

В.И. ВОЛКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА ОБСЛЕДОВАНИЯ С ОЦЕНКОЙ ДОСТАТОЧНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ ГРЕБНЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

В статье рассмотрены проблемы, связанные с оценкой технического состояния и уровня безопасности грунтовых плотин, и пути их решения путем применения экспресс-методики оценки достаточности превышения гребня грунтовой плотины. Экспресс-методика позволяет после введения исходных данных в течение долей секунды получать величину критерия безопасности, устанавливаемую требуемую отметку гребня плотины и, при необходимости, величину досыпки гребня плотины. Предлагаемая методика реализована с помощью редактора электронных таблиц (Excel). Она была использована при обследовании плотин более 1000 низконапорных гидроузлов. Точность результатов расчета адекватна точности установления параметров по графикам, приведенным в нормативных документах.

Грунтовая плотина, диагностический показатель, критерий безопасности, обследование, превышение гребня, техническое состояние, уровень безопасности.

Введение. Одним из основных количественных критериев безопасности и диагностических показателей технического состояния, определяющих уровень безопасности грунтовой плотины, является превышение (запас) гребня над НПУ (нормальный подпорный уровень) в верхнем бьефе.

Установив фактическое значение диагностического показателя путем измерения при обследовании и определив его предельное значение (критерий безопасности) в процессе обследований или последующей камеральной обработки, можно судить об обеспечении безопасности и уровне безопасности плотины по этому показателю.

Условие обеспечения работоспособного состояния плотины и ее нормального уровня безопасности имеет следующий вид:

$$h_{s, \text{факт}} \geq h_{s, \text{норм}} \quad (1)$$

где $h_{s, \text{факт}}$ – фактическое превышение гребня плотины в месте его наибольшего понижения, м; $h_{s, \text{норм}}$ – нормативное превышение гребня плотины, м,

или:

$$\nabla_{\text{гр, факт}} \geq \nabla_{\text{гр, норм}} \quad (2)$$

где $\nabla_{\text{гр, факт}}$ – фактическая отметка гребня плотины в месте его наибольшего понижения, м; $\nabla_{\text{гр, норм}}$ – отметка гребня плотины, определенная по действующим нормам, м.

По существу оба выражения (1) и (2) являются равноправными при условии, что расчетным случаем определения отметки гребня плотины является случай при НПУ.

Материалы и методы исследования. При отсутствии проектных материалов (и для контроля фактических параметров при наличии проектной документации) во время проведения обследования устанавливаются следующие параметры грунтовой плотины:

Отметка гребня. Абсолютная отметка гребня не устанавливается, кроме использования в отдельных случаях GPS-приемников (при наличии оборудования) или тахеометрической съемки для установления параметров плотины.

Запас (превышение) гребня над НПУ. Запас гребня устанавливается в месте максимального понижения гребня плотины путем

определения превышения над относительным уровнем НПУ с помощью нивелира или тахеометра. Допускается использование глазомерной съемки с использованием лазерных и длиннобазовых стандартных уровней, лазерных рулеток с угломером. При наличии онлайн связи для определения превышения могут использоваться GPS-приемники.

Относительная отметка нормального подпорного уровня (НПУ) определяется следующим образом.

При наличии водомерных реек или шкал на неподвижных элементах входных оголовков водопропускных сооружений положение НПУ может устанавливаться с учетом зафиксированных на них указателей.

При отсутствии инструментальных данных фактическое положение НПУ ($\nabla_{НПУ, факт}$) устанавливается при проведении обследований следующим образом:

1. Для случая нерегулируемых водосбросов (т.е. водосбросов без затворов) за НПУ принимается отметка водосливного порога во входных оголовках водосбросов.

2. Для случая водосбросов с обводными водосбросными каналами за НПУ принимается отметка водосливного порога на входе в обводной канал или при отсутствии водосливного порога – отметка дна на входе в канал.

3. При наличии затворов во входном оголовке открытых водосбросов за НПУ принимается уровень верхнего бьефа ($\nabla_{УВБ}$), устанавливаемый по зависимости

$$\nabla_{УВБ} = \nabla_{затв} - d_3$$

$\nabla_{затв}$ – уровень верхней кромки обшивки затвора, посаженного на порог; d_3 – превышение верхней кромки обшивки затвора над НПУ, которое принимается при отсутствии чертежей равным 0,2...0,3 м.

Превышение гребня над уровнем верхнего бьефа, заложения откосов, вертикальные и другие параметры элементов сооружений могут измеряться с помощью простых методов с использованием распространенного измерительного оборудования. Ниже приводятся некоторые примеры установления параметров сооружений.

Превышение гребня грунтового сооружения (h_s) над уровнем воды определяется после снятия отсчета по рейке (рис. 1) при горизонтальном положении уровня по выражению:

$$h_s = h_1 - h_2,$$

где h_1 – расстояние от оси визирования (уровень глаза) до подошвы оператора; h_2 – отсчет по рейке (рулетке) 3.

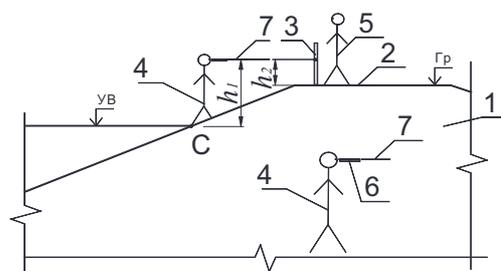


Рис. 1. Измерение превышения гребня над уровнем воды:

- 1 – плотина; 2 – гребень;
- 3 – нивелирная рейка (рулетка);
- 4 – оператор; 5 – помощник оператора;
- 6 – уровень; 7 – визирная линия

При запасе гребня превышающем значение h_1 величина h_s устанавливается согласно рисунку 2 по выражению $h_s = h_1 + h_1 - h_2$.

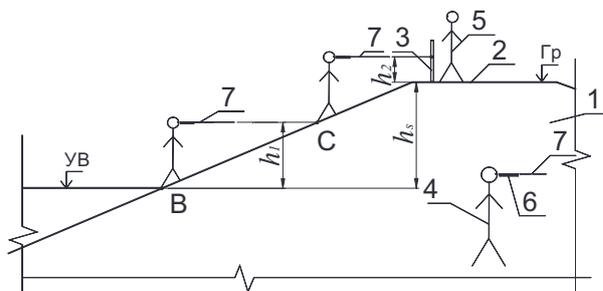


Рис. 2. Измерение превышения гребня над уровнем воды:

- 1 – плотина; 2 – гребень;
- 3 – нивелирная рейка (рулетка);
- 4 – оператор; 5 – помощник оператора;
- 6 – уровень; 7 – визирная линия

Превышение гребня (h_s) над уровнем воды может быть более точно определено методом прямого измерения с помощью двух нивелирных реек (3 и 4) при горизонтальном положении уровня 5 (рис. 3).

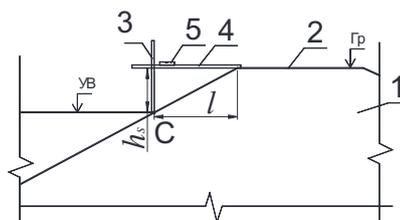


Рис. 3. Измерение превышения гребня над уровнем воды:

- 1 – плотина; 2 – гребень;
- 3 – нивелирная рейка (рулетка);
- 4 – горизонтально установленная нивелирная рейка (рулетка); 5 – уровень

Обе рейки (или одна из них) могут быть заменены рулетками. В качестве горизонтального элемента может быть использован любой ровный предмет. Приведенная схема измерения может быть использована при достаточно большом расстоянии от бровки плотины до уреза воды (телескопические нивелирные рейки изготавливаются большой длины – 3, 5 и 7 м). При пологих откосах с большим расстоянием от бровки плотины до уреза воды может потребоваться осуществление промежуточного определения. Аналогично требуется выполнение промежуточного определения при значении превышения больше роста оператора. Одновременно с превышением по зависимости $m = l/h$ определяется, при необходимости, заложение надводного откоса.

Превышение гребня (h_s) над уровнем воды может быть также определено путем прямого измерения длины надводного откоса ($l_{омк}$) в направлении, перпендикулярном урезу воды с помощью рулетки (механической или лазерной) с измерением угла наклона (желательно не менее чем в 3-х местах вдоль линии измерения) и дальнейшим вычислением по формуле

$$h_s = l_{омк} \tan(a),$$

где a – угол наклона откоса к горизонту, град.

Определение нормативного превышения гребня плотины над НПУ выполняется в соответствии со сводом правил СП 39.13330.2012 [1]. Исходными данными являются следующие:

- отметка НПУ водоема; при отсутствии проектных данных принимается условное значение отметки НПУ, например, 100;
- отметка дна водоема перед плотиной, устанавливаемая как разница между НПУ и глубиной (измеренной или вычисленной) водоема перед плотиной;
- скорость ветра расчетной обеспеченности, м/с;
- угол между направлением скорости ветра и перпендикуляром к оси плотины, град;
- длина разгона ветровой волны, м;
- заложение верхового откоса в зоне НПУ;
- обеспеченность по накату.

Ряд нюансов, иногда возникающих в процессе расчета, в этой работе не рассматривается.

При наличии проектной документации вышеперечисленные исходные данные

должны устанавливаться до проведения обследований. В процессе обследований определяются (при отсутствии проекта) или проверяются проектные данные, касающиеся, например, глубины водоема перед плотиной, заложения верхового откоса. Превышение отметки гребня плотины над НПУ $h_{s, НПУ}$ (рис. 4) над отметкой расчетного статического уровня воды в водохранилище определяется по формуле (3) [1]:

$$h_{s, НПУ} = \Delta h_{set} + h_{run 1\%} + a, \quad (3)$$

где Δh_{set} – высота ветрового нагона воды, м; $h_{run 1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1%, м; a – конструктивный запас гребня, м.

Параметры ветровых волн, а также величины Δh_{set} и $h_{run 1\%}$ определяются в соответствии со СП 38.13330.2012 [2]. Для определения параметров волн сначала определяются безразмерные параметры gL/V_W^2 и gt/V_W , в которых g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с², а t – длительность воздействия ветра в секундах (при отсутствии данных $t = 6$ час = 21600 секунд). Затем по верхней огибающей графика на рис. 1 приложения 1 [2] определяются минимальные значения параметров (gh/V_W^2) и (gt/V_W) для каждой пары параметров gL/V_W^2 и gt/V_W .

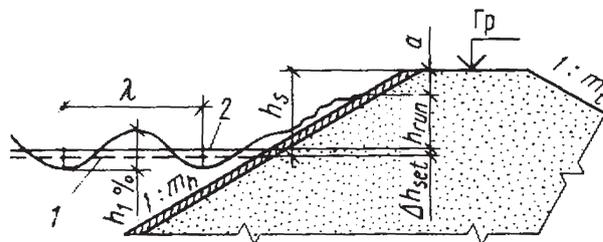


Рис. 4. Расчетная схема к определению отметки гребня плотины:

- 1 – расчетный статический уровень (НПУ),
- 2 – уровень воды при ветровом нагоне

Определение периода волны \bar{T} (в секундах) и средней длины волны $\bar{\lambda}_d$ (в метрах) выполняется по формулам:

$$\bar{T} = (g\bar{T}/V_W) \cdot (V_W/g) \text{ и } \bar{\lambda}_d = g\bar{T}^2/2\pi.$$

Затем проводится проверка глубоководности водоема по нижеприведенному условию (4).

$$0,5 \bar{\lambda}_d \leq H_1, \quad (4)$$

где H_1 – глубина водоема перед плотиной, м.

Если условие (4) выполняется, то водоем считается глубоководным и использование верхней огибающей графика на рисунке 1, приведенном в приложении 1 [2] является корректным.

Если условие глубоководности водоема не выполняется, то пользуются другими кривыми графика на рисунке 1, приведенном в приложении 1 [2].

После проверки глубоководности водоема определяется средняя высота волны \bar{h} по формуле (5) и высота волны обеспеченностью 1% по выражению (6). Величина коэффициента $K_{1\%}$ может быть принята для небольших водоемов равной 2,06...2,08.

$$\bar{h} = (g\bar{h} / V_w^2) \cdot V_w^2 / g, \quad (5)$$

$$h_{1\%} = K_{1\%} \times h. \quad (6)$$

Для определения превышения гребня плотины h_s над отметкой расчетного уровня (НПУ) в соответствии с формулой (7) необходимо установить высоту наката волны на откос $h_{run\ 1\%}$, высоту ветрового нагона Δh_{set} и величину конструктивного запаса a .

Высота наката волны на верховой откос определяется по формуле:

$$h_{run\ 1\%} = k_r k_p k_{sp} k_{run} k_j k_a h_{1\%}, \quad (7)$$

где коэффициенты $k_r, k_p, k_{sp}, k_{run}, k_j, k_a$ определяются по соответствующим таблицам и графикам, приведенным в СП [2].

Высота ветрового нагона Δh_{set} устанавливается по формуле:

$$\Delta h_{set} = K_W \frac{V_w^2 L}{g(H_1 + \Delta h_{set})} \cos \alpha, \quad (8)$$

где H_1 – глубина водоема, м (при НПУ: $H_1 = \nabla_{НПУ} - \nabla_{дна}$); k_w – коэффициент, принимаемый равным $2,1 \cdot 10^{-6}$ при скорости ветра $V_w = 20$ м/с, $k_w = 3,0 \cdot 10^{-6}$ при $V_w = 30$ м/с и $k_w = 3,9 \cdot 10^{-6}$ при $V_w = 40$ м/с; L – длина разгона ветровой волны в метрах. При определении Δh_{set} ее значение в знаменателе формулы может быть принято равным 0.

Конструктивный запас гребня плотины над верхней точкой наката волны на откос принимается как большее из значений: 0,5м (если разрушение плотины может вызвать значительный ущерб) и $0,1h_{1\%}$, где $h_{1\%}$ – высота волны 1%-ой вероятности превышения. При высоте волн менее 5 м конструктивный запас $a = 0,5$ м.

Установив значение параметров, входящих в нормативное превышение гребня,

проводим его сравнение с фактической величиной запаса гребня. Затем делаются выводы о безопасности плотины по этому показателю.

Изложенная выше методика определения нормативного превышения гребня плотины требует определенного времени на выполнение расчетов, которое отсутствует при непосредственном выезде на обследование. А знание значения этого критерия безопасности необходимо при вынесении на месте суждения об уровне безопасности плотины с учетом других количественных и качественных критериев.

Результаты и их обсуждение. Ниже приводится экспресс-методика определения превышения гребня плотины в соответствии с действующими нормами [3], позволяющая, после введения исходных данных, в течение долей секунды получить величину этого критерия безопасности, установить требуемую отметку гребня плотины и, при необходимости, величину досыпки гребня плотины.

Предлагаемая методика реализована с помощью редактора электронных таблиц (Excel). Форма таблицы с исходными данными (полужирный синий курсив), автоматически получаемыми результатами расчета и выводами приведена в таблице 1.

Для определения значений параметров, устанавливаемых по графикам, использованы следующие зависимости. Для верхней огибающей графика (на рисунке 1, приведенном в приложении 1 [2]):

$$\text{при } gL / V_w^2 \leq 100, \quad gL / V_w^2 = 0,002(gL / V_w^2)^{0,48},$$

$$\text{при } gL / V_w^2 > 100, \quad gL / V_w^2 = 0,0033(gL / V_w^2)^{0,37}.$$

Для мелководных зон необходимо использовать другие кривые, приведенные на рисунке 1 приложения 1 [2].

Для определения коэффициента k_{run} по рисунку 10 приложения 1 [2]:

$$k_{run} = (0,2 \lambda_d / h_{1\%} + 1,66) / m_h.$$

Пределами применимости этой зависимости являются следующие: $m_h \geq 2$ и $\lambda_d / h_{1\%} \leq 20$.

Указанные пределы применимости охватывают большинство грунтовых плотин (за исключением каменно-насыпных, верховые откосы которых круче 1: 2, и параметров волнового воздействия (за исключением волн с пологостью более 20).

**Распечатка исходных данных и результатов расчета
достаточности превышения гребня грунтовой плотины над НПУ**

Исходные данные			
			НПУ
Отметка расчетного уровня, м			184.2
Отметка дна, м			175
Длина разгона ветровой волны L , м			1200
Угол между осью водохранилища и направлением ветра α , град			0
Скорость ветра V_w , м/с			24.0
Заложение верхового откоса			3
Обеспеченность по накату (в %), $P =$			1
Фактический запас гребня плотины над расчетным уровнем в месте минимальной отметки гребня, $h_{s, \text{факт}}$, м			1.9
Результаты расчета			
Высота ветрового нагона, м $\Delta h_{\text{сет}} = K_w \frac{W^2 L}{g(H + \Delta h)} \cos \alpha_B$			0.016
gL / V_w^2	20.4	gT / V_w	0.99
gt / V_w	8829.0	$\bar{T} = (g\bar{T} / V_w) \cdot (V_w / g)$	2.42
$g\bar{h} / V_w^2$	0.00851	$\bar{\lambda}_d = g\bar{T}^2 / 2\pi$	9.14
Проверка глубоководности водоема:			Выполняется
$\bar{h} = (g\bar{h} / V_w^2) \times V_w^2 / g$	0.50	$h_{1\%}$	1.04
$K_{1\%}$	2.08	$\bar{\lambda}_d / h_{1\%}$	8.80
Kr	0.9	Ka	1
K_p	1	K_j	1
K_{sp}	1.5	K_{run}	1.14
$h_{\text{run } 1\%} = k_r k_p k_{sp} k_{\text{run}} k_j k_a h_{1\%}$			1.60
Конструктивный запас a , м			0.5
Требуемое превышение гребня над НПУ $h_s = \Delta h_{\text{сет}} + h_{\text{run } 1\%} + a$			2.12
Оценка достаточности превышения гребня грунтовой плотины над НПУ			
Фактическое превышение гребня плотины над расчетным уровнем в месте минимальной отметки гребня, $h_{s, \text{факт}}$, м			1.90
Превышение гребня грунтовой плотины является			недостаточным
Величина досыпки гребня не менее			0.22

При расчете высоты ветрового нагона, учитывая его незначительную величину для небольших водоемов, коэффициент k_w принят равным $2,1 \cdot 10^{-6}$.

Фактическая измеренная величина превышения гребня плотины должна сравниваться с проектной или определенной по СП.

При отсутствии такой возможности для самых предварительных оценок можно воспользоваться таблицей 2 (для бетонного крепления).

Оценка безопасности плотины и ее уровня безопасности по показателю “Превышение гребня над НПУ” водоема может быть выполнена с использованием таблицы 3.

Таблица 2

Минимальный допустимый запас гребня по отношению к отметке НПУ

	Длина разгона ветровой волны, м	Минимально допустимый запас по отношению к отметке НПУ, м
1	менее 100	0,9...0,95
2	от 100 до 200	0,95...1,1
3	от 200 до 500	1,1...1,5
4	от 500 до 1000	1,5...2,0
5	от 1000 до 2000	2...2,6
6	от 2000 до 5000	2,6...4,0

Оценка состояния и уровня безопасности грунтовой плотины по превышению гребня плотины над уровнем верхнего бьефа

	Соотношение диагностических показателей и критериев безопасности		Состояние ГТС	
			Уровень безопасности	
1	Фактический минимальный запас над НПУ <i>равен или превышает</i> определенный по СП	$h_{s, факт} \geq h_s$	Нормальное	Нормальный
2	Фактический минимальный запас над НПУ <i>равен или превышает</i> определенный по СП, но имеют место локальные повреждения гребня, устранимые текущим ремонтом	$h_{s, факт} \geq h_s$	Удовлетворительное	Пониженный
3	Фактический минимальный запас над НПУ <i>равен или превышает</i> определенный по СП, уменьшенный на величину конструктивного запаса	$h_{s, факт} \geq h_s - a$	Потенциально опасное	Неудовлетворительный
4	Фактический минимальный запас над НПУ <i>меньше</i> определенного по СП, уменьшенного на величину конструктивного запаса	$h_{s, факт} < h_s - a$	Аварийное	Опасный

В действующих нормах отсутствуют чёткие численные значения границ между уровнями безопасности ГТС как по этому показателю, так и по многим другим диагностическим показателям.

Поэтому в случае, если критерий безопасности не выполняется ($h_{s, факт} < h_{s, норм}$), т.е. безопасность плотины по этому показателю не обеспечивается, и уровень безопасности может быть одним из двух: неудовлетворительный или опасный, то возможно использование следующего подхода для определения уровня безопасности. Если требуемая величина досыпки гребня плотины (разница между требуемым по нормам и фактическим значением превышения) не превышает величину конструктивного запаса a (максимальное значение из $0,1 h_{1\%}$ и $0,5$ м), то уровень безопасности может быть оценен как неудовлетворительный.

Вышеприведенная таблица основана на формальном положении, что при пониженном уровне безопасности должны соблюдаться в обязательном порядке критерии безопасности 1-го уровня. Вместе с тем, по мнению автора, пониженный уровень безопасности может быть распространен на случай формального несоблюдения критерия безопасности плотины по превышению гребня при условии, что разница между нормативным и фактическим превышением составляет меньше конструктивного запаса.

Заключение

1. Предложенная экспресс-методика оценки достаточности превышения гребня

грунтовой плотины была использована при обследовании плотин более 1000 низконапорных гидроузлов.

2. Точность результатов расчета адекватна точности установления параметров по графикам, приведенным в СП.

Библиографический список

- СП 39.13330.2012. «Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84» (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N635/18). <http://docs.cntd.ru/document/1200095521>
- СП 38.13330.2012. «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*» (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N635/12). <http://docs.cntd.ru/document/1200095522>
- Каганов Г.М., Волков В.И. К оценке состояния низконапорных гидротехнических сооружений при отсутствии проектной документации. // Природобустройство. – 2008. – № 3. – С. 41-48.

Материал поступил в редакцию 19.11.2018 г.

Сведения об авторе

Волков Владимир Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая д. 44; e-mail: volcov_vi45@mail.ru

V.I. VOLKOV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

EXPRESS INSPECTION METHOD WITH ASSESSMENT OF THE SUFFICIENCY OF THE CREST EXCEEDING OF THE EARTH DAM

The article presents the problems associated with the assessment of the technical state and safety level of earth dams, and the ways of their solution by applying the express method of assessment of the sufficiency of the crest exceeding of the earth dam. The express method after entering initial data allows to get a value of the safety criterion in a split second and set the required crest level of the dam and, if necessary, a value of elevation. The proposed method was implemented with the help of a spreadsheet editor (Excel). The method was used when inspecting small dams of more than 1000 hydro systems. The accuracy of the calculation results is adequate to the accuracy of establishment of parameters according to the graphs given in normative documents.

Earth dam, diagnostic parameter, safety criterion, inspection, exceeding the crest, technical state, safety level.

References

1. SP 39.13330.2012. «Plotiny iz gruntovyh materialov. Aktualizirovannaya redaktsiya CNiP 2.06.05-84» (utv. Prikazom Minregiona Rossii ot 29.12.2011 N635/18). <http://docs.cntd.ru/document/1200095521>

2. SP 38.13330.2012. «Nagruzki i vozdeystviya na gidrotehnicheskie sooruzheniya (volnovye, ledovye i ot sudov). Aktualizirovannaya redaktsiya CNiP 2.06.04-82*» (utv. Prikazom Minregiona Rossii ot 29.12.2011 N635/12). <http://docs.cntd.ru/document/1200095522>

3. Kaganov G.M., Volkov V.I. K otsenke sostoyaniya nizkonapornyh gidrotehnicheskikh

sooruzhenij pri otsutstvii proektnoj dokumentatsii. // Prirodoobustrojstvo. – 2008. – № 3. – S. 41-48.

The material was received at the editorial office
19.11.2018 g.

Information about the author

Volkov Vladimir Ivanovich, candidate of technical sciences, professor of the department of hydro technical structures FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; e-mail: volcov_vi45@mail.ru

УДК 502/504:627.8

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-72-80

В.Л. СНЕЖКО¹, С.А. СИДОРОВА², О.С. СИМОНОВИЧ¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

ПРОГНОЗ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГРУНТОВЫХ НИЗКОНАПОРНЫХ ПЛОТИН

По официальным данным Российского регистра гидротехнических сооружений выполнен обзор гидроузлов, расположенных на территории Воронежской области. Выявлено преобладание низконапорных сооружений IV класса, расположенных на прудах объемом менее 1 млн м³. На 89% гидроузлов напорный фронт формировали земляные плотины, половина из которых соответствовала пониженному уровню безопасности. Собственником более 50% объектов являлись сельскохозяйственные предприятия. Целью расчетов был вероятностный прогноз снижения уровня безопасности грунтовых плотин с течением времени при отсутствии ремонтных мероприятий. Использованы методы теории вероятностей, математической статистики и системной теории надежности. Состояния системы представлены неоднородной цепью Маркова. Конкретные значения интенсивностей сохранения снижения уровня безопасности