

УДК [712.5(282.3):627.8.059.22]:[519.2:311]

**ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ КАК ФАКТОР РИСКА  
ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ  
КОМПЛЕКСНОГО И МЕЛИОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**В.Е. Левкевич**, кандидат технических наук

**С.М. Пастухов**, преподаватель

ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

**Ключевые слова:** водохранилище, риск, факторы, вероятность, обеспеченность, авария.

**Введение**

На территории Республики Беларусь в настоящее время эксплуатируется свыше 150 искусственных водных объектов (водохранилищ) различного назначения. По данным [1,2], для мелиоративных целей используется более 70 водоемов. Кроме положительного эффекта от их эксплуатации, существует также ряд негативных сторон, поскольку водохранилища относятся к гидродинамически опасным объектам, на которых возможно возникновение аварий с прорывом плотин (дамб, шлюзов, перемычек) и образованием волн прорыва, катастрофических затоплений или прорывного паводка, а также аварийный спуск водохранилищ гидроэлектростанций в связи с угрозой прорыва гидротлин [3].

Анализ литературных источников показал, что в большинстве случаев при оценке безопасности искусственных водных объектов учитывают лишь отказы технических параметров, а действием опасных природных процессов и явлений зачастую пренебрегают [4,5]. Начавшийся в конце XX столетия процесс разработки согласованного на международном уровне подхода к анализу и оценке риска аварий на гидротехнических сооружениях показал, что в дальнейшем его развитии заключен потенциал существенного улучшения безопасности плотин [6]. Согласно данному подходу, под оценкой риска понимается процесс определения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций и установление размера возможного ущерба. Применительно к условиям Республики Беларусь актуальна задача оценки вероятности возникновения гидродинамических аварий, учитывая природные рискообразующие факторы, а также возможный ущерб. Актуальность решения данной задачи для республики также подчеркивается выполнением ряда республиканских программ по развитию гидроэнергетики и восстановлению водохранилищ мелиоративного назначения. Прежде всего, это "Республиканская программа энергосбережения на 2006-2010 годы" [7] и Республиканская программа "Инженерные водохозяйственные мероприятия по защите населенных мест и сельскохозяйственных земель от паводков в наиболее паводкоопасных районах Полесья на 2005-2010 годы" [8].

**Рискообразующие факторы и условия**

Основными составляющими понятия «риск» являются опасные (поражающие) факторы, приводящие к различным видам ущерба [9,10]. В нормативной и научной литературе критериальные значения рассматриваемых факторов разбросаны, поэтому проведенный ниже анализ позволил сгруппировать их и разработать возможные сценарии возникновения гидродинамических аварий.

В табл.1 рассмотрены рискообразующие факторы гидродинамических аварий: сильный ветер, волновое воздействие, сильный дождь, процесс переработки (абразии) напорных верховых откосов и коренных берегов, ледовое воздействие, человеческий фактор.

**Таблица 1. Критериальные значения природных рискообразующих факторов**

Факторы	Параметры	Критериальные значения	Описание
Сильный ветер, включая смерчи и шквалы [3, 12]	Скорость ветра (v, м/с)	25	Метеорологическая ЧС
		12	Метеостанции и посты посылают штормовые предупреждения заинтересованным организациям
Очень сильный дождь [3, 21]	Количество и продолжительность осадков (N <sub>ос</sub> , мм)	15-50 мм за 12 ч и менее	Опасный дождь
		≥50 мм за 12 ч и менее	Метеорологическая ЧС
		≥120 мм за 3 сут и менее	
Высокий уровень воды (наводнения, половодья, паводки) [3]	Затопление населенных пунктов, объектов, сооружений	Факт	Гидрологическая ЧС
	Угроза жизни людей, что требует их срочной эвакуации (чел.)	Л – <100 * М – 100-300 Р – 300-500 Г – ≥500	
	Площадь затопленной территории (S, тыс. га)	Л – 1-5 М – 5-15 Р – 15-50 Г – >50	
Переработка (абразия) берегов [13]	Линейная переработка берега (S <sub>т</sub> , м/год)	0-2	Несвязные грунты
		2-5	Полусвязные грунты
		5-20	
		20-35	Связные грунты
Сильное волнение [14]	Высота волны с обеспеченностью (в группе волн)** (P <sub>h</sub> , %)	50	50 из 100 волн
		20	20 из 100 волн
		10	10 из 100 волн
		5	5 из 100 волн
		1	1 из 100 волн
Человеческий фактор [15]	Вероятность (P <sub>i</sub> , 1/год)	P=5·6·10 <sup>-3</sup>	Ошибки в проекте
		P=3,5·10 <sup>-3</sup>	Ошибки при эксплуатации
		P=6,0·10 <sup>-3</sup>	Ошибки при изысканиях
		P=9,0·10 <sup>-4</sup>	Нарушение технологии строительства

\* Л – локальная, М – местная, Р – республиканская, Г – государственная (трансграничная) чрезвычайная ситуация.

\*\* Обеспеченность высоты волны принимается для приплотинной части водохранилищ (глубоководная зона) в соответствии с СНиП 2.06.04-82\* в зависимости от обеспеченности скорости ветра.

Таблица 2. Условия возникновения природных рискообразующих факторов

Рискообразующие факторы	Условия	
Ветровое воздействие	1.	Тип местности (подстилающей поверхности) [16]
	2.	Преобладающее направление ветра относительно ориентации чаши водохранилищ [17]
	3.	Скорость и продолжительность действия ветра [14]
Волновое воздействие (высота волн 1 и 5%-ной обеспеченности)	1.	Наличие глубоководной зоны в приплотинной части гидроузлов, где дно не влияет на основные характеристики волн $d \geq 0,5 \lambda_d$ [14]
	2.	Длина разгона волны [14]
	3.	Скорость ветра (продолжительность и направление) [14]
	4.	Размеры и конфигурация охваченной ветром акватории [17]
	5.	Рельеф дна и глубина водоема с учетом колебаний уровня воды [14, 17]
Наводнение (паводок) (каталог опасных высоких уровней воды)	1.	Сильный дождь
	2.	Водопроницаемость грунтов
Переработка (абразия) берегов [13]	1.	Амплитуда колебания уровней
	2.	Ветровое и волновое воздействие
	3.	Внутренние и вдольбереговые течения
	4.	Гранулометрический состав грунтов

Примечание.  $\lambda_d$  – средняя длина ветровой волны, м; d – расчетная глубина, м.

В табл. 2 приведены условия возникновения рассматриваемых факторов.

При оценке вероятности возникновения рассмотренных факторов возможны следующие сценарии возникновения гидродинамических аварий: разрушение водосбросных сооружений, перелив воды через гребень плотины и образование прорана в теле плотины. Перелив воды через гребень плотины является наиболее вероятным сценарием при ветро-волновом воздействии на напорный фронт сооружений.

### Статистическая оценка рискообразующих факторов

#### Ветровое воздействие

В настоящей работе ветровое воздействие рассматривается в качестве источника возникновения волн различной высоты и обеспеченности. В нормативной и научной литературе достаточно хорошо изучено влияние ветра на водную поверхность. По данным [17], наблюдения за ветром в открытой части позволили установить особенности трансформации воздушного потока: 1) чем меньше водоем, тем большее влияние на направление ветров оказывает ориентация котловин и облесенность их побережий; 2) открытость зеркала, облесенность, высота склонов оказывают большее влияние на трансформацию ветра, чем асимметрия долины водоема [16].

Для оценки вероятности возникновения сильного ветра были выбраны тестовые

**Таблица 3. Характеристика тестовых водоемов по [2]**

Водохранилище	Район расположения	Тип водохранилища	Полный объем, млн.м <sup>3</sup>	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Длина, км
Днепро-Брагинское	Лоевский	Наливное	42,8	9,68	4,5
Дубровское	Смолевичский	Русловое	22,4	3,45	6,5
Кировское	Кировский	То же	7,8	3,53	10,8
Крапивенка	Оршанский	»	3,3	1,08	5,5
Муровенское	Брагинский	Наливное	7,5	1,68	1,95
Осиповичское	Осиповичский	Русловое	17,5	11,87	24
Петровичское	Минский	То же	15	4,8	11,5
Велута	Лунинецкий	Наливное	31	7,6	3,4
Левки	Стародорожский	То же	23,63	4,4	2,5
Рудня	Солигорский	Русловое	14,1	3,76	2,6

водоемы комплексного и мелиоративного назначения, основные характеристики которых представлены в табл.3. Количество и территориальное расположение водохранилищ выбиралось таким образом, чтобы охватить максимальную территорию и получить по ним достаточное количество статистических данных.

Число дней со значением скорости ветра от 0 до 12 м/с в расчет вероятности возникновения аварий не принималось, поскольку не несет разрушающего воздействия. По данным [12], ветер с максимальными порывами 12 м/с и более представляет опасность для ряда отраслей экономики. При достижении данной скорости метеорологические станции и посты посылают штормовые предупреждения заинтересованным организациям. При скорости ветра 25 м/с и более происходит повреждение и разрушение линий электропередач, массовое разрушение линий связи и зданий, вал леса и деревьев, травмирование и гибель людей. Данная скорость ветра была взята как нижний предел расчета числа дней, при которых происходит чрезвычайная ситуация метеорологического характера (сильный ветер) [3]. Из табл.1 видно, что ветровое воздействие в зависимости от значения скорости ветра целесообразно разделить на три интервала: 1)  $0 < v < 12$  м/с; 2)  $12 \leq v < 25$ ; 3)  $v \geq 25$  м/с.

Анализ статистических данных, полученных по справочным и фондовым материалам, позволил установить число случаев с сильным ветром и рассчитать вероятность их возникновения (табл. 4).

#### *Волновое воздействие*

При оценке вероятности возникновения аварий на ГТС вследствие волнового воздействия в расчет принимаются только ветровые волны, на высоту которых влияют следующие параметры: длина разгона волны, продолжительность и направление непрерывного воздействия ветра (не менее 10 минут), скорость ветра. Влияние дна водоема на основные характеристики волн не учитывалось, поскольку определение высоты волн

**Таблица 4. Среднее число и вероятность возникновения случаев с сильным ветром на тестовых водоемах (1971-2000 гг.)**

Водохранилище	$N_{12-25}$ , раз	$P_{12-25}$ , 1/год	$N_{\geq 25}$ , раз	$P_{\geq 25}$ , 1/год
Днепро-Брагинское	37,77	$3,56 \cdot 10^{-3}$	0,07	$6,61 \cdot 10^{-6}$
Дубровское	35,41	$3,34 \cdot 10^{-3}$	0,06	$5,67 \cdot 10^{-6}$
Кировское	39,13	$3,69 \cdot 10^{-3}$	0,18	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Крапивенка	45,24	$4,27 \cdot 10^{-3}$	0,03	$2,83 \cdot 10^{-6}$
Муровенское	33,77	$3,19 \cdot 10^{-3}$	0,06	$5,67 \cdot 10^{-6}$
Осиповичское	39,13	$3,69 \cdot 10^{-3}$	0,18	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Петровичское	41,00	$3,87 \cdot 10^{-3}$	0,06	$5,67 \cdot 10^{-6}$
Велута	30,44	$2,87 \cdot 10^{-3}$	0,33	$3,12 \cdot 10^{-5}$
Левки	35,97	$3,39 \cdot 10^{-3}$	–	–
Рудня	31,64	$2,98 \cdot 10^{-3}$	0,09	$8,5 \cdot 10^{-6}$

*Примечание:*  $N_{12-25}$  – среднее число случаев со скоростью ветра 12-25 м/с;  $N_{\geq 25}$  – среднее число случаев со скоростью ветра 25 м/с и выше;  $P_{12-25}$  – вероятность возникновения ветра со скоростью 12-25 м/с;  $P_{\geq 25}$  – вероятность возникновения ветра со скоростью 25 м/с и выше.

осуществлялось в приплотинной части водохранилищ, где выполняется неравенство

$$d \geq 0,5 \bar{\lambda}_d \quad [14].$$

Расчетная скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью водоема  $V_w$ , м/с, определяется по измененной формуле СНиП 2.06.04 [14]:

$$V_w = k_l \cdot V_l \quad (1)$$

где  $V_l$  – скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли (водоема), соответствующая десятиминутному интервалу осреднения и обеспеченности, м/с;  $k_l$  – коэффициент приведения скорости ветра к условиям водной поверхности для водоемов с характерной протяженностью до 20 км, принимаемый: равным единице при измерении скорости ветра  $V_l$  над водной поверхностью, над ровной песчаной (пляжи, дюны и прочее) или покрытой снегом местностью.

До 1970 г., согласно СНиП 2.06.04, в данную формулу входил коэффициент пересчета данных по скоростям ветра, измеренным по флюгеру, который давал завышенные значения примерно на 12 % [12]. После перехода от флюгеров к анеморумбометрам применение данного коэффициента при расчете скорости ветра не требуется.

Длина разгона волны  $L_p$  определялась в зависимости от конфигурации береговой линии. При сложной конфигурации береговой линии эквивалентная длина разгона волны рассчитывается по формуле [18]:

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

где  $L_0$  – длина разгона по главному лучу, равному максимальному расстоянию от рассматриваемого створа до противоположного берега, м;  $L_{\pm 1}$  и  $L_{\pm 2}$  – длина разгона по лучам, проведенным соответственно под углом  $22,5^\circ$  и  $45^\circ$  к главному лучу, м (рис.1).

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 [14].

Для расчета средней высоты волны использовалась методика, изложенная в СНиП 2.06.04. Для перехода от средней высоты волны к высоте 1 и 5%-ной обеспеченности принимались коэффициенты, предложенные Д.П. Финаровым, С.Г. Бейром, СНиП 2.06.04 и др. Сравнение значений высоты ветровых волн, полученных по различным методикам, представлено в табл.5.

Высота волны  $i$  %-ной обеспеченности определяется по следующей формуле [19]:

$$h_{i-\%} = h_{cp} \cdot k_i, \quad (3)$$

где  $h_{cp}$  – средняя высота волны, определенная по методике, изложенной в СНиП 2.06.04, м;  $k_i$  – коэффициент обеспеченности, значения которого приведены в табл.6 [19].

В работах В.Е. Левкевича отмечается, что при общности распределения в безледный период высот волн и скоростей ветра возможен переход от обеспеченности скоростей ветра к обеспеченностям соответствующих высот. Синхронное изменение параметров  $h_{i-\%}$  и  $w_{10}$  описывается следующей зависимостью [13]:

$$h_{i-\%} = k_D \cdot \frac{V_i^2}{g}, \quad (4)$$

где  $k_D$  – коэффициент, характеризующий условия волнообразования и зависит от длины разгона волны  $D$  (табл.7).

Необходимо отметить, что использование формулы (4) имеет ограниченное применение и может использоваться лишь для скоростей ветра, не превышающих 12 м/с. В табл. 8 представлены результаты расчета высоты волны различной обеспеченности для тестовых водоемов.

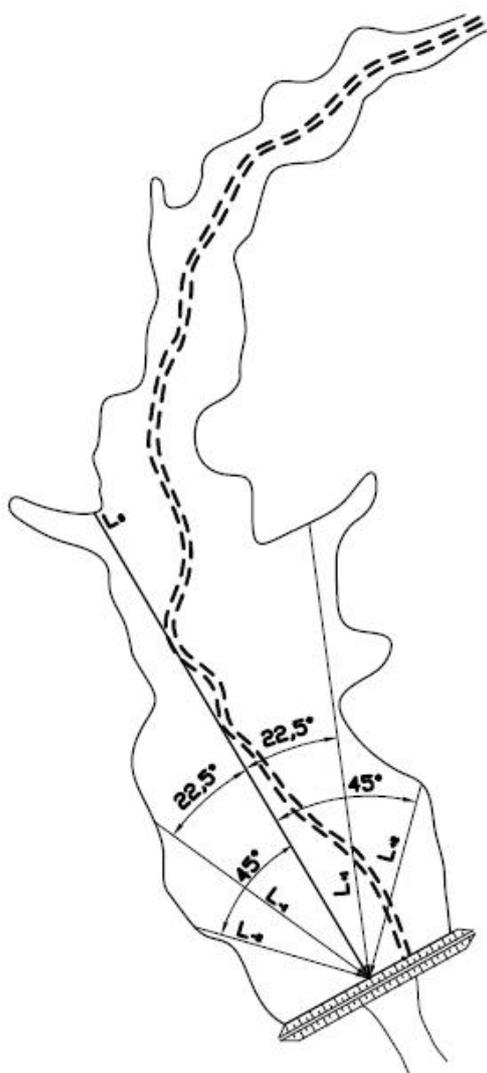


Рис. 1. Схема ветрового воздействия на напорный фронт гидроузлов

Таблица 5. Результаты расчета высоты волны 1 и 5% обеспеченности по различным методикам [13, 14, 19].

Высота волны 1% обеспеченности			Высота волны 5% обеспеченности	
СНиП 2.06.04	Бейром С.Г.	Левкевич В.Е	СНиП 2.06.04	Бейром С.Г.
<i>V=12 м/с</i>				
0,61	0,63	1,26	0,65	0,53
0,67	0,69	1,67	0,71	0,58
0,75	0,77	1,88	0,8	0,65
0,6	0,63	1,22	0,64	0,52
0,51	2,40	1,06	0,6	2,01
0,67	0,69	1,67	0,71	0,58
0,8	0,83	1,78	0,85	0,70
0,64	0,66	1,33	0,68	0,56
0,49	0,51	1,05	0,52	0,42
0,38	0,39	0,91	0,41	0,33
<i>V=24 м/с</i>				
1,57	1,39	5,02	1,34	1,17
1,78	1,58	6,70	1,53	1,33
2,04	1,81	7,53	1,75	1,52
1,42	1,26	4,88	1,22	1,06
1,25	1,11	4,26	1,07	0,93
1,78	1,58	6,70	1,53	1,33
1,95	1,73	7,12	1,67	1,45
1,82	1,62	5,30	1,56	1,36
1,2	1,06	4,19	1,03	0,89
1,08	1,58	3,63	0,98	1,33
<i>V≥25 м/с</i>				
1,67	1,48	5,89	1,44	1,24
1,99	2,52	7,86	1,69	2,12
2,35	2,09	8,84	2,03	1,75
1,72	1,93	5,73	1,43	1,62
1,42	1,26	4,99	1,22	1,06
2,04	2,52	7,86	1,73	2,12
2,08	2,82	8,35	1,76	2,36
1,96	2,07	6,22	1,66	1,74
1,35	1,20	4,91	1,17	1,01
1,28	1,85	4,26	1,8	1,56

Таблица 6. Значения коэффициента  $k_i$ 

Обеспеченность высоты волн, %	1	2	3	5	10	20	30	40	50	70	90
$k_i$	1,81	1,70	1,54	1,52	1,41	1,26	1,16	1,07	0,97	0,88	0,76

Таблица 7. Значения коэффициента  $k_D$ 

Длина разгона волны (D), км	0,4	0,6	0,7	1,0	1,5	3,0	3,5	5,0
$k_D$	0,020	0,030	0,035	0,040	0,060	0,080	0,10	0,11

**Таблица 8. Результаты расчета высоты волны 1 и 5%-ной обеспеченности на тестовых водоемах по методике [14]**

Водохранилище	L <sub>D</sub> , км	h <sub>ср</sub> , м			h <sub>5%</sub> , м			h <sub>1%</sub> , м		
		12	24	≥25	12	24	≥25	12	24	≥25
Днепро-Брагинское	2,4	0,35	0,77	0,82	0,61	1,34	1,44	0,65	1,57	1,67
Дубровское	3,4	0,38	0,87	0,96	0,67	1,53	1,69	0,71	1,78	1,99
Кировское	4,84	0,43	1,00	1,15	0,75	1,75	2,03	0,80	2,04	2,35
Крапивенка	2,3	0,35	0,70	0,93	0,60	1,22	1,43	0,64	1,42	1,72
Муровенское	1,6	0,29	0,61	0,70	0,51	1,07	1,22	0,6	1,25	1,42
Осиповичское	3,4	0,38	0,87	0,98	0,67	1,53	1,73	0,71	1,78	2,04
Петровичское	3,8	0,46	0,96	1,00	0,80	1,67	1,76	0,85	1,95	2,08
Велута	2,7	0,37	0,89	0,94	0,64	1,56	1,66	0,68	1,82	1,96
Левки	1,5	0,28	0,59	0,66	0,49	1,03	1,17	0,52	1,20	1,35
Рудня	1,3	0,22	0,56	0,61	0,38	0,98	1,80	0,41	1,08	1,28

По данным [13], применение методики СНиП 2.06.04 дает наиболее близкое совпадение результатов по определению высоты волны между зафиксированными значениями и расчетом. Однако определение коэффициента ( $k_i$ ) по графику [12], изложенному в данном документе, достаточно проблематично из-за большой разности делений между показателями  $gL/V^2$ .

*Учет влияния направления ветра на вероятность возникновения волн различной обеспеченности*

При расчете вероятности возникновения волн различной обеспеченности кроме таких условий, как скорость ветра, глубина в приплотинной части и длина разгона, необходимо также учитывать его направление за многолетний период.

В связи с тем, что большинство водоемов в республике относится к русловому типу, ориентация их котловин совпадает с направлением рек. Анализ водохранилищного фонда республики показал, что большая часть водохранилищ расположена на притоках первого-третьего порядка главных рек (рис.2). Так, для бассейна р.Западная Двина характерна ориентация котловин водоемов юго-западного и северо-восточного направлений, для бассейна р.Днепр – юго-восточного и южного направлений, бассейна р.Неман – северо-западного и южного направлений, бассейна р.Припять – юго-восточного и северо-восточного направления (рис.3).

Исследованиями В.Ф. Логинова установлено, что в Республике Беларусь ветры с западной составляющей отмечаются в течение почти 50% времени безледного периода года, относительно малая повторяемость восточных румбов. Вместе с северо- и юго-восточными они характерны для 30% времени теплого периода. Повторяемость северных и южных ветров близка к величине 12% при равновероятном распределении всех направлений [21]. На рис.4 представлено преобладающее направление ветра по

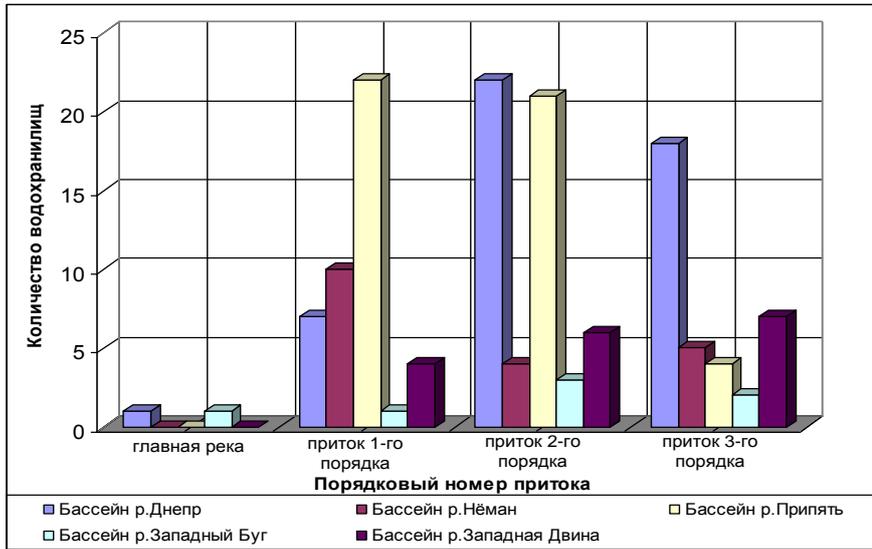


Рис. 2. Распределение водохранилищ по притокам главных рек

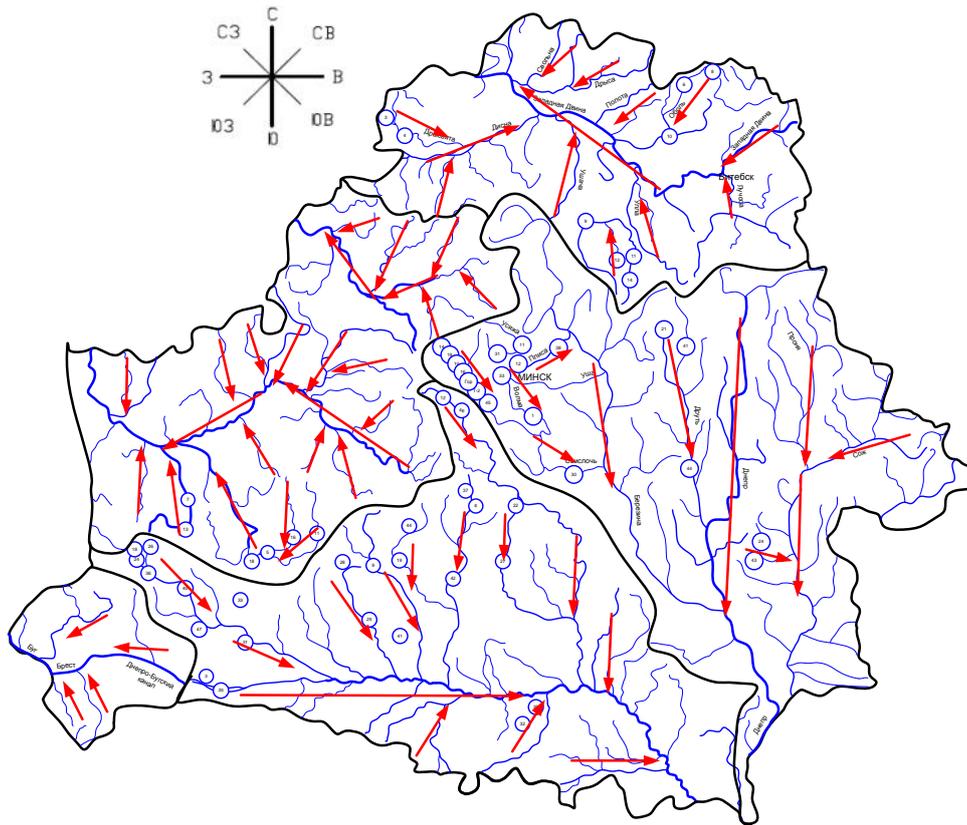


Рис. 3. Направление течения рек по притокам первого-третьего порядка

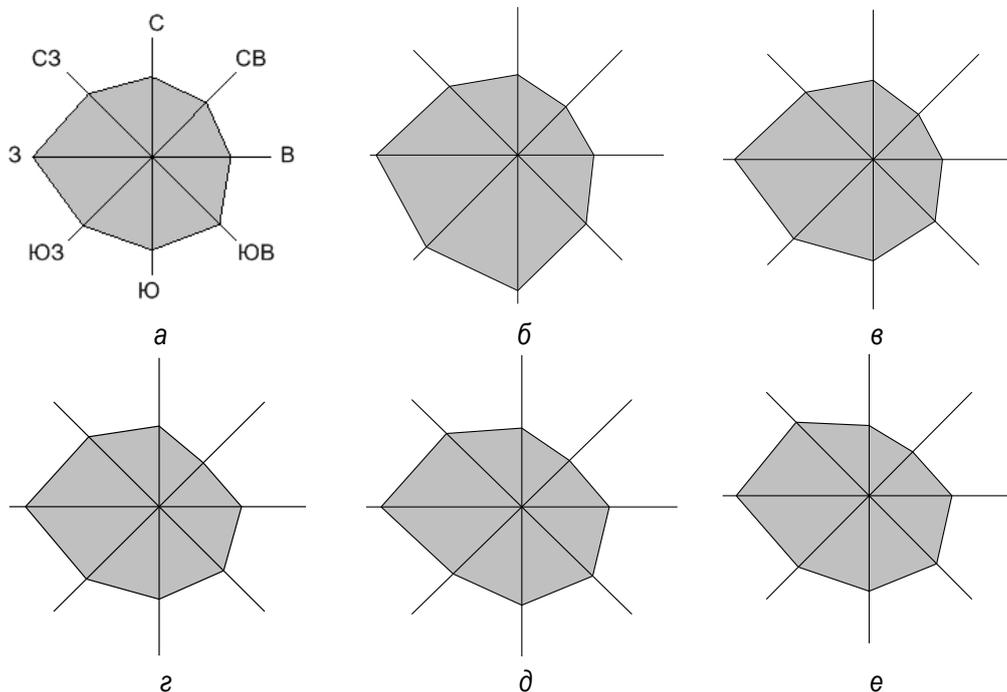


Рис. 4. Преобладающее направление ветров по областям: а – Минская ; б – Витебская; в – Гродненская; г – Брестская; д – Гомельская; е – Могилевская

Таблица 9. Значение коэффициента  $k_{\alpha}$ , учитывающего направление действия ветра

Условия ветрового воздействия	$k_{\alpha}$
1. Действие ветра совпадает с ориентацией котловин ( $\alpha=0^{\circ}$ ).	$k_{\alpha} = \cos(0^{\circ})=1$
2. Ветровое воздействие по отношению к ориентации напорного фронта гидроузлов направлено под углом $\alpha=22,5^{\circ}$	$k_{\alpha} = \cos(22,5^{\circ})=0,92$
3. Ветровое воздействие по отношению к ориентации напорного фронта гидроузлов направлено под углом $\alpha=45^{\circ}$	$k_{\alpha} = \cos(45^{\circ})=0,70$
4. Ветровое воздействие по отношению к ориентации напорного фронта гидроузлов направлено под углом $\alpha=67,5^{\circ}$	$k_{\alpha} = \cos(67,5^{\circ})=0,38$

румбам за период наблюдений с 1950 по 2000 гг. для безледного режима (IV–XI месяцы) [20], которые подтверждают данные В.Ф. Логинова.

Представленная на рис.1 схема действия ветра на напорный фронт гидроузлов позволяет получить коэффициент  $k_{\alpha}$ , учитывающий преобладающее направление ветра и ориентацию напорного фронта водохранилищ (табл.9). Полученные значения коэффициента были учтены при оценке вероятности возникновения волн различной обеспеченности.

Анализ методик по расчету высоты ветровых волн, а также данные о регистрации направления ветра позволили установить угол, для которых рассчитывался коэффициент  $k_{\alpha}$ , кратный  $22,5^{\circ}$  и откладываемый от главной (наибольшей) оси водоема  $L_0$  [14].

Таблица 10. Значение вероятности возникновения волнового воздействия

Водохранилище	Ориентация напорного фронта	Преобладающее направление ветра	$k_a$	$P_{H5\%}$ , 1/год	$P_{H1\%}$ , 1/год
Днепро-Брагинское	ЮВ	З, СЗ	0,7;1	$(2,49-3,56) \cdot 10^{-3}$	$4,62 \cdot 10^{-6}$
Дубровское	ЮВ	З, ЮЗ	0,7	$2,33 \cdot 10^{-3}$	$3,96 \cdot 10^{-6}$
Кировское	ЮЗ	З, СЗ	0,7	$2,58 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Крапивенка	СВ	З, ЮЗ	0,7; 1	$(2,98-4,27) \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-6}$
Муровенское	СВ	З, СЗ	0,7	$2,23 \cdot 10^{-3}$	$5,67 \cdot 10^{-6}$
Осиповичское	ЮВ	З, СЗ	0,7; 1	$(2,58-3,69) \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-6}$
Петровичское	Ю	З, СЗ	0,7	$2,70 \cdot 10^{-3}$	$3,96 \cdot 10^{-6}$
Велута	Ю	З, СЗ	0,7	$2,00 \cdot 10^{-3}$	$2,18 \cdot 10^{-5}$
Левки	В	З, ЮЗ	0,7; 1	$(2,37-3,39) \cdot 10^{-3}$	–
Рудня	ЮВ	З, ЮЗ	0,7	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$5,95 \cdot 10^{-6}$

В табл.10 представлены значения вероятности возникновения высоты волны различной обеспеченности с учетом коэффициента  $k_a$ .

### Выводы

1. Анализ литературных источников позволил выявить критериальные значения рискообразующих факторов, которые могут привести к возникновению гидродинамических аварий на искусственных водных объектах. В дальнейшем по каждому из рассматриваемых факторов будет оценена, а также рассчитана вероятность возникновения, чрезвычайных ситуаций, используя графоаналитические и статистические методы. Сравнительный анализ методик по расчету высоты волны различной обеспеченности показал, что наиболее применимы к условиям Республики Беларусь методики, изложенные в СНиП 2.06.04 и в работах С.Г. Бейром.

2. Учтено влияние преобладающее направление ветра на вероятность возникновения волн различной обеспеченности посредством введения коэффициента  $k_a$ .

### Литература

1. Водохранилища Беларуси: справочник / М.Ю. Калинин [и др.]; под общ. Ред. М.Ю. Калинина. – Минск, 2005. – 183 с.
2. Широков, В.М. Водохранилища Беларуси: справочник / В.М. Широков, В.А. Пидоплечко. – Минск: Университетское, 1992. – 80 с.
3. Инструкция о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: утв. Постановлением МЧС Респ. Беларусь 19 февр. 2003 г. №17. – Минск, 2003. – 92 с.
4. Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений: СТП ВНИИГ 230.2.001–00. – С.-Петербург.: ВНИИ им Б.Е.Веденева, 2000. – 87 с.
5. Беллендир, Е.Н. Основные сценарии возникновения и развития аварий и чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях и подход к количественной оценке ущерба для расчета страховых сумм / Е.Н. Беллендир, С.В. Сольский, Н.Я. Никитина // О независимой аудиторской и оценочной деятельности в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, страхование ответственности за причинение вреда в случае аварии на опасном промышленном объекте: матер. семинара, МЧС России, Москва, 23-24 июля. 1998 г.– М., 1998. – С.134-142.
6. Risk assessment as an Aid to Dam Safety Management. Rev. ICOLD, 24.08.99.
7. О Республиканской программе энергосбережения на 2006-2010 годы: постановление СМ РБ

- 02 февр. 2006 г. №137 // Нац. реестр правовых актов РБ. – 2007. – № 66. – 5/24832.
8. Республиканская программа "Инженерные и водохозяйственные мероприятия по защите населенных мест и сельскохозяйственных земель от паводков в наиболее паводкоопасных районах Полесья на 2005-2010 годы": постановление СМ РБ, 23 март. 2005 г. №311 // Консультант Плюс: Беларусь. [Электронный ресурс] – Минск, 2005.
  9. Ларионов, В.И. Применение ГИС-технологий для оценки риска на территориях различного уровня / В.И. Ларионов // Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценка и прогноз: материалы VII Всерос. научн.-практ. конф. по проблемам защиты населения и территорий от чрезв. ситуац., Москва, 15-16 апр. 2003 г. / МЧС России. – М., 2003. – С.381-385.
  10. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов РД 03-418-01. Введ. 01.11.01. – М.: НТУ Госгортехнадзора России и ГУП "НТЦ Промышленная безопасность", 2001. – 16 с.
  11. Акимов, В.А. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
  12. Справочник по климату Беларуси. Ч.4 Ветер. Атмосферное давление / М.А. Гольберг [и др.]; под общ. ред. М.А. Гольберга. – Минск: БЕЛНИЦ «ЭКОЛОГИЯ», 2003. – 124 с.
  13. 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.
  14. Государственный строительный комитет СССР. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): СНиП 2.06.04-82\*. – Введ. 15.06.82. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 40 с.
  15. Корыткова, И.В. Методические рекомендации по оценке риска на гидротехнических сооружениях / СТП ВНИИГ.
  16. Государственный строительный комитет СССР. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.01.87. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
  17. Широков, В.М. Формирование берегов малых водохранилищ лесной зоны / В.М Широков, П.С. Лопух, В.Е. Левкевич. – С.-Петербург.: Гидрометеиздат, 1992. – 160 с.
  18. 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.
  19. Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработки берегов водохранилищ Сибири / С.Г. Бейром [и др.]; под общ. ред. С.Г. Бейром. – Новосибирск, 1972. – 36 с.
  20. Емельянов, Ю.Н. Ледовый режим водохранилищ Белоруссии / Ю.Н. Емельянов // Гидрографическая сеть Белоруссии и регулирование речного стока: сб. науч. ст. / под ред. В.М. Широкова. – Минск: Университетское, 1992. – С.32-41.
  21. Климат Беларуси / В.Ф. Логинов [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т геол. наук; под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 1996. – 235 с.

### Summary

#### ***Levkevich V., Pastukhov S. Wind Waves as an Accident Risk Factor at the Complex- and Ameliorative-Purpose Water-Storage Basin***

The criterial values of the risk-forming factors and assessment of the probability of appearance of strong wind and various-probability wave height have been stated. The calculation of the wave height with the probability of 1 and 5 per cent has been performed with the use of different techniques as well as their comparative analysis in test water bodies of the complex and ameliorative purpose has been presented. The coefficient taking into account the prevailing wind direction to the orientation of the waterfront of the water-engineering systems has been obtained. The analytical model for determining the fetch and the coefficient taking into account the prevailing wind direction has been given.

*Поступила 18 апреля 2008 г.*