

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](mailto:volcov_vi45@mail.ru)

УДК 502/504:627.8

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

В.Л. СНЕЖКО<sup>1</sup>, С.А. СИДОРОВА<sup>2</sup>, О.С. СИМОНОВИЧ<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> 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 м<sup>3</sup>. 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. Используются методы теории вероятностей, математической статистики и системной теории надежности. Состояния системы представлены неоднородной цепью Маркова. Конкретные значения интенсивностей сохранения снижения уровня безопасности*

были подставлены в матрицу переходных вероятностей, адаптированную к процессу гибели, протекающему в системе. Интенсивности отказов, зависящие от времени, были преобразованы к условно постоянным. Решена актуальная задача вероятностного прогноза уровня безопасности однородной грунтовой плотины IV класса в пределах всего нормативного срока службы (50 лет). Для проверки расчетных зависимостей были использованы данные обследования 34 грунтовых однородных плотин, расположенных в различных муниципальных районах Воронежской области и имевших возраст от 22 до 33 лет на момент обследования. Все сооружения соответствовали пониженному уровню безопасности. Фактический уровень безопасности плотин на момент обследования не противоречил его максимальной вероятностной оценке. Построены зависимости для прогноза снижения уровня безопасности плотины, соответствующей на момент обследования пониженному уровню безопасности. Практическая значимость расчетов заключается в возможности их использования собственниками ГТС для предварительного планирования сроков ремонта грунтовых плотин.

*Гидротехническое сооружение, грунтовая плотина, модель надежности, уровень безопасности.*

**Введение.** На начало 2019 года по официальным данным Российского регистра гидротехнических сооружений на территории Воронежской области было зарегистрировано 414 сооружений, как отдельно расположенных, так и входящих в комплексы [1]. Нормальному уровню безопасности соответствовало 95 сооружений, 216 имели пониженный уровень безопасности, 58 неудовлетворительный и 45 сооружений соответствовали опасному уровню безопасности. За последние годы в области были достигнуты определенные успехи по постановке на учет бесхозяйных гидротехнических сооружений (ГТС): если на начало 2016 года на территории числилось 292 бесхозяйных

ГТС, то к концу 2018 года – 136 сооружений. Все бесхозяйные ГТС закреплены за эксплуатирующими организациями до момента приобретения права собственности. Данные о гидротехнических сооружениях поступают в Регистр не чаще одного раза в 3-5 лет в виде подготовленных в ходе декларирования безопасности ГТС сведений [2] или Декларации безопасности.

В Российском Регистре ГТС 2018 года на территории Воронежской области числилось 170 комплексов гидротехнических сооружений [3]. Распределение объектов по форме собственности и сведения о наличии декларации безопасности приведены в таблице.

Таблица

**Сведения о собственниках ГТС Воронежской области на 2018 год**

Собственник ГТС	Число комплексов ГТС	Наличие декларации безопасности
Закрытые акционерные общества, открытые акционерные общества, общества с ограниченной ответственностью, публичные акционерные общества	31	9
Колхозы, совхозы, сельскохозяйственные артели, крестьянские фермерские хозяйства	89	2
Российская Федерация, Администрации поселений, Территориальное управление Министерства имущественных отношений Российской Федерации по Воронежской области	10	3
Государственные унитарные предприятия, Федеральные государственные унитарные предприятия, Федеральное агентство морского и речного транспорта	7	-
Федеральное государственное бюджетное учреждение Управление «Воронежмелиоводхоз»	33	33
<b>ИТОГО</b>	<b>170</b>	<b>47</b>

Собственниками 18,2% ГТС являлись акционерные общества, товарищества и общества с ограниченной ответственностью.

В собственности сельскохозяйственных организаций (колхозы, совхозы, сельскохозяйственные артели и крестьянские

фермерские хозяйства) находилось 52,4% ГТС. В собственности Российской Федерации и администрации поселений было 5,9% ГТС. Государственные и федеральные государственные унитарные предприятия имели в собственности 4,1% ГТС. Управление «Воронежмелиоводхоз» являлось собственником 19,4% гидротехнических сооружений. Декларации безопасности имели 27,6% объектов.

Аграрный комплекс – крупный сектор экономики Воронежской области, в котором на долю растениеводства приходится 60% валовой сельскохозяйственной продукции. Гидротехнические сооружения, обеспечивающие объекты агропромышленного комплекса (АПК) водными ресурсами, являются его важной составной частью. По данным отдела водных ресурсов Воронежской области в целях орошения из прудов забиралось 50% всего объема воды, сосредоточенного в поверхностных водных источниках. С этим связана особенность гидротехнических сооружений: 146 ГТС (86% от общего числа) представляли собой гидротехнические сооружения на прудах объемом менее 1 млн м<sup>3</sup>. Как правило, это сооружения сельскохозяйственного назначения, относящиеся к IV классу с нормативным сроком службы 50 лет. Согласно действующему стандарту аналогичный срок службы имеют сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации [4].

С техническим состоянием, уровнем безопасности и надежности в эксплуатации ГТС связаны обеспеченность объектов АПК водными ресурсами, степень опасности жилым поселкам и хозяйственным объектам, которые в случае прорыва напорного фронта плотины могут подвергаться значительным повреждениям, приводящим к возникновению опасности для жизни людей. Порядок определения размера вреда в результате аварии гидротехнического сооружения регламентируется нормативными документами [5]. При аварии на ГТС IV класса чрезвычайная ситуация распространяется в пределах территории одного муниципального образования, а размер возможного материального ущерба составляет менее одного миллиона минимального размера оплаты труда. Ведение непрерывного мониторинга состояния ГТС и полученная в его результате информация служат основанием для принятия решения о целесообразности ремонта, реконструкции, консервации или

ликвидации гидротехнических сооружений с опасным уровнем состояния.

Плотина является одним из основных сооружений, формирующим напорный фронт. Источниками опасных ситуаций для плотин являются природные факторы (температурные воздействия, ледовые нагрузки, фильтрация, прохождение волны паводка) и техногенные факторы (неудовлетворительное техническое состояние конструктивных элементов, отсутствие должной эксплуатации). Согласно сведениям Регистра плотины имели в своем составе 152 гидроузла Воронежской области, при этом 87% плотин были грунтовыми (земляными). Уровень безопасности грунтовых плотин распределялся следующим образом: нормальный уровень – 18 плотин; пониженный – 77 плотин; неудовлетворительный – 21 плотина; опасный – 16 плотин.

По данным Регистра ГТС в Воронежской области специализированные эксплуатирующие организации имели 22% объектов, в остальных случаях в качестве эксплуатирующей организации выступал собственник. Согласно действующему законодательству эксплуатация гидротехнического сооружения требует обязательного наличия профессионально подготовленных кадров [6]. Текущий ремонт сооружений мелиоративного назначения должен проводиться один раз в 3-5 лет, капитальный ремонт – один раз в 30 лет [7]. В случаях, когда собственниками являются колхозы, сельскохозяйственные артели или крестьянские фермерские хозяйства, эти требования трудно выполнимы. Подобная ситуация не является исключением: выполненное обследование более 100 прудов в Самарской области выявило отсутствие регулярной эксплуатации водохранилищ и своевременного проведения ремонтно-восстановительных работ на грунтовых плотинах [8].

Исследованиям надежности гидротехнических сооружений посвящено много работ. Статистическая оценка интенсивности отказов креплений верхового и низового откосов была выполнена для конкретной грунтовой плотины, расположенной на территории Саратовской области [9] с использованием экспоненциального распределения. Аналогичными методами были получены средние сроки наступления отказов креплений: верхового откоса грунтовой плотины – 19 лет, низового откоса – 12 лет, разрушения зоны основания – 15 лет [10].

При отсутствии данных технических и программных средств мониторинга (использование которых не предусмотрено российскими нормативами на ГТС IV класса) для прогноза надежности сооружений невозможно использование классических методов параметрической теории надежности. В работе авторов применение теории случайных процессов позволило определить интенсивность отказов однотипных водосбросов низконапорных гидроузлов и доказать соответствие времени между отказами экспоненциальному закону [11]. Методы системной теории надежности позволили определить постоянные интенсивности отказов для грунтовых плотин и водосбросов IV класса, соответствующих нормальному или пониженному уровню безопасности [12]. Авторами было статистически оценено среднее время соответствия однородной грунтовой плотины нормальному уровню безопасности при отсутствии обслуживания и ремонта, которое составило 15 лет.

Данные по срокам наступления отказов для низконапорных грунтовых плотин, расположенных в разных областях, полученные с применением методов теории надежности в исследованиях различных авторов, оказались сопоставимы. Это может быть объяснено массовостью водохозяйственного строительства в 80-90 гг. прошлого века, использованием типовых проектных решений и схожих методов производства работ при возведении небольших гидротехнических сооружений для сезонного регулирования стока.

Прогноз уровня безопасности гидротехнических сооружений с течением времени является необходимым условием принятия управленческих решений на региональном уровне. Очередность, сроки и размеры средств, выделяемых на ремонт или реконструкцию ГТС, должны учитывать возможное будущее снижение их уровня безопасности.

**Материал и методы исследований.** Во Всероссийском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова был выполнен большой объем работ по обследованию технического состояния ГТС сельскохозяйственного назначения Воронежской области. Для ряда гидротехнических сооружений, расположенных в различных муниципальных районах, были разработаны декларации безопасности (в т.ч. на р. Красная, р. Тойда, балках Студеная, Кабань и пр.). Материалом для

исследований стали данные по техническому состоянию сооружений 34 ГТС IV класса (20% от общего числа гидроузлов на территории области).

Все гидроузлы имели в своем составе грунтовую плотину. Минимальная высота плотины составляла 8 метров, максимальная – 21 метр, средняя высота плотины 12 метров. Сооружения были построены в период 1976-1987 годов, что было характерно для масштабного строительства объектов водохозяйственного комплекса – «широкой мелиорации земель» – того времени [13]. Возраст сооружений на момент обследования составлял от 22 до 33 лет. Оценка степени безопасности грунтовых плотин производилась методом сопоставления фактических и предельных значений количественных и качественных показателей их состояния (критериев безопасности). Предельно допустимые параметры состояния принимались равными расчетным значениям для основных и особых сочетаний нагрузок [14]. Прогнозные расчеты уровня безопасности базировались на методах теории вероятностей, математической статистики и системной теории надежности применительно к выборочным данным обследованных плотин.

**Научная новизна.** Новизной расчетов, результаты которых представлены в статье, стало использование значений интенсивностей отказов грунтовых плотин в графе состояний однородной цепи Маркова, описывающей случайный процесс снижения уровня безопасности при отказах. Матрица переходных вероятностей была переработана применительно к специфике графа. Впервые получены вероятности соответствия плотины каждому уровню безопасности на всем нормативном сроке эксплуатации.

**Результаты и обсуждение.** Надежность ГТС неразрывно связана с его техническим состоянием. Наличие фильтрационных деформаций, разрушение креплений гребня и откосов и прочие повреждения, в зависимости от степени их выраженности и мест расположения, являются отказами и снижают уровень безопасности плотин. На кривой жизни сооружения, связывающей интенсивность отказов плотины  $\lambda$  со сроком ее службы, есть три характерных участка:

- период приработки, в течение которого возникают приработочные отказы, интенсивность которых снижается со временем;
- период нормальной эксплуатации, для которого характерна практически

постоянная или слабо изменяющаяся интенсивность отказов;

- период износа с нарастающей интенсивностью отказов.

В первые годы эксплуатации плотины проявляются дефекты, допущенные при ее проектировании и строительстве. Время проявления этих дефектов связано как с видом и местом их расположения, так и с интенсивностью внешних воздействий – перепадами температур, паводком, скоростью и глубиной сработки водохранилища и т.д. Как правило, в течение 5-ти лет при своевременном устранении при работочные отказы прекращаются, поэтому в дальнейших расчетах они во внимание не принимались.

Пусть  $R(t)$  – вероятность безотказной работы плотины или соответствие ее определенному уровню безопасности в произвольный момент времени  $t$ , лет. В принятых обозначениях  $R_{\text{норм}}(t)$  – это вероятность соответствия нормальному уровню,  $R_{\text{пониж}}(t)$  – это вероятность соответствия пониженному уровню,  $R_{\text{неуд}}(t)$  и  $R_{\text{опасн}}(t)$  – вероятности неудовлетворительного и опасного уровней. Снижение уровня безопасности считалась отказом, вероятность которого обозначалась соответственно  $Q_{\text{норм}}(t)$ ,  $Q_{\text{пониж}}(t)$ ,  $Q_{\text{неуд}}(t)$  и  $Q_{\text{опасн}}(t)$ .

В предположении, что за год плотина могла снизить уровень безопасности не более чем на порядок, граф состояний системы представлял собой цепь Маркова и включал четыре последовательных состояния: «нормальный уровень», «пониженный уровень», «неудовлетворительный уровень» и «опасный уровень». При отсутствии ремонтов, восстанавливающих исходное состояние сооружения, цепь Маркова описывала процесс гибели.

За каждый год жизни сооружения с вероятностью  $R(t)$  уровень безопасности остается неизменным или с вероятностью  $Q(t)$  снижается. Указанные события в терминах теории вероятностей представляли собой несовместные события, образующие полную группу. Переходные вероятности цепи Маркова были адаптированы к особенностям графа и описаны матрицей:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} R_{\text{норм}} & Q_{\text{норм}} & 0 & 0 \\ 0 & R_{\text{пониж}} & Q_{\text{пониж}} & 0 \\ 0 & 0 & R_{\text{неуд}} & Q_{\text{неуд}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

где  $i$  – текущий уровень безопасности;  $j$  – уровень безопасности через год.

Согласно выполненным ранее исследованиям для грунтовых плотин IV класса вероятности  $R_{\text{норм}}(t)$  и  $R_{\text{пониж}}(t)$  подчиняются экспоненциальному закону с постоянной интенсивностью отказов  $\lambda_{\text{норм}} = 0,065$  и  $\lambda_{\text{пониж}} = 0,025$ . Для неудовлетворительного и опасного уровня интенсивность отказов изменяется со временем и является его функцией:  $\lambda_{\text{неуд}} = f(t)$  и  $\lambda_{\text{опасн}} = f(t)$ . Следовательно, для двух последних состояний цепь Маркова неоднородна. Переменная интенсивность отказов для неудовлетворительного уровня была приведена к условно постоянной  $\lambda_0$  и было получено ее значение  $\lambda_{0\text{неуд}} = 0,05$  согласно методике, приведенной авторами ранее [11]. Опасное состояние являлось поглощающим и его вероятности не использовались в расчете. Цепь Маркова была сведена к однородной. Окончательный вид матрицы переходных вероятностей:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} e^{-\lambda_{\text{норм}}} & 1 - e^{-\lambda_{\text{норм}}} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\lambda_{\text{пониж}}} & 1 - e^{-\lambda_{\text{пониж}}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\lambda_0} & 1 - e^{-\lambda_0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Расчет был выполнен из условия, что начальное состояние (момент ввода в эксплуатацию) априорно соответствовало нормальному уровню безопасности плотины. Конечное состояние было поглощающим и соответствовало опасному уровню. Полученные вероятности состояний плотины на протяжении всего нормативного срока эксплуатации приведены на рисунке 1.

После 15-ти лет службы плотины вероятность пониженного уровня начинает превышать вероятность нормального уровня. После 25-ти лет эксплуатации вероятности неудовлетворительного и опасного уровня превышают вероятность нормального уровня, одновременно начинает снижаться вероятность пониженного уровня. В конце нормативного срока службы при отсутствии ремонта сооружения вероятность того, что оно будет иметь опасный уровень, превышает 20%.

Данные обследования 34 однородных грунтовых плотин IV класса, расположенных на территории Воронежской области, с возрастом на момент обследования от 22 до 33 лет показали, что все сооружения соответствовали пониженному уровню безопасности. Плотин, соответствующих нормальному уровню

безопасности, среди обследованных сооружений не было. На рисунке 1 для указанного возраста плотины вероятности соответствия их нормальному уровню безопасности  $R_{\text{норм}}(22) = 0,24$ ,  $R_{\text{норм}}(33) = 0,12$ , пониженному уровню  $R_{\text{пониж}}(22) = 0,56$  и  $R_{\text{пониж}}(33) = 0,53$ .

Фактическое состояние плотин на момент обследования не противоречило максимальной вероятностной оценке их уровня безопасности. Это подтвердило возможность использования указанных кривых для предварительного прогноза.

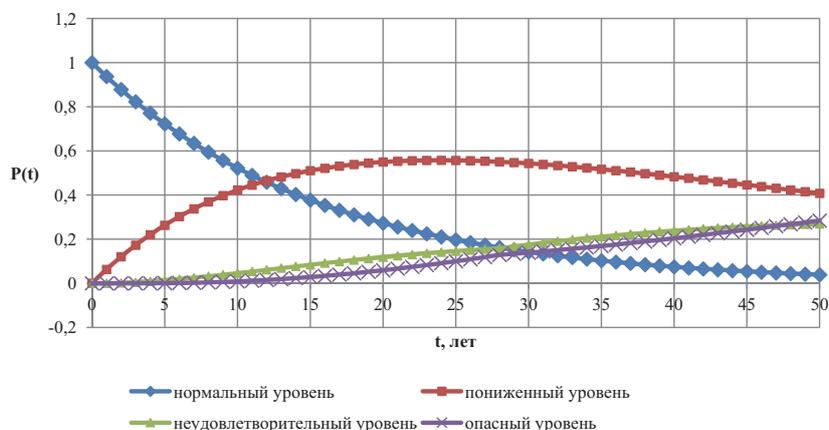


Рис. 1. Вероятности снижения уровня безопасности грунтовой плотины в пределах нормативного срока службы

Если на момент обследования плотины имела пониженный уровень безопасности, то вероятности ее состояний с течением времени могут быть определены по кривым, приведенным на рисунке 2. Кривая с максимальной ординатой определит

наиболее вероятный уровень безопасности сооружения в конкретный момент времени  $t$ . При отсутствии ремонтных мероприятий через 22 года вероятность опасного уровня превысит вероятность неудовлетворительного, а через 37 лет станет максимальной.

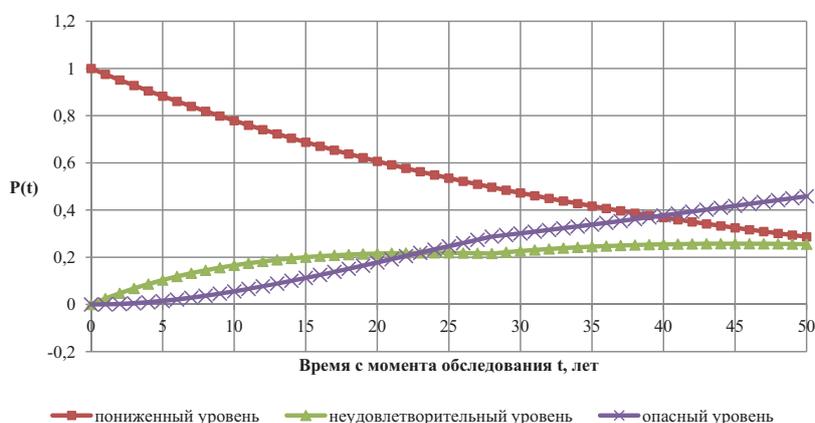


Рис. 2. Кривые прогноза уровня безопасности грунтовой плотины пониженного уровня на момент последнего обследования

Собственники ГТС, не имеющие в настоящее время квалифицированных эксплуатационных служб (способных оценить текущее техническое состояние плотины, находящейся на балансе предприятия) или ограниченные в финансовых ресурсах на выполнение ремонтных мероприятий, могут использовать приведенные на рисунке 2 кривые для предварительного планирования сроков ремонта.

### Выводы

Анализ 170 гидроузлов, расположенных на территории Воронежской области и внесенных в Государственный реестр ГТС, выявил преобладание низконапорных сооружений IV класса, расположенных на прудах объемом менее 1 млн м<sup>3</sup>.

На 89% гидроузлов напорный фронт формировали земляные плотины, половина из которых соответствовала пониженному

уровню безопасности. Собственником более 50% объектов являлись сельскохозяйственные предприятия. Специализированные службы эксплуатации имели 22% ГТС.

Впервые решена актуальная задача вероятностного прогноза уровня безопасности однородной грунтовой плотины IV класса в пределах всего нормативного срока службы (50 лет).

Расчетные зависимости проверены фактическими данными обследования 34 низконапорных плотин, расположенных на территории различных муниципальных районов Воронежской области.

Практическая значимость выполненных расчетов заключается в возможности их использования собственниками ГТС для предварительного планирования сроков ремонта грунтовых плотин.

#### Библиографический список

1. Официальный сайт Российского регистра гидротехнических сооружений <http://www.waterinfo.ru/gts/rstat3.php>

2. **Волынов М.А., Жезмер В.Б., Сидорова С.А.** Методы анализа и обработки данных мониторинга гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса. // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 79-87.

3. Российский регистр гидротехнических сооружений 2018. Справочное пособие. – М.: Ростехнадзор. – 495 с.

4. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

5. Об утверждении методики определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений): приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 марта 2016 года N120 [Электронный ресурс]: Доступ из системы ГАРАНТ.

6. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [Электронный ресурс]: Доступ из системы ГАРАНТ.

7. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. Научный обзор. / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, Е.И. Шкуланов и др. – Новочеркасск: 2011. – 105 с.

8. **Бальзанников М.И., Родионов М.В., Селивёрстов В.А.** Повышение экологической безопасности эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружений. // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 100-105.

9. **Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Щербаков В.А.** Факторы, влияющие на эксплуатационное состояние гидротехнических сооружений. // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 10. – С. 56-61.

10. **Михеева О.В., Панкова Т.А.** К вопросу об эксплуатационной надежности грунтовых плотин. // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 7. – С. 56-60.

11. **Волков В.И., Снежко В.Л.** Статистические методы определения показателей надежности сооружений низконапорных гидроузлов. // Природообустройство. – 2017. – № 5. – С. 20-26.

12. **Снежко В.Л., Козлов Д.В., Волков В.И.** Прогноз уровня безопасности низконапорных и бесхозяйных гидротехнических сооружений. // Гидротехническое строительство. – 2018. – № 11. – С. 35-41.

13. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России. / А.В. Колганов, Н.В. Сухой, В.Н. Шкура, В.Н. Щедрин; под ред. В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 222 с.

14. Об утверждении состава, формы представления сведений о гидротехническом сооружении, необходимых для формирования и ведения Российского регистра гидротехнических сооружений, и правил её заполнения; Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 апреля 2016 года N159 [Электронный ресурс]: Доступ из системы ГАРАНТ.

Материал поступил в редакцию 06.02.2019 г.

#### Сведения об авторах

**Снежко Вера Леонидовна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных технологий в АПК, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая д. 44; e-mail: VL\_Snejko@mail.ru

**Сидорова Светлана Алексеевна**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела безопасности ГТС гидромелиоративного комплекса ФГБНУ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова»; 127550,

г. Москва, ул. Б. Академическая, д. 44  
корп. 2: e-mail: s\_sidorova08@inbox.ru

**Симонович Ольга Сергеевна**, старший  
преподаватель кафедры информационные

технологии в АПК, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Мо-  
сква, ул. Б. Академическая д. 44: e-mail:  
gnbwf25@mail.ru

### V.L. SNEZHKO, O.S. SIMONOVICH

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Moscow, Russian Federation

### S.A. SIDOROVA

Federal state budgetary research institution «All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov» (FSBSI «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov»), Moscow, Russian Federation

## THE FORECAST OF SAFETY LEVEL OF GROUND LOW HEAD DAMS

*According to the official data of the Russian register of hydraulic structures a survey of waterworks located in the Voronezh region was carried out. The prevalence of low-pressure structures of class IV located on ponds with a volume of less than 1 million m<sup>3</sup> was revealed. At 89% of the hydraulic units pressure front was formed by earthen dams, half of which corresponded to a reduced level of safety. More than 50% of the objects were owned by agricultural enterprises. The purpose of the calculations was a probabilistic forecast of the decrease of safety level of ground dams in the course of time at the absence of repair measures. Methods of the probability theory, mathematical statistics and system reliability theory were used. The states of the system were given as a heterogeneous Markov chain. The specific values of the intensities of preservation and reduction of the security level were put in the matrix of transitional probabilities adapted to the death process running in the system. The intensities of failures dependent on time were converted to conditionally constant. The actual problem of probabilistic prediction of the level of safety of a homogeneous ground dam of class IV within the entire normative service life (50 years) was solved. To check the calculated dependences there were used the survey data of 34 soil homogeneous dams located in different municipal districts of the Voronezh region at age from 22 to 33 years at the time of the survey. All facilities corresponded to the reduced level of safety. The actual level of dam safety at the time of the survey did not contradict its maximum probabilistic assessment. The dependences for the forecast of the dam safety level decrease corresponding to the reduced safety level at the time of the survey were constructed. The practical significance of the calculations was the possibility of their use by the HTS owners for a preliminary planning of the repair terms of earth dams.*

*Hydrotechnical structure, earth dam, model of reliability, safety level.*

### References

1. Offitsialnty sait Rossijskogo registra gidrotehnicheskikh sooruzhenij <http://www.wa-terinfo.ru/gts/rstat3.php> website.

2. **Volynov M.A., Jesmer V.B., Sidorova S.A.** Metody analiza i obrabotki dannyh monitoringa gidrotehnicheskikh sooruzhenij melioratovnogo kompleksa. // Prirodoobustrojstvo. – 2017. – № 1. – S. 79-87.

3. Rossijsky registr gidrotehnicheskikh sooruzhenij 2018. Spravochnoe posobie. – M.: Rostehnadzor FGBU «Tsentr Rossijskogo registra». – 495 s.

4. GOST 27751-2014 Nadezhnost stroitelnyh konstruktsij i osnovanij. Osnovnye polozheniya. – M.: Standartinform, 2015. – 16 s.

5. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya razmera vreda, kotoryj mozhet byt prichinen zhizni, zdorovyu fizicheskikh lits v rezultate avarii

gidrotehnicheskogo sooruzheniya (za isklyucheniem sudohodnyh i portovyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij): prikaz Federalnoj sluzhby po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 29 marta 2016 goda N120 [Elektronny resurs]: Dostup iz sistemy GARANT.

6. Federalny zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 117-FZ «O bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenij» [Elektronny resurs]: Dostup iz sistemy GARANT.

7. **Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Shkulanov E.I.** Nadezhnost i bezopasnost gidrotehnicheskikh sooruzhenij meliorativnogo naznacheniya. Nauchny obzor. / Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Shkulanov E.I. i dr. – Novocherkassk: 2011. – 105 s.

8. **Balzannikov M.I., Rodionov M.V., Seliverstov V.A.** Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti ekspluatiruemyh gruntovyh

gidrotehnicheskikh sooruzhenij. // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura. – 2011. – № 1. – S. 100-105.

9. **Abdrakov F.K., Pankova T.A., Shcherbakov V.A.** Faktory, vliyayushchie na ekspluatatsionnoe sostoyanie gidrotehnicheskikh sooruzhenij. // Agrarny nauchny zhurnal. – 2016. – № 10. – S. 56-61.

10. **Mikheeva O.V., Pankova T.A.** K voprosu ob ekspluatatsionnoj nadezhnosti gruntovykh plotin. // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. N.I. Vavilova. – 2012. – № 7. – S. 56-60.

11. **Volkov V.I., Snezhko V.L.** Statisticheskie metody opredeleniya pokazatelej nadezhnosti sooruzhenij nizkonapornykh gidrouzlov. // Prirodoobustrojstvo. – 2017. – № 5. – S. 20-26.

12. **Snezhko V.L., Kozlov D.V., Volkov V.I.** Prognoz yrovnya bezopasnosti nizkonapornykh i beshozyajnykh gidrotehnicheskikh sooruzhenij. // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2018. – № 11. – S. 35-41.

13. Razvitie melioratsii zemel sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v Rossii. / A.V. Kolganov, N. v. Sukhoj, V.N. Shkura; pod red. V.N. Shchedrina. – Novocherkassk: RosNIIPM, 2016. – 222 s.

14. Ob utverzhdenii sostava, formy predstavleniya svedenij o gidrotehnicheskom sooruzhenii, neobhodimyh dlya formirivaniya i vedeniya Rossijskogo registra gidrotehnicheskikh sooruzhenij, i pravil ee zapolneniya;

Prikaz Federalnoj sluzhby po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 25 aprelya 2016 goda N159 [Elektronnyy resurs]: Dostup iz sistemy GARANT.

The material was received at the editorial office  
06.02.2019 г.

#### Information about the authors

**Snezhko Vera Leonidovna**, doctor of technical sciences, professor, head of the chair information technologies in construction, Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Moscow, Russian Federation: 127550, Moscow, B. Academicheskaya St., 44; e-mail: VL\_Snejko@mail.ru

**Sidorova Svetlana Alexeevna**, candidate of technical sciences, leading researcher of the GTS safety of the hydro reclamation complex; FSBSI «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov»; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., d. 44, corpus 2; e-mail: s\_sidorova08@inbox.ru

**Simonovich Olga Sergeevna**, senior lecturer the chair information technologies in construction, Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Moscow, Russian Federation: 127550, Moscow, B. Academicheskaya St., 44; e-mail: VL\_Snejko@mail.ru

УДК 502/504: 627.8

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-80-88

**О.Д. РУБИН<sup>1</sup>, И.В. БАКЛЫКОВ<sup>1</sup>, А.С. АНТОНОВ<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Филиал АО «Проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект им. С.Я. Жука» – «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», г Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Московский Государственный Строительный Университет, г Москва, Российская Федерация

**С.Е. ЛИСИЧКИН**

ООО «Инженерный Центр Сооружений, Конструкций и Технологий в Энергетике», г. Москва, Российская Федерация

**К.Е. ФРОЛОВ**

Публичное акционерное общество «Федеральная гидрогенерирующая компания – РусГидро», г. Москва, Российская Федерация

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗОВЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

*В настоящей работе рассмотрены исследования подпорных стен уголкового типа в составе водоприемного узла Загорской ГАЭС. Рассмотрена возможность интеграции результатов исследований в программно-аппаратные и информационно-диагностические системы. В рамках исследований проводились визуальные обследования состояния конструкций, после чего инструментальные исследования неразрушающими методами контроля и методом «разгрузки арматуры». Для оценки прочностных параметров бетона применялся молоток Шмидта и ультразвуковой дефектоскоп*