Схема установки наносоуловителей и приборов на верховом откосе и коренном берегу

Расчетная высота волны определяется в зависимости от скорости ветра V_ω и длины разгона волны L_p по графику, представленному на рисунке 6 и полученному по результатам [8].

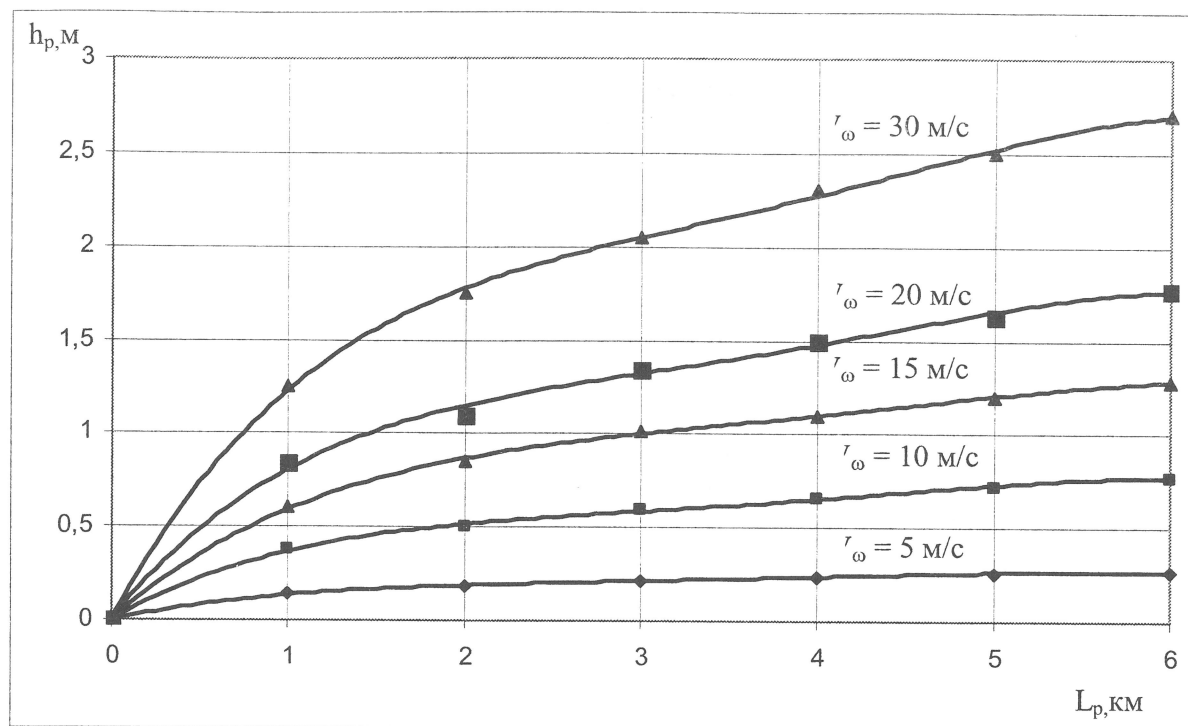


Рисунок 6 – График для определения высоты волны

Длина разгона волны L_p определяется в зависимости от конфигурации береговой линии.

При сложной конфигурации береговой линии эквивалентная длина разгона волны определяется по следующей формуле [11]:

$$L_p = 0,27 \cdot [L_0 + 0,85 \cdot (L_{+1} + L_{-1}) + 0,50 \cdot (L_{+2} + L_{-2})], \quad (2)$$

где L_0 – длина разгона по главному лучу, равному максимальному расстоянию от рассматриваемого створа до противоположного берега,

$L_{\pm 1}$ и $L_{\pm 2}$ – длина разгона по лучам, проведенным соответственно под углом $22,5^\circ$ и 45° к главному лучу (рисунок 7).

Береговая линия считается сложной конфигурации, когда выполняется условие $L_0/L_{\pm 2} \geq 2$. При простой конфигурации, когда $L_0/L_{\pm 2} < 2$, эквивалентная длина разгона принимается равной максимальному расстоянию от рассматриваемого створа сооружения до противоположного берега L_0 вне зависимости от направления сторон света [11].

Выводы. При оценке возможности возникновения гидродинамических аварий на искусственных водных объектах кроме технических параметров сооружений необходимо проводить наблюдения за коренными берегами, примыкающими к телу плотин, а также за напорными верховыми откосами. В качестве стихийных гидрометеорологических явлений учету подлежат: сильный ветер, очень сильный дождь, высокие и низкие уровни воды и др., а также процесс переработки берегов водохранилищ. Впоследствии данные натурных на-

блюдений будут учтены при оценке вероятности возникновения гидродинамических аварий на тестовых водоемах.

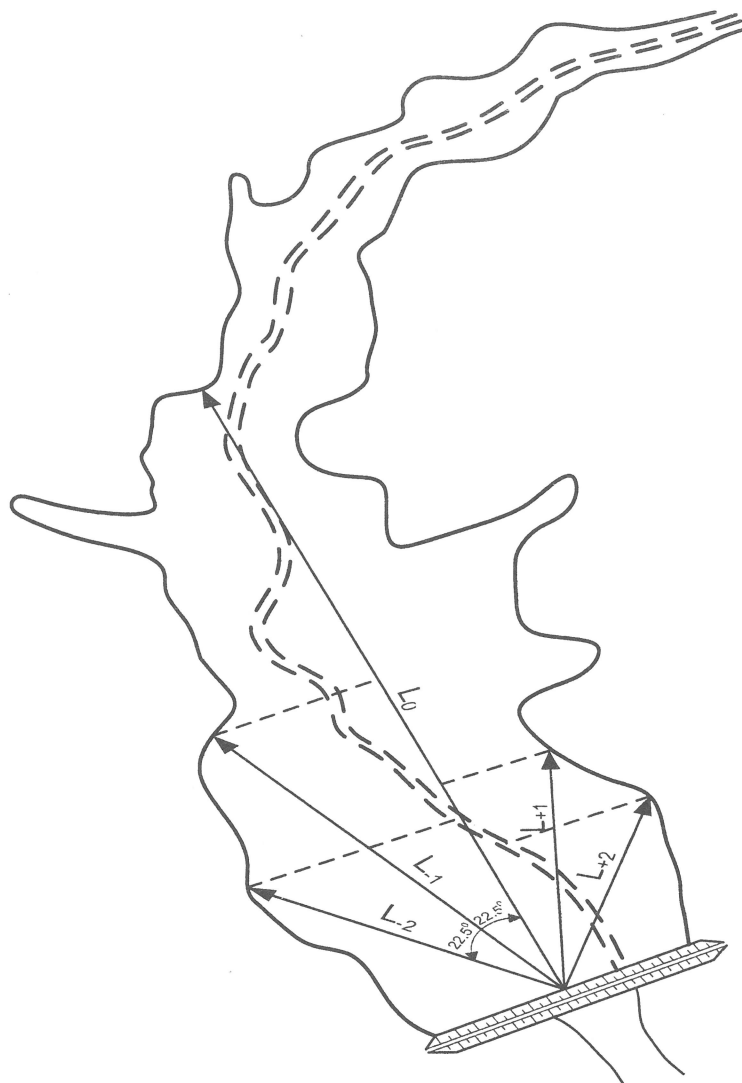


Рисунок 7 – Схема определения длины разгона волны на водоеме сложной конфигурации

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинко, С.С. Катастрофы на берегах рек / С.С. Гинко; под ред. А.И. Чеботарева. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 128 с.
2. О Республиканской программе энергосбережения на 2006–2010 годы: Постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 02 февр. 2006 г. № 137 // Нац. Реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2006.
3. Водохранилища Беларуси: справочник / М.Ю. Калинин [и др.]; под общ. ред. М.Ю. Калинина. – Минск: Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. – 183 с.
4. Широков, В.М. Водохранилища Беларуси: справочник / В.М. Широков, В.А. Пидоплечко. – Минск: Университетское, 1992. – 80 с.
5. Широков, В.М. Водохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / В.М. Широков, П.С. Лопух. – Минск: Университетское, 1991. – 207 с.

6. Правила организации и проведения наблюдений и исследований на плотинах из грунтовых материалов: РД 153-34.2-21.546-2003. – Введ. 01.02.05. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2005. – 67 с.
7. Левкевич, В.Е. Экологический мониторинг берегов (coast monitoring) водных объектов Беларуси / В.Е. Левкевич, А.А. Ковалев, А.И. Павловский; под ред. В.Е. Левкевича. – Минск: Экомир, 1995. – 36 с.
8. Левкевич, В.Е. Переработка берегов малых водохранилищ мелиоративных систем, ее прогноз и управление (на примере Белорусской ССР): дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / В.Е. Левкевич. – Минск, 1986. – 135 с.
9. Справочник по климату Беларуси: в 4 ч. / М.А. Гольберг [и др.]; под общ. ред. М.А. Гольберга. – Ч. 4: Ветер. Атмосферное давление. – Минск: БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ, 2003. – 124 с.
10. Государственный строительный комитет СССР. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования: СНиП 2.06.01-86. – Введ. 01.07.87. – Москва: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1986. – 32 с.
11. Левкевич, Е.М. Проектирование поперечного профиля земляных плотин и напорных дамб с уположенными и пологими верховыми откосами: метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Е.М. Левкевич; БГПА. – Минск, 1993. – 34 с.