

УДК 626.843.92

**М. А. Бандурин** (ФГБОУ ВПО «НГМА»)

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ**

В статье описан программно-технический комплекс (ПТК) для проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния водопроводящих сооружений, предназначенный для определения различных параметров дефектов и повреждений, а также расчета прогнозируемого срока остаточного ресурса их элементов. В результате проведенных численных экспериментов были выделены зоны водопроводящих сооружений, которые могут содержать однотипные виды характерных повреждений, что позволяет упорядочить процесс прокладывания профилей георадарного зондирования и определения точек, в которых необходимо проводить измерения прочности бетона при проведении натурных обследований. Техническим результатом, достигаемым ПТК, является выявление влияния дефектов и повреждений как самого защитного покрытия, так и состояния грунта, расположенного под ним, на образование разуплотнений и просадки на ранней стадии их образования. Комплекс позволяет провести оценку геометрических параметров каждого дефекта: месторасположение, глубина, ширина, высота, и комплексное влияние ряда факторов на надежность сооружения, наиболее характерными из которых являются истирание, процессы выщелачивания и степень износа по участкам с различными гидравлическими характеристиками. Оценивалась также степень риска аварии элементов водопроводящих сооружений (малая –  $k \leq 0,15$ ; умеренная –  $k = 0,16-0,30$ ; большая –  $k = 0,31-0,50$ ; аварийная ситуация –  $k > 0,51$ ). ПТК разработан с использованием системы управления базами данных Microsoft Access, проекта Microsoft Access, включающего таблицы, формы, запросы, макросы и модули.

Ключевые слова: программно-технический комплекс (ПТК), гидротехнические сооружения, водопроводящие сооружения, эксплуатационный мониторинг, автоматизация, техническое состояние, остаточный ресурс, разуплотнение, просадка, защитное покрытие, натурные обследования.

**М. А. Bandurin** (FSBEE HPE “NSMA”)

## **IMPROVEMENT OF METHODS TO CARRY OUT OPERATIONAL MONITORING AND DETERMINE RESIDUAL LIFE OF WATER CONVEYANCE STRUCTURES**

Software and hardware support (SHS) to carry out operational monitoring for technical state of water conveyance structures designed for determination of various parameters of defects and damages as well as for computation the predictable period for residual life of their elements are described in the article. As a result of numerical experiments carried out zones of water conveyance structures that can have characteristic damages of the same type were marked out. This makes it possible to assure orderliness in the process of laying profiles for georadar sounding and determining points where measuring of concrete strength is necessary when inspection on location is carried out. A technical result obtained with the support (SHS) is revealing influence of defects and damages for both protective coat itself and the state of ground under it on forming seal failures and subsidence during early

stage of their forming. The support (SHS) makes it possible to assess geometrical parameters for each of the defects: location, depth, width, height as well as operational evaluation of residual life: forecasting the total number of freezing and thawing cycles both passed during the period of operation and remained up to the loss of bearing capacity for ferroconcrete elements of water conveyance structures and complex effect of some factors on the structure reliability, the most typical of which being abrasion, leaching processes and the degree of wear on sections (areas) with different hydraulic characteristics. The extent of emergency risk for the elements of water conveyance structures (small –  $k \leq 0.15$ ; moderate –  $k = 0.16-0.30$ ; great –  $k = 0.31-0.50$ ; emergency situation –  $k > 0.51$ ) was also estimated. The support (SHS) was developed with using Microsoft Access Data Base Control System (DBCS), Microsoft Access Project including, forms, requests, macros and moduli.

Key words: software and hardware support (SHS), hydraulic structures, water conveyance structures, operational monitoring, automation, technical state, residual life, seal failure, subsidence, protective coat, inspection on location.

Программно-технический комплекс (ПТК) для проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния водопроводящих сооружений предназначен для определения различных параметров дефектов и повреждений. ПТК позволяет провести оценку геометрических параметров каждого дефекта (месторасположение, глубина, ширина, высота) и комплексного влияния ряда факторов на надежность сооружения, наиболее характерными из которых являются истирание, выщелачивание и износ на участках с различными гидравлическими характеристиками [1].

В качестве исходных данных при создании ПТК для проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния водопроводящих сооружений использованы результаты проведенных визуальных наблюдений и натурных исследований, к которым относятся:

- результаты визуального осмотра водопроводящих сооружений с выявлением характерных повреждений отдельных элементов;
- геометрические параметры повреждения, полученные при помощи георадара ОКО-2, диаметр и глубина зоны повреждения;
- данные прочности бетона ( $R_{сж}$ ), полученные по показаниям электронного измерителя прочности бетона ИПС-МГ4,01.

В результате проведенных численных экспериментов были выделены зоны водопроводящих сооружений, которые могут содержать однотипные виды характерных повреждений, что позволяет упорядочить процесс

прокладывания профилей георадарного зондирования и определения точек, в которых необходимо проводить измерения прочности бетона при проведении натурных обследований.

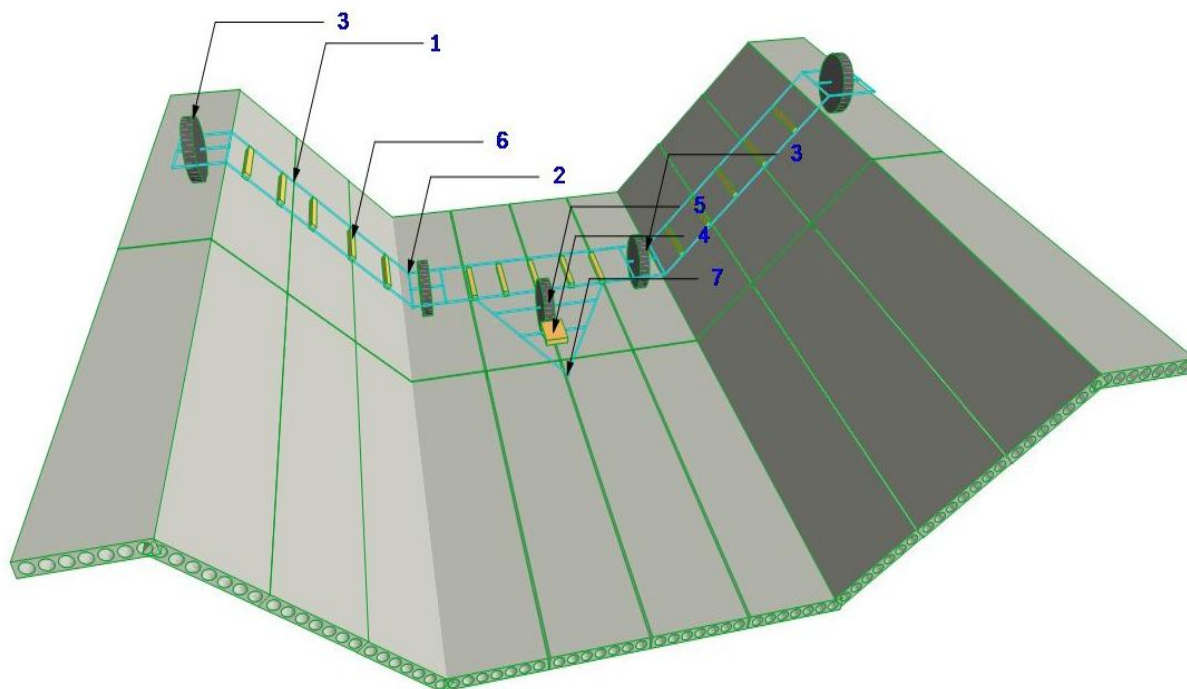
Для проведения необходимых расчетов технического состояния ПТК имеет в наличии информационно-справочную базу по водопроводящим сооружениям, эксплуатируемым в России.

Техническая часть ПТК для проведения эксплуатационного мониторинга включает в себя различные технические схемы рам для каждого водопроводящего сооружения в отдельности и может быть использована для проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния и определения остаточного ресурса защитного покрытия водопроводящих каналов и грунтов под ними, выявления опасных дефектов и повреждений, а также оценки и прогнозирования его технического состояния и дальнейшей пригодности к эксплуатации [2].

Техническим результатом, достигаемым настоящим комплексом, является выявление дефектов и повреждений, как самого защитного покрытия, так и состояния грунта, расположенного под ним, образование разуплотнений и просадки на ранней стадии их образования. Данный технический результат достигается тем, что ПТК для проведения эксплуатационного мониторинга содержит движитель для свободного перемещения по дну водопроводящего канала с находящимся в нем оператором с обрабатывающим модулем, а рама состоит из стержней и представляет собой три части, соединенные с помощью шарниров [3].

На рисунке 1 изображена техническая часть ПТК для проведения эксплуатационного мониторинга в аксонометрической проекции, включающая в себя раму 1, состоящую из стержней, по форме повторяющую очертание водопроводящего канала и состоящую из трех частей, соединенных с помощью шарниров 2 с резиновыми колесами 3, обрабатываю-

щий модуль, включающий в себя систему ГЛОНАСС 4, датчик движения 5, антенные блоки 6, расположенные по периметру рамы 1 [4].



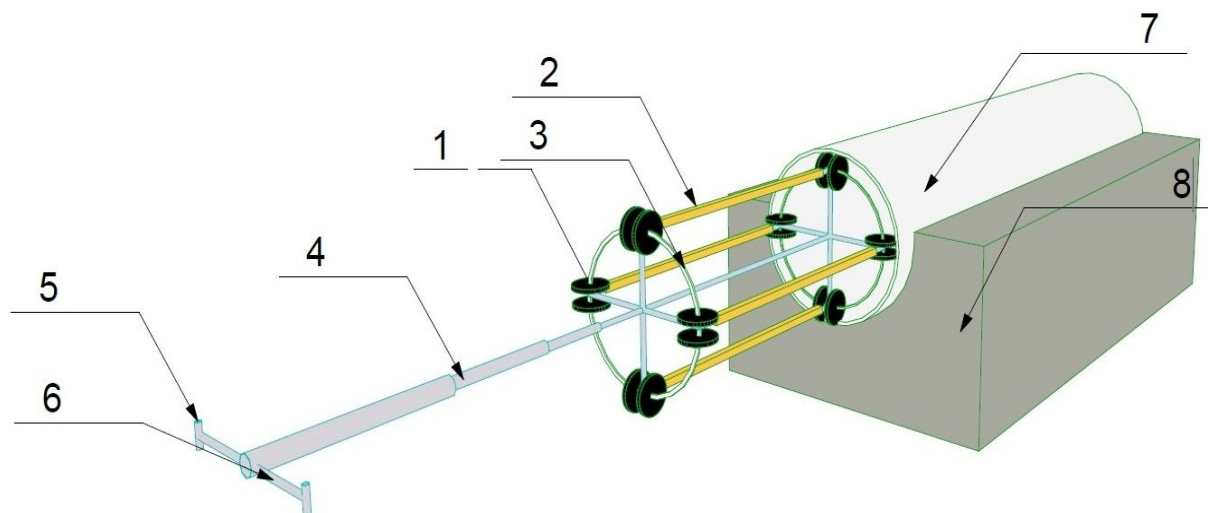
**Рисунок 1 – Техническая часть ПТК для проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса защитного покрытия водопроводящих каналов и грунтов под ним**

Для проведения эксплуатационного мониторинга в водопроводящий канал при отсутствии воды помещается техническая часть ПТК, после чего на обрабатывающий модуль 4 подается питание, чем подтверждается готовность всех систем к работе. При помощи движителя 7 рама 1 перемещается по водопроводящему каналу и данные с датчика движения 5 и антенных блоков 6 поступают в обрабатывающий модуль 4, где происходит детальная расшифровка полученных данных с антенных блоков и позиционирование расположения дефектов и повреждений с помощью системы ГЛОНАСС.

Применение ПТК позволяет повысить качество проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих каналов благодаря тому, что по периметру всего водопроводящего канала (охватывается вся площадь сооружения) проводится обследование на наличие дефектов, повреждений,

разуплотнений и просадок грунта под сооружением неразрушающими методами контроля, а наличие транспортного средства, которое осуществляет транспортирование комплекса, позволяет значительно ускорить проведение обследования водопроводящих каналов [5].

Техническая часть ПТК может быть использована для проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса защитного покрытия водопроводящих трубопроводов, ливнепроектировок и грунтов под ними, а также для проведения эксплуатационного мониторинга железобетонных трубопроводов, расположенных в грунте (рисунок 2), выявления опасных дефектов и повреждений, оценки и прогнозирования их технического состояния и дальнейшей пригодности к эксплуатации.



**Рисунок 2 – Техническая часть ПТК для проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса защитного покрытия водопроводящих трубопроводов, ливнепроектировок и грунтов под ними**

Перед началом работы на входе в водопроводящий трубопровод оператор крепит упор 6 с помощью крепежных шурупов к стенкам трубопровода 7, а затем при помощи телескопической рейки 5 перемещает раму 3 с резиновыми колесами 1 внутри трубопровода 7, расположенного в грунте 8. Данные с датчика движения 4 и антенных блоков 2 поступают в обрабатывающий блок, где происходит обработка данных, оценка технического

состояния элементов на наличие дефектов и повреждений, а также окружающих грунтов 8 на образование разуплотнения и просадки; происходит детальная расшифровка полученных данных с антенных блоков и позиционирование расположения дефектов и повреждений с помощью навигационной системы ГЛОНАСС.

В совокупности все это позволяет достоверно, быстро и качественно провести оценку технического состояния водопроводящих сооружений.

Математическое обеспечение ПТК опирается на натурные исследования технического состояния, данные, полученные при испытании водостойкости железобетона, и данные истирания бетона длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений, а также сведения, полученные при испытании конструктивных свойств бетонных образцов на циклическое замораживание и оттаивание.

На основании полученных материалов сделан обобщенный анализ результатов исследований состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений для определения их остаточного ресурса. Железобетонные водопроводящие сооружения более всего разрушаются от выщелачивания. Относительно высокий коэффициент фильтрации, высокая пористость и давление потока определили фильтрацию воды через бетон. Для расчета времени безопасного выщелачивания извести при фильтрации воды через бетон облицовки были проведены исследования условий фильтрации, определены толщина конструкции и коэффициент фильтрации бетона облицовки [6].

Определен коэффициент фильтрации бетона монолитных облицовок водопроводящих каналов. По опытным данным получено среднее значение коэффициента фильтрации  $K_{\phi} = (0,9-5,0) \cdot 10^{-6}$  см/с.

Водостойкость бетона оценивается снижением прочности при водонасыщении и характеризуется коэффициентом размягчения, выражающим отношение прочности водонасыщенного бетона к прочности сухого.

Но такие исследования не проводились, так как снижение прочности бетона несущественно и не повлияет на несущую способность конструкции сооружения.

На основании проведенных исследований строилось математическое обеспечение ПТК: продолжительность фильтрации воды, равная безопасному сроку службы сооружения, начиная с момента его обследования [7].

В качестве исходных данных для работы программной среды комплекса служат результаты проведенных визуальных наблюдений и натурных исследований, к которым относятся [8]:

- результаты визуальных осмотров водопроводящих сооружений с выявлением характерных повреждений отдельных элементов;

- количественные параметры повреждения элементов водопроводящих сооружений, полученные при помощи приборов неразрушающего контроля (ширина, глубина и длина повреждения и т. д.);

- количественная оценка в различных частях элементов водопроводящих сооружений, полученная с использованием приборов неразрушающего контроля.

Оценивалась также степень риска аварии элементов водопроводящих сооружений (малая –  $k \leq 0,15$ ; умеренная –  $k = 0,16-0,30$ ; большая –  $k = 0,31-0,50$ ; аварийная ситуация –  $k > 0,51$ ).

ПТК разработан с использованием системы управления базами данных Microsoft Access, включающей таблицы, формы, запросы, макросы и модули [9].

Модель данных включает следующие сущности: ModelMain, Lotki, Lines, Defects, Зоны. Каждой выделенной сущности модели данных соответствует таблица Microsoft Access. Формы предназначены для представления данных пользователю. Реализация логики приложения в Microsoft Access выполняется при помощи запросов, макросов и модулей. В разработанной программной среде ПТК функциональная логика реализована

в модулях при помощи встроенного языка программирования Access Visual Basic.

Этапы проведения эксплуатационного мониторинга ПТК:

1) при рекогносцировочном осмотре обследуемого водопроводящего сооружения с помощью ПТК определяется объем, специфика и направленность обследования;

2) в водопроводящее сооружение в отсутствие воды помещается техническая часть ПТК, в котором рама из стержней, повторяющая форму водопроводящего сооружения, состоит из частей с резиновыми колесами, соединенных с помощью шарниров;

3) при помощи транспортного средства техническая часть перемещается по сооружению; данные с датчика движения и антенных блоков поступают в обрабатывающий модуль;

4) в обрабатывающем модуле происходит детальная расшифровка полученных данных с антенных блоков и позиционирование расположения дефектов и повреждений с помощью навигационной системы ГЛОНАСС;

5) в программной среде ПТК идентификаторы дефектов и поврежденных элементов сооружения вводятся системой автоматически. Запись данных о новом дефекте включает в себя следующие поля: зону, диаметр, глубину,  $R_{сж}$ , месторасположение, определенное с помощью навигационной системы ГЛОНАСС;

6) рассчитывается количество и объем повреждений, прошедших за период длительной эксплуатации сооружения. При этом автоматически заполняются поля табличной части – объем, состояние сооружения, а также происходит автоматическое заполнение полей заголовочной части формы;

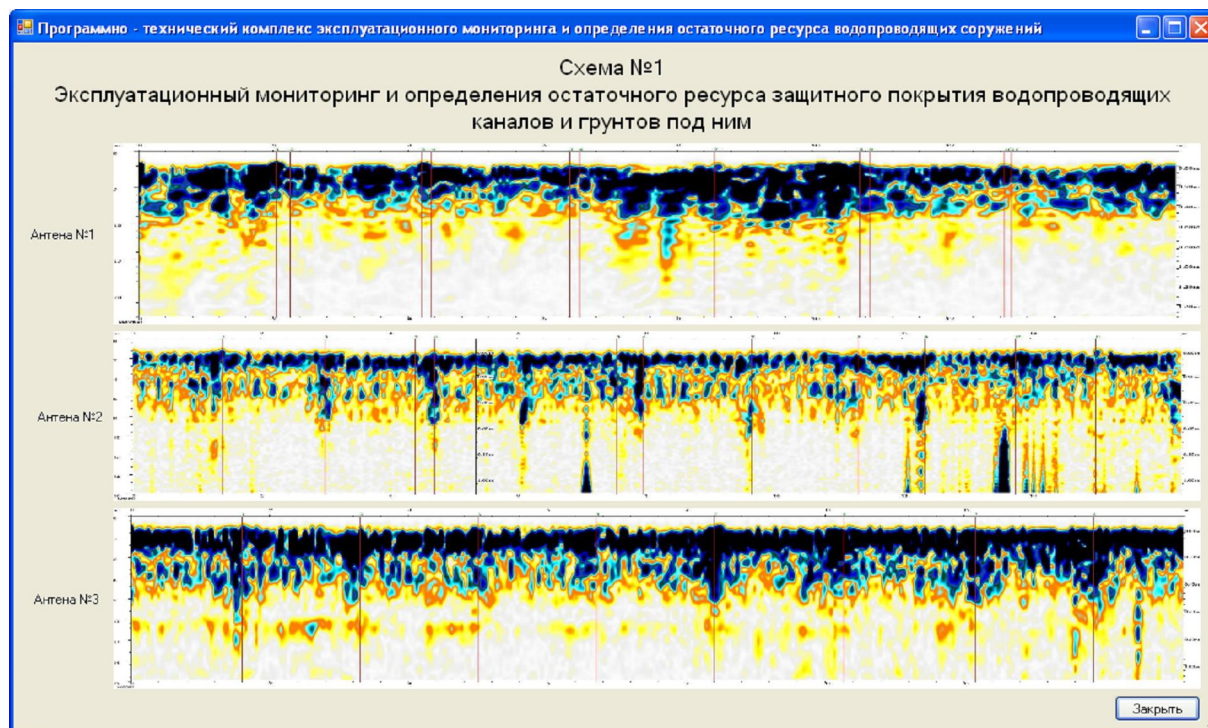
7) в программной среде ПТК выявляются предполагаемые места фильтрации воды через водопроводящее сооружение;



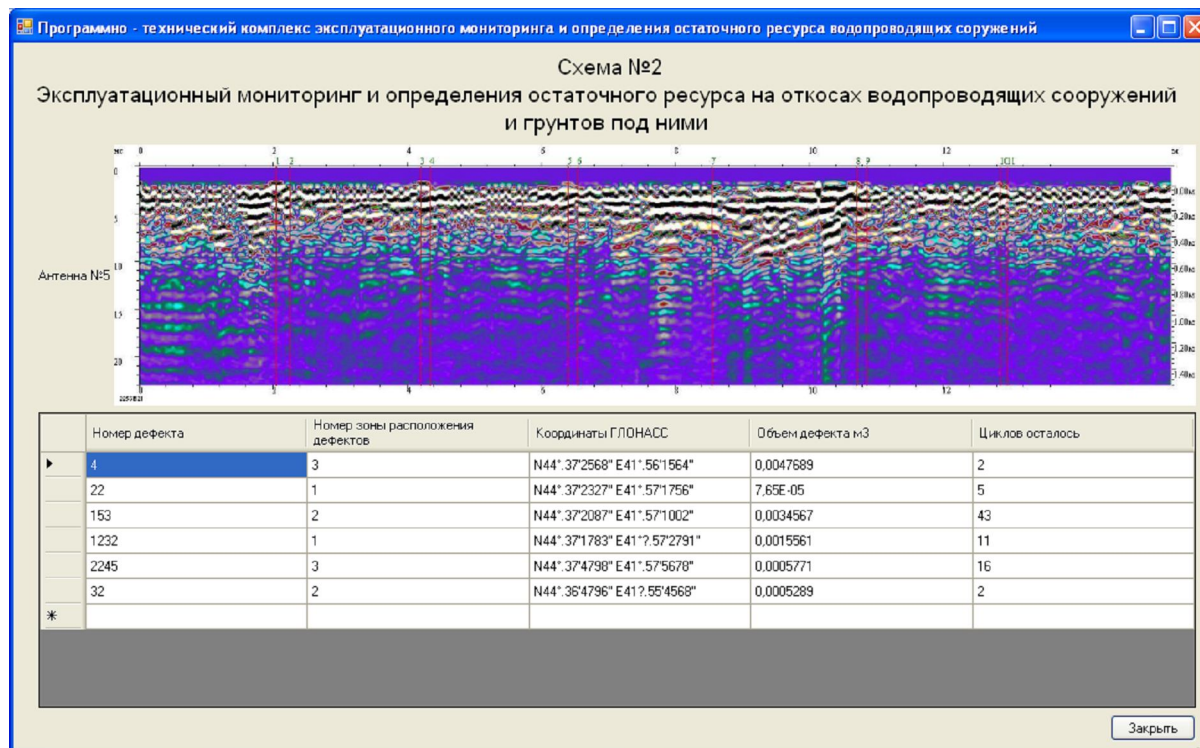
8) по полученной эмпирической зависимости производится расчет предполагаемого опасного объема повреждений для дальнейшей эксплуатации водопроводящего сооружения;

9) производится расчет остаточного ресурса эксплуатационной надежности сооружения и сравнение с другими обследованиями. Результаты проведенных расчетов могут быть распечатаны в виде таблицы.

В программной среде ПТК существует также возможность (в зависимости от геометрии схемы технической части) выводить профили георадарного зондирования с каждой антенны (рисунок 3) и производить обработку полученных данных [10], выявлять дефекты и повреждения водопроводящих сооружений, а также рассчитывать их геометрию (рисунок 4). В среде ПТК возможно также проводить классификацию дефектов и координатную привязку с помощью системы ГЛОНАСС, чтобы при следующем осмотре констатировать изменения дефектов и повреждений за период эксплуатации.



**Рисунок 3 – Экранная форма. Профили георадарного зондирования с антенных блоков**



**Рисунок 4 – Экранная форма. Обработка профиля георадарного зондирования полученного с антенных блоков**

Использование предлагаемого программно-технического комплекса позволяет произвести оценку и прогнозирование суммарного напряженно-деформированного состояния и степени риска аварии элементов водопроводящих сооружений для каждого обнаруженного повреждения водопроводящего сооружения.

### **Список использованных источников**

1 Выбор эффективной и надежной противofильтрационной защиты русел открытых каналов при реконструкции оросительных систем: рекомендации / В. Н. Щедрин [и др.] // ФГНУ «РосНИИПМ». – Ростов-н/Д: СКНЦВШ, 2008. – 68 с.

2 Косиченко, Ю. М. Вопросы безопасности и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / Ю. М. Косиченко / Природообустройство. – 2008. – № 3. – С. 67-71.

3 Бандурин, М. А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния мостовых переездов на водопроводящих каналах [Электронный

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1(09), 2013 г., [68-79]

ресурс] / М. А. Бандурин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 4(08). – С. 110-124. – Режим доступа: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec141-field6.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec141-field6.pdf).

4 Бандурин, М. А. Обследование состояния оросительных лотковых каналов Азовской оросительной системы неразрушающими методами [Электронный ресурс] / М. А. Бандурин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 24. – С. 72-76. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/34.pdf>.

5 Устройство для проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих сооружений: пат. 2458204 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 13/00 / Волосухин В. А., Бандурин М. А.; заявитель и патентообладатель ИБГТС. – № 2010111995, заявл. 29.03.10; опубл. 10.08.12, Бюл. № 30. – 8 с.

6 Бандурин, М. А. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния Ташлинского дюкера на Право-Егорлыкском канале / М. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3. – С. 18-23.

7 Бандурин, М. А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 2. – С. 693-696.

8 Бандурин, М. А. Проблемы оценки остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона – 2012. – № 3. – С. 29-34.

9 Бандурин, М. А. Применение программно-технического комплекса для решения задачи проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона – 2012. – № 4. – С. 173-179.

10 Бандурин, М. А. Мониторинг и расчет остаточного ресурса аварийных мостовых переездов через водопроводящие сооружения / М. А. Бандурин // Инженерный вестник Дона – 2012. – № 4. – С. 451-546.

---

**Бандурин Михаил Александрович** – кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» (ФГБОУ ВПО «НГМА»), доцент.

Контактный телефон: 8-904-347-88-01.

E-mail: chepura@mail.ru

**Bandurin Mikhail Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “Novocherkassk State Meliorative Academy” (FSBEE HPE “NSMA”), Associate Professor.

Contact telephone number: 8-904-347-88-01.

E-mail: chepura@mail.ru