

ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.83

Ю.М. Косиченко, Е.Д. Михайлов

ФГБНУ «РосНИИПМ»

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РЕЗЕРВНОГО ВОДОСБРОСА С РАЗМЫВАЕМОЙ ВСТАВКОЙ

Предложена методика оценки надежности и безотказности работы резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой на низконапорных гидроузлах. Для оценки надежности работы резервного водосброса с размываемой вставкой используется метод Байеса. Приведен расчет вероятностей диагнозов (состояний) резервного водосброса при проверке двух диагностических признаков k_1 и k_2 . Одно из основных требований, предъявляемых к резервным водосбросам, — сработка (размыв) грунтовой вставки при превышении паводкового расхода расчетной обеспеченности с полным открытием водосливного отверстия.

Ключевые слова: надежность работы, резервный водосброс, вероятность диагноза, допускаемый риск, аварийная ситуация, метод Байеса.

Водосбросные сооружения (водосбросы) относятся к наиболее ответственным сооружениям водохранилищных гидроузлов, поэтому проблеме оценки и обеспечения их надежности и безопасности всегда уделялось особое внимание. Важнейшей функцией данных объектов является обеспечение надежности и безопасности других гидросооружений и народнохозяйственных объектов в верхнем и нижнем бьефах. При помощи водосбросов осуществляется управление уровнями воды в бьефах, аварийные опорожнения водохранилищ для недопущения аварийных ситуаций на сооружениях гидроузла и т.п. [1—3].

В настоящее время в компоновках речных гидроузлов для безопасного пропуска паводковых вод применяют различные водосбросы (береговые, туннельные, шахтные, сифонные, ковшовые и др.).

Исследования водосбросов с переливом через гребень грунтовых плотин были впервые начаты в МГСУ П.И. Гордиенко в 1950-е гг. и продолжены Ю.П. Правдивцем и другими исследователями [4—7].

Как отмечается в [8], актуальность безопасности гидроузлов, связанная с работой их водосбросных сооружений, подтверждается тем, что около 44 % грунтовых плотин разрушилось по причине отказа водосбросного сооружения [9—14]. Наиболее распространенными причинами аварий на водосбросных сооружениях являются недостаточная пропускная способность, заклинивание затворов и неисправность подъемных механизмов. Поэтому в ряде случаев применение в составе гидроузлов водосбросов, рассчитанных на паводки расчетной обеспеченности, оказывается недостаточным. В этих условиях на прудах и водохранилищах целесообразно использование кроме основных водосбросов дополнительных или резервных водосбросов, предусмотренных для пропуска паводков редкой повторяемости [15—17].

Основной водосброс в виде бетонного водослива, входящий в напорный фронт и сопрягающийся с грунтовыми частями плотины расположен на отметке нормального подпорного уровня (НПУ), а резервный водосброс устраивается несколько ниже отметки форсированного подпорного уровня (ФПУ) — на 0,3...0,5 м.

Изучение возможных сценариев аварий грунтовых плотин и их водосбросов представляет собой важную задачу, особенно в период длительной эксплуатации, так как их техническое состояние со временем ухудшается [18].

При этом для повышения эффективности работы резервных водосбросов на грунтовых плотинах применяют размываемую грунтовую вставку.

Авторами разработана новая конструкция резервного водосброса с размываемой вставкой (рис. 1) (заявка на изобретение № 2014100661/13 (000867) от 09.01.2014 г.). Она включает водосливной порог с защитным покрытием из полимерной геомембраны [19, 20], закрепленный на откосе со стороны верхнего бьефа железобетонными плитами. Сверху него устроена грунтовая вставка с водосливным экраном из геомембраны. С бортов грунтовой вставки защитное покрытие также закрепляется поверху бетонными блоками или специальными анкерами.

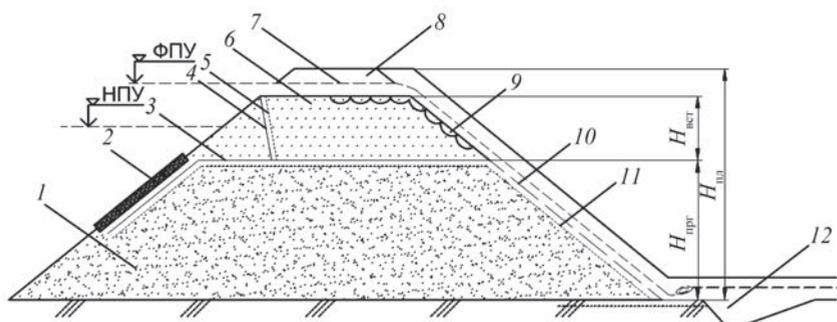


Рис. 1. Схема резервного водосброса в период нормальной работы: 1 — порог грунтовой плотины под размываемой вставкой; 2 — крепление железобетонными плитами защитного покрытия; 3 — защитное покрытие из полимерной геомембраны; 4 — водосливной экран из геомембраны; 5 — сильнофильтрующий элемент из двух или трех слоев геотекстиля; 6 — размываемая грунтовая вставка; 7 — водопроводящая часть (тракт) резервного водосброса; 8 — гребень грунтового подпорного сооружения; 9 — области размыва на низовой грани размываемой вставки; 10 — перфорированная часть защитного покрытия из геомембраны; 11 — геотекстиль («Дорнит») в два или три слоя по типу обратного фильтра; 12 — ковш с каменной наброской

Работает резервный водосброс с размываемой вставкой следующим образом. При подъеме уровня воды в верхнем бьефе водоема и достижении ФПУ, поток переливается через верх водосливного экрана из геомембраны и грунтовой вставки. В то же время вода поступает по сильнофильтрующему элементу из двух или трех слоев геотекстиля («Дорнита») в нижнюю часть грунтовой вставки. После размыва вставки из местного грунта [21, 22] водосливной экран под действием гидродинамической силы потока укладывается на защитное покрытие из полимерной геомембраны в ложе водопроводящей части, полностью освобождая все сечение грунтовой призмы. Геомембрана укладывается по всему поперечному сечению резервного водосброса, а также со стороны верхнего и нижнего бьефа, все части полотна защитного покрытия соединяют между

собой с помощью сварки. Со стороны верхнего бьефа укладка геомембраны начинается от подошвы подпорного сооружения до порога резервного водосброса, а со стороны нижнего бьефа — от порога до начала отводящего канала. Применение покрытия из геомембраны для защиты водосливного порога и водопроводящей части полностью исключает их размыв, а, следовательно, и грунтовой плотины. Фильтрационный поток отводится через перфорированную часть защитного покрытия из геомембраны, расположенную со стороны нижнего бьефа у подошвы плотины.

В [23—25] представлена методика гидравлического расчета резервного водосброса с размываемой вставкой и обоснование его основных параметров.

С использованием известной формулы для гидравлического расчета [26] водослива с широким порогом, авторами была получена расчетная зависимость высоты размываемой вставки с учетом N -го количества секций водосброса трапециoidalного сечения в следующем виде:

$$H_{\text{вст.}i} = \left(\frac{Q_{\text{рез.в}}^{\text{общ}}}{m_i (b_i + m_0 H_{\text{вст.}i}) N \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (1)$$

где $H_{\text{вст.}i}$ — высота вставки i -й секции водосброса, равная напору на пороге водопропускной части; $Q_{\text{рез.в}}^{\text{общ}}$ — расчетный расход, пропускаемый через все секции резервного водосброса; b_i — ширина по дну i -й секции резервного водосброса; m_i — коэффициент расхода для водослива с широким порогом i -й секции резервного водосброса; m_0 — коэффициент заложения откосов трапециoidalного сечения водопропускной части; N — количество секций водосброса.

Расчет высоты вставки по данной зависимости производится методом последовательных приближений, где предварительно задается ширина каждой секции b_i и количество секций N . Общий расчетный расход $Q_{\text{рез.в}}^{\text{общ}}$, пропускаемый через все секции резервного водосброса, определяется как разность максимального паводочного расхода редкой повторяемости $Q_{p < 0,5 \dots 1 \%}$ и расчетного расхода основного водосброса для низконапорного гидроузла III—IV класса $Q_{\text{осн.в}}$:

$$Q_{\text{рез.в}}^{\text{общ}} = Q_{p < 0,5 \dots 1,0 \%} - Q_{\text{осн.в}}. \quad (2)$$

Для количественной оценки надежности работы подобной конструкции резервного водосброса используем метод технической диагностики, основанный на формуле Байеса [27, 28]

$$P(D_i/k_j) = P(D_i) \frac{P(k_j/D_i)}{P(k_j)}, \quad (3)$$

где $P(D_i)$ — априорная вероятность диагноза D_i ; $P(k_j/D_i)$ — условная вероятность появления признака k_j у объектов с состоянием D_i ; $P(k_j)$ — вероятность появления признака k_j во всех сооружениях независимо от состояния.

Для анализа надежной работы резервного водосброса рассмотрим в качестве возможных четыре основных состояния (диагноза):

D_1 — отказ сработки размываемой вставки (неразмыв грунта тела переливающимся потоком) из-за уплотнения и закрепления грунта корнями растений;

D_2 — отказ защитного покрытия водосливного порога из-за ненадежности

крепления на верховом откосе плотины бетонных плит и бортовых креплений водопроницающего русла резервного водосброса и образованием прорана до подошвы плотины;

D_3 — другие виды отказов;

D_4 — нормальное состояние резервного водосброса, заключающееся в полном освобождении водосливного отверстия резервного водосброса вследствие размыва грунтовой вставки и отсутствия повреждений защитного покрытия из геомембраны в местах крепления.

В процессе наблюдений за резервным водосбросом проверяются признаки:

k_1 — средняя скорость переливающегося потока через грунтовую вставку превышает размывающую скорость для грунта вставки ($V \geq V_{\text{разм}}$), а следовательно происходит ее сработка;

k_2 — прочность материала геомембраны при разрыве превышает напряжение в местах крепления $R \geq \sigma$, а, следовательно, надежность крепления защитного покрытия из геомембраны обеспечивается.

Противоположные признаки \bar{k}_1 и \bar{k}_2 , соответственно, будут означать, что размыв грунта вставки не наблюдается или происходит медленно, и не обеспечивается надежность крепления защитного покрытия водосливного порога в верхней части водосливного русла. Таким образом, в качестве признаков ненадежной работы водосброса с размываемой вставкой будут следующие условия:

а) когда не будет происходить размыв грунтовой вставки $V \leq V_{\text{разм}}$;

б) когда не будет обеспечена надежность защитного покрытия из полимерной геомембраны в местах крепления $R \leq \sigma$.

Общий вид формулы Байеса для определения вероятностей диагнозов (состояний) резервного водосброса при проверке двух диагностических признаков k_1 и k_2 :

$$P(D_i/k_1k_2) = (P(D_i)P(k_1/D_i)P(k_2/D_i)) / (P(D_1)P(k_1/D_1)P(k_2/D_1) + P(D_2)P(k_1/D_2)P(k_2/D_2) + P(D_3)P(k_1/D_3)P(k_2/D_3) + P(D_4)P(k_1/D_4)P(k_2/D_4)), \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; n — число состояний (диагнозов) плотины.

Используя формулу (4), определим вероятность нахождения резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой в одном из состояний $D_1 - D_4$ при различном значении диагностических параметров. Примем, что при состоянии D_1 признак k_1 встречается в 10 % случаев $P(k_1/D_1) = 0,10$, а признак k_2 — в 5 % случаев $P(k_2/D_1) = 0,05$. При состоянии D_2 признак k_1 встречается в 5 % случаев $P(k_1/D_2) = 0,05$, а признак k_2 — в 10 % случаев $P(k_2/D_2) = 0,10$. При состоянии D_3 — $P(k_1/D_3) = 0,03$, $P(k_2/D_3) = 0,05$, при состоянии D_4 — $P(k_1/D_4) = 0,05$, $P(k_2/D_4) = 0,03$ [8].

Исходные данные приведены в табл. 1.

Ввиду отсутствия данных о работе резервных водосбросов интенсивность их отказов примем соответству-

Табл. 1. Исходные данные вероятностей признаков и состояний (диагнозов) для оценки надежности работы резервного водосброса

D_i	$P(k_1/D_i)$	$P(k_2/D_i)$	$P(D_i)$
D_1	0,10	0,05	0,00145
D_2	0,05	0,10	0,00025
D_3	0,03	0,05	0,0033
D_4	0,05	0,03	0,995

ющей отказам грунтовых плотин, по данным [29], равной 0,005. Тогда значения вероятностей отказов резервного водосброса с размываемой вставкой по выше-приведенным состояниям (диагнозам) примем следующими: $P(D_1) = 0,00025$, $P(D_2) = 0,00145$, $P(D_3) = 0,0033$, $P(D_4) = 1 - \sum P(D_{1...3}) = 0,995$.

Определим вероятность состояний размываемой грунтовой вставки резервного водосброса, если обследование показало, что признак k_1 отсутствует (грунтовая вставка не размывается), но имеется признак k_2 (обеспечивается надежное крепление защитного покрытия водосливного порога и бортовых креплений). Отсутствие признака k_1 является наличием признака \bar{k}_1 (противоположное событие). Соответственно вероятность появления признака k_1 определяется как разность полной вероятности, равной единице, и вероятности признака k_1 :

$$P(\bar{k}_1/D_i) = 1 - P(k_1/D_i). \quad (5)$$

Также определим вероятность состояний грунтовой плотины, если отсутствует признак k_2 , но имеется признак k_1 с наличием противоположного признака \bar{k}_2 :

$$P(\bar{k}_2/D_i) = 1 - P(k_2/D_i). \quad (6)$$

В том случае, когда оба признака k_1 и k_2 отсутствуют, вероятность появления противоположных признаков вычисляется аналогично по следующей формуле:

$$P(\bar{k}_1\bar{k}_2/D_i) = 1 - P(k_1k_2/D_i). \quad (7)$$

Из формулы Байеса (4) могут быть получены следующие расчетные формулы вероятностей диагнозов (состояний) резервного водосброса при проверке диагностических признаков [30]:

при отсутствии признака k_1 и наличии признака k_2 —

$$P(D_i/\bar{k}_1k_2) = \left(P(D_i)P(\bar{k}_1/D_i)P(k_2/D_i) \right) / \left(P(D_1)P(\bar{k}_1/D_1)P(k_2/D_1) + P(D_2)P(\bar{k}_1/D_2)P(k_2/D_2) + P(D_3)P(\bar{k}_1/D_3)P(k_2/D_3) + P(D_4)P(\bar{k}_1/D_4)P(k_2/D_4) \right);$$

при наличии признака k_1 и отсутствии признака k_2 —

$$P(D_i/k_1\bar{k}_2) = \left(P(D_i)P(k_1/D_i)P(\bar{k}_2/D_i) \right) / \left(P(D_1)P(k_1/D_1)P(\bar{k}_2/D_1) + P(D_2)P(k_1/D_2)P(\bar{k}_2/D_2) + P(D_3)P(k_1/D_3)P(\bar{k}_2/D_3) + P(D_4)P(k_1/D_4)P(\bar{k}_2/D_4) \right);$$

при отсутствии обоих признаков k_1 и k_2 —

$$P(D_i/\bar{k}_1\bar{k}_2) = \left(P(D_i)P(\bar{k}_1/D_i)P(\bar{k}_2/D_i) \right) / \left(P(D_1)P(\bar{k}_1/D_1)P(\bar{k}_2/D_1) + P(D_2)P(\bar{k}_1/D_2)P(\bar{k}_2/D_2) + P(D_3)P(\bar{k}_1/D_3)P(\bar{k}_2/D_3) + P(D_4)P(\bar{k}_1/D_4)P(\bar{k}_2/D_4) \right);$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; n — число состояний (диагнозов) плотины.

Результаты расчетов различных состояний размываемой грунтовой вставки резервного водосброса приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты оценки вероятностей состояний резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой

D_i	$P(D_i/k_1k_2)$	$P(D_i/\bar{k}_1\bar{k}_2)$	$P(D_i/k_1\bar{k}_2)$	$P(D_i/\bar{k}_1k_2)$
D_1	$0,83 \cdot 10^{-3}$	$0,39 \cdot 10^{-3}$	$0,49 \cdot 10^{-3}$	$0,23 \cdot 10^{-3*}$
D_2	$4,81 \cdot 10^{-3}$	$4,81 \cdot 10^{-3}$	$1,35 \cdot 10^{-3*}$	$1,35 \cdot 10^{-3*}$
D_3	$3,29 \cdot 10^{-3*}$	$5,58 \cdot 10^{-3}$	$1,94 \cdot 10^{-3*}$	$3,30 \cdot 10^{-3*}$
D_4	$9,911 \cdot 10^{-1*}$	$9,892 \cdot 10^{-1*}$	$9,962 \cdot 10^{-1}$	$9,951 \cdot 10^{-1}$

Примечание. * — значения, не соответствующие требованиям сработки размываемой вставки резервного водосброса.

При анализе результатов расчета вероятности состояний размываемой грунтовой вставки резервного водосброса будем учитывать допускаемые их значения как для размываемой грунтовой вставки при нормальном состоянии D_4 , так и для отдельных ее состояний $D_1 - D_3$. В качестве допускаемого значения вероятности нормального состояния резервного водосброса будем считать достаточно высокое значение вероятности сработки (размыва) грунтовой вставки, составляющее 0,995.

Согласно СП 58.13330.2012, допускаемое значение риска аварий на напорных ГТС IV класса составляет $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год¹. Принимая в качестве расчетной допускаемую величину минимума риска сработки резервного водосброса $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год, найдем распределение частных рисков основных причин отказов сработки резервного водосброса и допустимые значения вероятностей отдельных состояний резервного водосброса с учетом двух диагностических признаков k_1 и k_2 — $P(D_i/k_1k_2)$ (табл. 3). Допускаемая вероятность появления состояния (диагноза) резервного водосброса рассчитывалась, исходя из следующего соотношения [31]:

$$P_{\text{доп}}(D_i/k_1k_2) = 1 - R_{\text{доп}}, \quad (8)$$

где $R_{\text{доп}}$ — допускаемый минимум риска сработки резервного водосброса.

Табл. 3. Допускаемые значения рисков отказов резервного водосброса с размываемой вставкой

D_i	Состояние резервного водосброса	Доля состояния (причины), %	Допускаемый минимум риска сработки резервного водосброса, 1/год	Допускаемая вероятность появления состояний $P_{\text{доп}}(D_i/k_1k_2)$
D_1	Отказ сработки размываемой вставки	5	$0,25 \cdot 10^{-3}$	0,9985
D_2	Отказ защитного покрытия из геомембраны водосливного порога	29	$1,45 \cdot 10^{-3}$	0,9997
D_3	Другие виды отказов	66	$3,30 \cdot 10^{-3}$	0,9967
D_4	Нормальное состояние	100	$5,00 \cdot 10^{-3}$	0,9950

¹ СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01—2003: утв. Минрегион РФ от 29.12.2011 г. № 623. М.: Изд-во стандартов, 2013. 38 с.

Сопоставление расчетных данных вероятностей отдельных состояний резервного водосброса в табл. 2 с допускаемыми значениями в табл. 3 показывает, что при выполнении условий k_1 и k_2 будет происходить сработка (размыв) грунтовой вставки, за исключением состояний D_3 и D_4 . При выполнении условия k_2 и невыполнения условия k_1 сработка (размыв) грунтовой вставки будет происходить при диагнозах $D_1 - D_3$, а при выполнении условия k_1 и невыполнения условия k_2 — D_1 и D_4 . При условии отсутствия признаков k_1 и k_2 удовлетворяет допускаемым нормам только состояние D_4 . Близкие значения вероятностей состояния к допускаемым характеристикам получены при присутствии обоих признаков k_1 и k_2 и отсутствии обоих признаков для состояния D_3 — $P(D_3/k_1k_2) = 3,29 \cdot 10^{-3}$ и $P(D_3/\bar{k}_1\bar{k}_2) = 3,30 \cdot 10^{-3}$. В случае отсутствия признака k_1 и присутствия признака k_2 вероятность состояний получается наибольшей для состояния D_3 — $P(D_3/\bar{k}_1k_2) = 5,58 \cdot 10^{-3}$, а в случае отсутствия обоих признаков k_1 и k_2 — наименьшей для состояния D_1 — $P(D_1/\bar{k}_1\bar{k}_2) = 0,23 \cdot 10^{-3}$.

Выводы. 1. На основании проведенных исследований показана возможность использования метода Байеса для количественной оценки эксплуатационной надежности резервного водосброса с размываемой вставкой.

2. В качестве основных состояний (диагнозов) отказов в работе новой конструкции резервного водосброса с размываемой вставкой и защитным покрытием из геомембраны водосливного порога обоснованы случаи: а) неразмыва грунта тела вставки переливающимся потоком из-за уплотнения и закрепления грунта корнями растений; б) нарушения надежности крепления защитного покрытия из геомембраны в местах крепления бетонными плитами со стороны верхнего бьефа и по бровкам водопроводящей части водосброса.

Библиографический список

1. Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., Малахов В.В., Бестужева А.С., Саинов М.П., Солдатов П.В., Толстиков В.В. Гидротехнические сооружения : в 2-х ч. / под ред. Л.Н. Рассказова : 2-е изд., испр. и доп. Часть 1. М. : Изд-во АСВ, 2008. 576 с.
2. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин. М. : Энергоатомиздат, 1990. 121 с.
3. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений. Справочное пособие / под ред. А.Б. Векслера. М. : Энергоатомиздат, 1988. 624 с.
4. Беляков А.А., Правдивец Ю.П. Влияние схемы пропуска паводковых расходов на экономичность гидроузлов с грунтовыми плотинами // Энергетическое строительство. 1978. № 9. С. 29—32.
5. Гордиенко П.И. Пути удешевления паводковых водосбросов гидроузлов // Гидротехническое строительство. 1958. № 8. С. 36—44.
6. Правдивец Ю.П. Опыт пропуска паводков через недостроенные плотины из местных материалов // Энергетическое строительство за рубежом. 1977. № 2. С. 22—25.
7. Правдивец Ю.П. Пропуск паводковых вод через недостроенные плотины из местных материалов // Энергетическое строительство. 1977. № 4. С. 22—25.
8. Дерюгин Г.К., Наумов О.С. Разрушение плотин в связи с пропуском сбросных расходов // Гидротехническое строительство. 1997. № 2. С. 30—33.
9. Blind H. The Safety of Dams // Int. Water Power and Dam Construction. 1983. Vol. 35. No. 5. Pp. 17—21.
10. Boccotti P. Sulla probabilita di onde di altezza assegnata // Giornale Genio Civile. 1983. No. 4. Pp. 165—174.

11. *Boccotti P., Rosso R.* Risk analysis of spillway design floods // Proc. of the Int. Conf. on Safety of Dams. Coimbra. 1984. Pp. 85—92.
12. *Marinier G.* Safety of dams in operation // Trans. of the 14th Congress on Large Dams. Rio de Janeiro, 1982. Vol. 1. General Rept. Q 52. Pp. 1471—1510.
13. *Ribler P.* Zur Sicherheitsdiskussion über Talsperrendämme // Wasserwirtschaft. 1981. Vol. 71. No. 7/6. Pp. 200—205.
14. *Serafim J.L., Coutinho-Rodrigues J.M.* Statistics of dam failures: a preliminary report // Int. Water Power & Dam Construction. 1989. Vol. 41. No. 4. Pp. 30—34.
15. *Стефанишин Д.В.* Оценка вероятности разрушения грунтовых плотин при отказе водосбросных сооружений // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева : сб. науч. тр. 1987. Т. 202. С. 53—57.
16. *Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д.* Применение резервных водосбросов в грунтовых плотинах для пропуска паводковых расходов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. Вып. 2 (14). С. 124—137. Режим доступа: http://www.gosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec263-field6.pdf. Дата обращения: 18.05.2014.
17. *Косиченко Ю.М., Морозов К.В.* Быстровозводимый резервный водосброс низконапорного гидроузла малого водохранилища // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. Вып. 4 (08). С. 65—78. Режим доступа: http://www.gosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec138-field6.pdf. Дата обращения: 10.09.2014.
18. *Стефанишин Д.В.* К оценке надежности водопропускных сооружений гидроузлов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Гидравлика гидротехнических сооружений : сб. науч. тр. СПб. : Изд-во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2000. Т. 236. С. 77—82.
19. *Косиченко Ю.М., Баев О.А.* Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности // Гидротехническое строительство. 2014. № 8. С. 18—25.
20. *Баев О.А.* Применение планирования эксперимента для изучения водопроницаемости экрана из геомембраны // Природообустройство. 2014. № 3. С. 46—51.
21. *Богославчик П.М.* Исследования транспортирующей способности потока при размыве плотин из песчаных грунтов // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. 1985. Вып. 14. С. 48—52.
22. *Богославчик П.М.* Исследование кривых свободной поверхности на моделях грунтовых плотин при их размыве переливом // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. 1987. Вып. 16. С. 71—75.
23. *Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д.* Методика расчета параметров резервного водосброса с размываемой вставкой // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. Вып. 4 (16). С. 176—189. Режим доступа: http://www.gosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec306-field6.pdf. Дата обращения: 14.07.2014.
24. *Богославчик П.М.* Гидравлический расчет резервного водосброса с размываемой вставкой // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. 1990. Вып. 19. С. 24—30.
25. Пат. 2498007 РФ, МПК E02B7/06. Резервный водосброс грунтовой плотины / Ю.М. Косиченко, К.В. Морозов, М.А. Чернов, Е.Д. Михайлов ; патентообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». № 2012114853/13; заявл. 13.04.2012; опубл. 13.04.2012, Бюл. № 31. 15 с.
26. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П.Г. Киселева. 5-е изд. М. : Энергия, 1974. 312 с.
27. *Биргер И.А.* Техническая диагностика. М. : Машиностроение, 1978. 241 с.
28. *Стефанишин Д.В., Гавриленко Т.В.* Некоторые предложения по количественной оценке надежности водосбросов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1991. Т. 225. С. 29—33.

29. *Финагенов О.М., Белякова С.Н.* Оценка эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2007. № 9. С. 24—27.

30. *Беллендир Е.Н., Ивашищев Д.А., Стефанишин Д.В., Финагенов О.М., Шульман С.Г.* Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений. Т. 1. СПб. : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2003. 532 с.

31. *Иваненко Ю.Г., Ткачев А.А.* Теоретические принципы и решения специальных задач гидравлики открытых водотоков. Новочеркасск : Лик, 2013. 203 с.

Поступила в редакцию в декабре 2014 г.

Об авторах: **Косиченко Юрий Михайлович** — доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке, **Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (ФГБНУ «РосНИИПМ»)**, 346421, г. Новочеркасск, Ростовская обл., пр-т Баклановский, д. 190, gosniipm@yandex.ru;

Михайлов Евгений Дмитриевич — младший научный сотрудник отдела безопасности гидротехнических сооружений, **Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (ФГБНУ «РосНИИПМ»)**, 346421, г. Новочеркасск, Ростовская обл., пр-т Баклановский, д. 190, KAMevgeniy1990@mail.ru.

Для цитирования: *Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д.* Оценка надежности работы резервного водосброса с размываемой вставкой // Вестник МГСУ. 2015. № 2. С. 130—140.

Yu.M. Kosichenko, E.D. Mikhaylov

RELIABILITY ASSESSMENT OF RESERVED WATER DISPOSAL WITH ERODIBLE FUSE PLUG

Water disposal constructions are one of the most responsible constructions of reservoir hydrosystem, that's why the a lot of attention was always paid to the problems of estimating and providing their reliability and safety. The most important function of such objects is providing reliability and safety of other hydraulic constructions and economic assets in afterbay and water head.

The authors offer estimation method for reliability and faultless performance of reserved water disposal with erodible fuse plug on low-head water development. In order to estimate the reliability of reserved water disposal with erodible fuse plug the Bayesian treatment was used. The calculation of diagnoses (states) of reserved water disposal is offered in case of diagnostic properties k_1 and k_2 . One of the main demands placed on reserved water disposals is erosion of soil plug in case of flood discharge exceedance over the estimated frequency with the full opening of the waste sluice.

Key words: operating reliability, reserved water disposal, diagnosis possibility, allowable risk, emergency situation, Bayesian treatment.

References

1. Rasskazov L.N., Orekhov V.G., Aniskin N.A., Malakhov V.V., Bestuzheva A.S., Sainov M.P., Soldatov P.V., Tolstikov V.V. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Hydraulic Engineering Structures]. Moscow, Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov Publ., 2008, 576 p. (In Russian)
2. Malakhanov V.V. *Tekhnicheskaya diagnostika gruntovykh plotin* [Technical Diagnosis of Earth Dams]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990, 121 p. (In Russian)
3. Veksler A.B. *Gidravlicheskie raschety vodosbrosnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Spravochnoe posobie* [Hydraulic Calculation of Water Disposal Hydraulic Engineering Structures : Reference Book]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 624 p. (In Russian)
4. Belyakov A.A., Pravdivets Yu.P. Vliyaniye skhemy propuska pavodkovykh raskhodov na ekonomichnost' gidrouzlov s gruntovymi plotinami [Influence of Flood Discharge Scheme on the Economical Efficiency of Hydraulic Power Systems with Earth Dams]. *Energeticheskoe stroitel'stvo* [Energy Sector Construction]. 1978, no. 9, pp. 29—32. (In Russian)

5. Gordienko P.I. Puti udeshevleniya pavadkovykh vodosbrosov gidrouzlov [Ways of Cheapening the Flood Gates of Hydraulic Power Systems]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1958, no. 8, pp. 36—44. (In Russian)
6. Pravdivets Yu.P. Opyt propuska pavadkov cherez nedostroennye plotiny iz mestnykh materialov [Experience of Flood Discharge through Uncompleted Dams Made of Local Materials]. *Energeticheskoe stroitel'stvo za rubezhom* [Energy Sector Construction Abroad]. 1977, no. 2, pp. 22—25. (In Russian)
7. Pravdivets Yu.P. Propusk pavadkovykh vod cherez nedostroennye plotiny iz mestnykh materialov [Flood Discharge through Uncompleted Dams Made of Local Materials]. *Energeticheskoe stroitel'stvo* [Energy Sector Construction]. 1977, no. 4, pp. 22—25. (In Russian)
8. Deryugin G.K., Naumov O.S. Razrushenie plotin v svyazi s propuskom sbrosnykh raskhodov [Dams Destruction Because of Escapage Discharge]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1997, no. 2, pp. 30—33. (In Russian)
9. Blind H. The Safety of Dams. *Int. Water Power and Dam Construction*. 1983, vol. 35, no. 5, pp. 17—21.
10. Boccotti P. Sulla probabilita di onde di altezza assegnata. *Giornale Genio Civile*. 1983, no. 4, pp. 165—174.
11. Boccotti P., Rosso R. Risk Analysis of Spillway Design Floods. *Proc. of the Int. Conf. on Safety of Dams*. Coimbra. 1984, pp. 85—92.
12. Marinier G. Safety of Dams in Operation. *Trans. of the 14th Congress on Large Dams*. Rio de Janeiro, 1982, vol. 1, General Rept., Q 52, pp. 1471—1510.
13. Ribler P. Zur Sicherheitsdiskussion uber Talsperrendamme. *Wasserwirtschaft*. 1981, vol. 71, no. 7/6, pp. 200—205.
14. Serafim J.L., Coutinho-Rodrigues J.M. Statistics of Dam Failures: a Preliminary Report. *Int. Water Power and Dam Construction*. 1989, vol. 41, no. 4, pp. 30—34.
15. Stefanishin D.V. Otsenka veroyatnosti razrusheniya gruntovykh plotin pri otkaze vodosbroznykh sooruzheniy [Estimation of Damage Possibility of Earth Dams in Case of Water Collectors Rejection]. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva* [News of the B.E. Vedeneev All Russia Institute of Hydraulic Engineering]. 1987, vol. 202, pp. 53—57. (In Russian)
16. Kosichenko Yu.M., Mikhaylov E.D. Primenenie rezervnykh vodosbrosov v gruntovykh plotinakh dlya propuska pavadkovykh raskhodov [Application of Reserved Water Discharges in Earth Dams for Flood Discharge]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific-Research Institute of Reclamation Problem]. 2014, no. 2 (14). Pp. 124—137. Available at: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec263-field6.pdf. Date of access: 18.05.2014. (In Russian)
17. Kosichenko Yu.M., Morogov K.V. Bystrovozvodimyy rezervnyy vodosbros nizkonapornogo gidrouzla malogo vodokhranilishcha [Quick-erect Reserved Water Disposal of Low-Head Water Development of a Tank]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific-Research Institute of Reclamation Problem]. 2012, no. 4 (08), pp. 67—78. Available at: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec138-field6.pdf. Date of access: 10.09.14. (In Russian)
18. Stefanishin D.V. K otsenke nadezhnosti vodopropusknykh sooruzheniy gidrouzlov [To the Reliability Estimation of Water Disposal Constructions of Hydraulic Power Systems]. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva Gidravlika gidrotekhnicheskikh sooruzheniy : sbornik nauchnykh trudov* [News of the B.E. Vedeneev All Russia Institute of Hydraulic Engineering : Collection of Scientific Articles]. Saint Petersburg, VNIIG im. B.E. Vedeneeva Publ., 2000, vol. 236, pp. 77—82. (In Russian)
19. Kosichenko Yu.M., Baev O.A. Vysokonadezhnye konstruksii protivofil'tratsionnykh pokrytiy kanalov i vodoemov, kriterii ikh effektivnosti i nadezhnosti [Highly Reliable Constructions of Concrete Blankets of Channels and Reservoirs, Criteria of their Efficiency and Reliability]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 2014, no. 8, pp. 18—25. (In Russian)
20. Baev O.A. Primenenie planirovaniya eksperimenta dlya izucheniya vodopronitsaemosti ekrana iz geomembrany [Application of Experiment Planning for Waterproof Investigation of a Blanket Made of Geomembrane]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering]. 2014, no. 3, pp. 46—51. (In Russian)
21. Bogoslavchik P.M. Issledovaniya transportiruyushchey sposobnosti potoka pri razmyve plotin iz peschanykh gruntov [Investigation of the Transport Capacity of a Flood at Dam Erosion Made of Sandy Soil]. *Vodnoe khozyaystvo i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Water Economy and Hydraulic Engineering]. 1985, no. 14, pp. 48—52. (In Russian)

22. Bogoslavchik P.M. Issledovanie krivykh svobodnoy poverkhnosti na modelyakh gruntovykh plotin pri ikh razmyve perelivom [Investigation of Surface Curves on the Models of Soil Dams in Case of their Erosion by the Runoff]. *Vodnoe khozyaystvo i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Water Economy and Hydraulic Engineering]. 1987, no. 16, pp. 71—75. (In Russian)

23. Kosichenko Yu.M., Mikhaylov E.D. Metodika rascheta parametrov rezervnogo vodosbrosa s razmyvaemoy vstavkoy [Calculation Methods of Reserved Water Discharge Parameters with Erodible Fuse Plug]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific-Research Institute of Reclamation Problem]. 2014 no. 4 (16), pp. 176—189. Available at: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec306-field6.pdf. Date of access: 14.07.14. (In Russian)

24. Bogoslavchik P.M. Gidravlicheskiy raschet rezervnogo vodosbrosa s razmyvaemoy vstavkoy [Hydraulic Calculation of Reserved Water Collection with Erodible Fuse Plug]. *Vodnoe khozyaystvo i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Water Economy and Hydraulic Engineering]. 1990, no. 19, pp. 24—30. (In Russian)

25. Kosichenko Yu.M., Morogov K.V., Chernov M.A., Mikhaylov E.D. *Patent RF 2498007. Rezervnyy vodosbros gruntovoy plotiny. № 2012114853/13; zayavl. 13.04.2012; opubl. 13.04.2012, Byul. № 31* [Russian Patent 2498007. Reserved Water Discharge of a Soil Dam. No. 2012114853/13; appl. 13.04.2012; publ. 13.04.2012, Bulletin no. 31]. 15 p. (In Russian)

26. Kiselev P.G., editor. *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam* [Reference Book on Hydraulic Calculations]. 5th edition. Moscow, Energiya Publ., 1974, 312 p. (In Russian)

27. Birger I.A. *Tekhnicheskaya diagnostika* [Technical Diagnosis]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978, 241 p.

28. Stefanishin D.V., Gavrilenko T.V. Nekotorye predlozheniya po kolichestvennoy otsenke nadezhnosti vodosbrosov [Some Suggestions on Quantitative Estimation of Water Disposal Reliability]. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva* [News of the B.E. Vedeneev All Russia Institute of Hydraulic Engineering]. 1991, vol. 225, pp. 29—33. (In Russian)

29. Finagenov O.M., Belyakova S.N. Otsenka ekspluatatsionnoy nadezhnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Evaluation of Operational Reliability of Hydraulic Engineering Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 2007, no. 9, pp. 24—27. (In Russian)

30. Bellendir E.N., Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V., Finagenov O.M., Shul'man S.G. *Veroyatnostnye metody otsenki nadezhnosti gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Probability Methods of Reliability Assessment of Earth Hydraulic Constructions]. Vol. 1. Saint Petersburg, VNIIG im. B.E. Vedeneeva Publ., 2003, 532 p. (In Russian)

31. Ivanenko Yu.G., Tkachev A.A. *Teoreticheskie printsipy i resheniya spetsial'nykh zadach gidravliki otkrytykh vodotokov* [Theoretical Principles and Solutions of Special Problems of Hydraulics of Free Flows]. Novocherkassk, Lik Publ., 2013, 203 p. (In Russian)

About the authors: **Kosichenko Yuriy Mikhaylovich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice Director of Research, **Russian Research and Development Establishment of Reclamation Problems (RosNIIPM)**, 190, pr. Baklanovskiy, the Rostov Region, Novocherkassk, 346421, Russian Federation; ros-niipm@yandex.ru;

Mikhaylov Evgeniy Dmitrievich — junior research worker, Department of Hydraulic Structures Safety, **Russian Research and Development Establishment of Reclamation Problems (RosNIIPM)**, 190, pr. Baklanovskiy, the Rostov Region, Novocherkassk, 346421, Russian Federation; KAMevgeniy1990@mail.ru.

For citation: Kosichenko Yu.M., Mikhaylov E.D. Otsenka nadezhnosti raboty rezervnogo vodosbrosa s razmyvaemoy vstavkoy [Reliability Assessment Of Reserved Water Disposal With Erodible Fuse Plug]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 2, pp. 130—140. (In Russian)