

УДК 626.843.92

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ

**Бандурин М.А.**

*ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: chepura@mail.ru*

В данной статье приводятся результаты работы над программно-техническим комплексом для проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния водопроводящих сооружений, предназначенный для определения различных параметров дефектов и повреждений, а также расчёта прогнозируемого срока остаточного ресурса их элементов. В результате проведённых 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 настоящим комплексом, 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 разработан с использованием системы управления базами данных (СУБД) Microsoft Access, проекта Microsoft Access, включающего таблицы, формы, запросы, макросы и модули.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, программно-технический комплекс, водопроводящие сооружения, эксплуатационный мониторинг, автоматизация, техническое состояние, остаточный ресурс, разуплотнение, просадка

## APPLICATION OF CONTROL SYSTEMS WITH DATABASE OPERATIONAL MONITORING WATER SPENDING CONSTRUCTIONS

**Bandurin M.A.**

*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: chepura@mail.ru*

This article presents the results of work on the software and hardware complex for operational monitoring of technical condition of water conveyance structures for determining various parameters of defects and damages, as well as the calculation of the projected period of residual life of their elements. As a result of numerical experiments were isolated zone water conveyance structures, which may contain the same type of characteristic types of damage that allows you to organize the process of laying profiles GPR sensing and determining the points at which it is necessary to measure the strength of concrete during the field surveys. The technical result achieved by this complex is to identify the influence of defects and damage, both of the protective cover, and soil conditions, which is located underneath, on the formation of decompression and the drawdown in the early stages of their formation. The complex was developed with the use of database management systems (DBMS) Microsoft Access, Microsoft Access project, including tables, forms, queries, macros, and modules.

**Keywords:** waterworks, software and hardware complex, water-conducting structures, operational monitoring, automation, technical condition, residual life, decompression, drawdown

Программно-технический комплекс для проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния водопроводящих сооружений предназначен для определения различных параметров дефектов и повреждений, а также расчёта прогнозируемого срока остаточного ресурса их элементов. Комплекс позволяет провести оценку геометрических параметров каждого дефекта (месторасположение, глубина, ширина, высота), эксплуатационную оценку остаточного ресурса (прогнозирование суммарного количества циклов замораживания и оттаивания как прошедших за период эксплуатации, так и оставшихся до потери несущей способности железобетонных элементов водопроводящих сооружений) и комплексное влияние ряда факторов на надёжность сооружения, наиболее характерными для которых являются

истирание, процессы выщелачивания и износа на участках с различными гидравлическими характеристиками.

В качестве исходных данных при создании комплекса для проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния водопроводящих сооружений использованы результаты проведённых визуальных наблюдений и натурных исследований, к которым относятся [15]:

– 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  $R_{сж}$  бетона, полученные по показаниям электронного измерителя прочности бетона ИПС-МГ4,01.

В результате проведённых численных экспериментов были выделены зоны водопроводящих сооружений, которые могут содержать однотипные виды характерных повреждений, что позволяет упорядочить процесс прокладки профилей георадарного зондирования и определения точек, в которых необходимо проводить измерения прочности бетона при проведении натурных обследований.

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

Техническая часть комплекса 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.

Техническим результатом, достигаемым настоящим комплексом, является выявление дефектов и повреждений как самого за-

щитного покрытия, так и состояния грунта, расположенного под ним, на образование разуплотнений и просадки на ранней стадии их образования [9]. Данный технический результат достигается тем, что комплекс для проведения эксплуатационного мониторинга содержит движитель для свободного перемещения по дну водопроводящего канала с находящимся в нём оператором с обрабатывающим модулем, а рама состоит из стержней и представляет собой три части, соединённых с помощью шарниров [13].

На рис. 1 изображена техническая часть комплекса 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, соединённых с помощью шарниров 2 с резиновыми колёсами 3, обрабатывающий модуль, включающий в себя систему ГЛОНАСС 4, датчик движения 5, антенные блоки 6, расположенные по периметру рамы 1 [7].

Для проведения эксплуатационного мониторинга в водопроводящий канал при отсутствии воды помещается техническая часть комплекса, после чего на обрабатывающий модуль 4 подаётся питание, чем подтверждается готовность всех систем к работе. При помощи движителя 7 рама 1

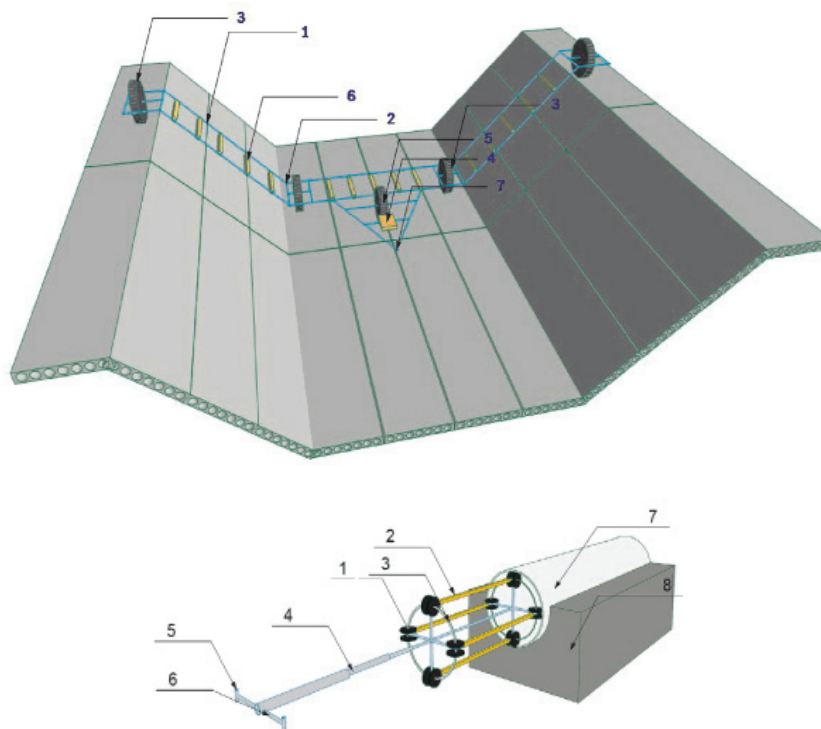


Рис. 1. Техническая часть комплекса для проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса

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 комплекса позволяет повысить качество проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих каналов, благодаря тому что обследование проводится по периметру всего водопроводящего канала (охватывается вся площадь сооружения) на наличие дефектов, повреждений, разуплотнений и просадку грунта под сооружением неразрушающими методами контроля, а наличие транспортного средства, которое осуществляет транспортирование комплекса, позволяет значительно ускорить проведение обследования водопроводящих каналов [6].

Техническая часть комплекса может быть использована для проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса защитного покрытия водопроводящих трубопроводов, ливнепропусков и грунтов под ними, а также для проведения эксплуатационного мониторинга железобетонных трубопроводов, расположенных в грунте, выявлению опасных дефектов и повреждений, оценке и прогнозированию их технического состояния и дальнейшей пригодности к эксплуатации.

Перед началом работы на входе в водопроводящий трубопровод оператор крепит упор 6 с помощью крепёжных 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.

Программная среда комплекса в ходе проведения расчёта позволяет определить количество циклов замораживания и оттаивания, которые перенёс объект наблюдения на данный период времени, и сколько ещё циклов объект может выдерживать до наступления критической потери несущей способности.

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

Математическое обеспечение комплекса 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 расчёта времени безопасного выщелачивания извести при фильтрации воды через бетон облицовки были проведены исследования условий фильтрации, определены толщина конструкции и коэффициент фильтрации бетона облицовки [3].

Определён 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.

Сделан также обобщенный анализ результатов исследований состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений для определения их остаточного ресурса на циклическое замораживание и оттаивание. На основании графика зависимости циклов замораживания и оттаивания от потери прочностных характеристик строилось математическое обеспечение комплекса. Эмпирическая зависимость получается индивидуально путём введения в программную среду комплекса информации по каждому конкретному элементу водопроводящего сооружения, а также позволяет рассчитать поведение дефектов



и повреждений водопроводящих сооружений под дальнейшим воздействием циклического замораживания и оттаивания:

$$P = 1,077 + 0,304Ц - 0,001Ц^2, \quad (1)$$

где  $P$  – потери несущей способности в %;  $Ц$  – циклы замораживания и оттаивания.

На основании проведенных исследований строилось математическое обеспечение комплекса: продолжительность фильтрации воды, равная безопасному сроку службы сооружения, начиная с момента его обследования [5].

В качестве исходных данных для работы программной среды комплекса служат результаты проведенных визуальных наблюдений и натурных исследований, к которым относятся [10]:

- 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 –

$k = 0,16 \dots 0,30$ ; большая –  $k = 0,31 \dots 0,50$ ; аварийная ситуация –  $k > 0,51$ ).

Комплекс разработан с использованием системы управления базами данных (СУБД) Microsoft Access, проекта Microsoft Access: включающего таблицы, формы, запросы, макросы и модули [4, 14].

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 [1, 2, 11] выполняется при помощи запросов, макросов и модулей. В разработанной программной среде комплекса функциональная логика реализована в модулях при помощи встроенного языка программирования Access Visual Basic.

В программной среде комплекса существует также возможность (в зависимости от геометрии схемы технической части) выводить профили георадарного зондирования с каждой антенны (рис. 2) и производить обработку полученных данных [2, 8]; выявлять дефекты и повреждения водопроводящих сооружений, а также рассчитывать их геометрию (рис. 3). В среде комплекса возможно, также проводить классификацию дефектов и координатную привязку с помощью системы ГЛОНАСС, чтобы при следующем осмотре констатировать изменения дефектов и повреждений за период эксплуатации.

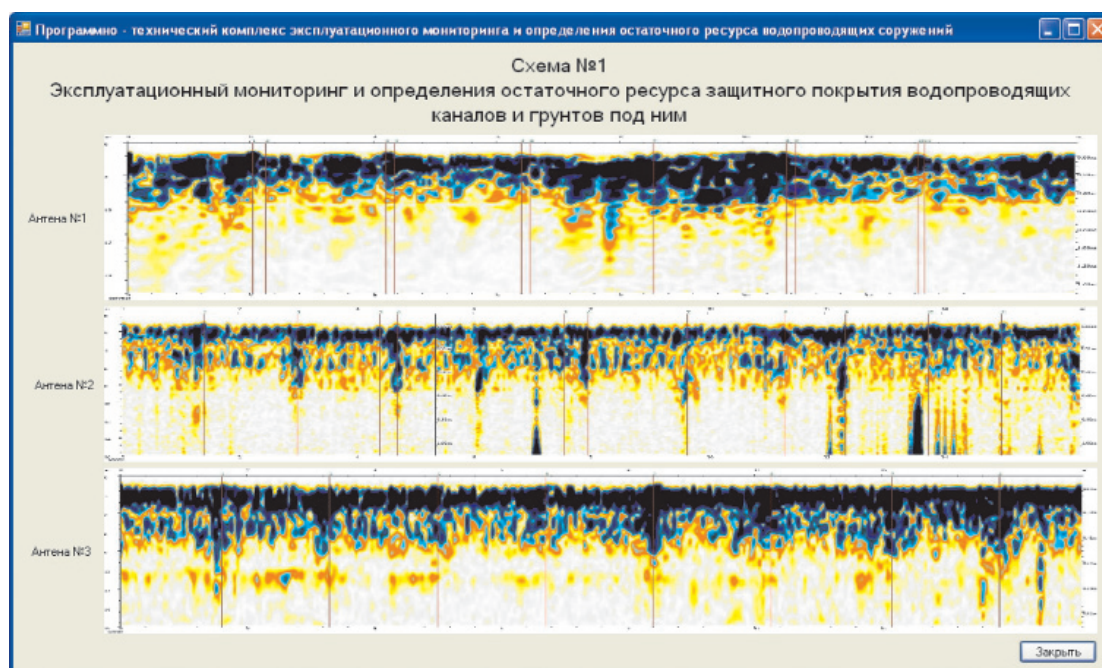


Рис. 2. Экранная форма. Профили георадарного зондирования с антенных блоков

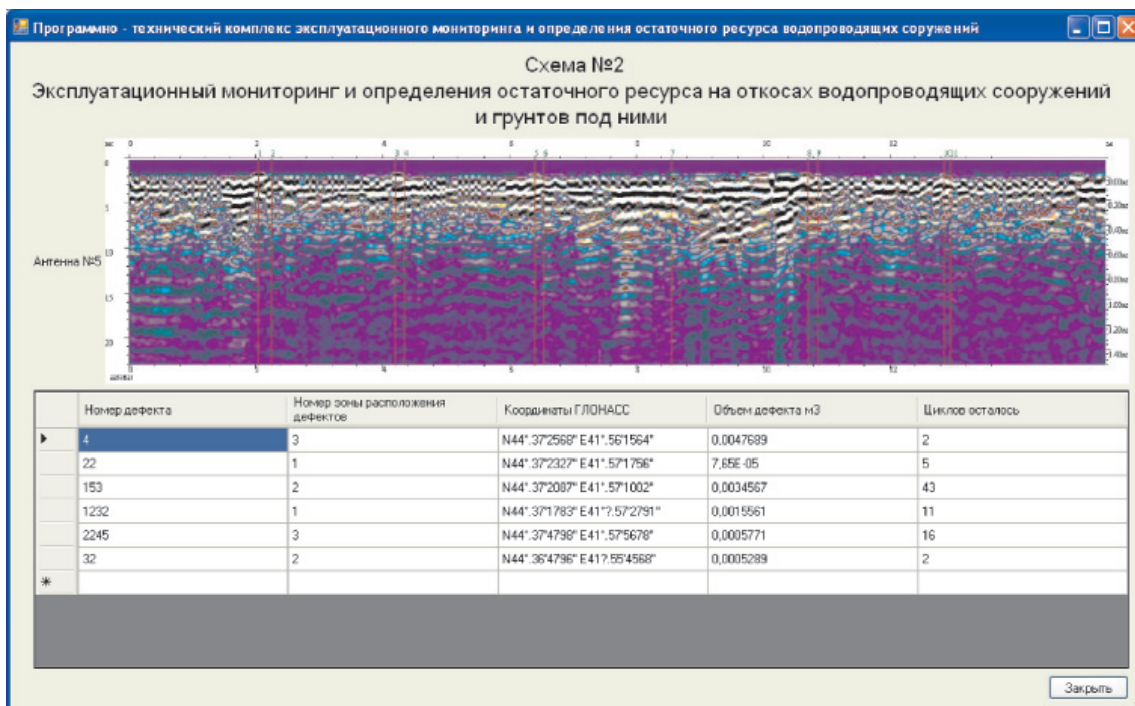


Рис. 3. Экранная форма. Обработка профиля георадарного зондирования полученного с антенных блоков

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 литературы

1. Бандурин М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 24. – С. 76–81.
2. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2005. – № 1. – С. 141–155.
3. Бандурин М.А. Применение программно-технического комплекса для решения задачи проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4; URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1200](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1200).
4. Бандурин М.А. Проблемные вопросы и опыт реализации мониторинга водопроводящих сооружений на юге России // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 10–1. – С. 33–37.
5. Бандурин М.А. Проблемы определения остаточного ресурса технического состояния закрытых водосборов низконапорных гидроузлов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 1; URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2279](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2279).
6. Бандурин М.А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 1 (09). – С. 68–79.
7. Бандурин М.А., Бандурин В.А. Методы моделирования напряженно-деформированного состояния для опре-

деления остаточного ресурса железобетонного консольного водосбора при различных граничных условиях // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 27, № 4. – С. 109–124.

8. Бандурин М.А., Бандурин В.А. Численное моделирование объемного противодиффузионного геотекстильного покрытия с изменяемой высотой ребра // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 27, № 4. – С. 46–59.

9. Бандурин М.А., Волосухин В.А. Мониторинг сооружений водного хозяйства // Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы, Правительство Ростовской области, Министерство сельского хозяйства и продовольствия; ФГБОУ ВПО АЧГАА. – 2012. – С. 98–101.

10. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Программно-технический комплекс для проведения мониторинга и определения остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 57–68.

11. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Вопросы моделирования технического состояния водопроводящих каналов при проведении эксплуатационного мониторинга // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2012. – № 1. – С. 70–74.

12. Дьяченко В.Б., Бандурин М.А. Мониторинг длительно эксплуатируемых мелиоративных систем с помощью неразрушающих методов диагностики // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2009. – № 21. – С. 169–171.

13. Пат. 2368730 РФ, МПК E02B 13/00. Способ проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния лотковых каналов оросительных систем / М.А. Бандурин, В.А. Волосухин. – № 2008100926/03; заявл. 09.01.2008; опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27.

14. Пат. 2458204 РФ, МПК E02B 13/00. Устройство для проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих каналов / М.А. Бандурин, В.А. Волосухин, В.А. Бандурин, Я.В. Волосухин. – № 2010111995/13; заявл. 29.03.2010; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 2.

15. Юрченко И.Ф. Водосберегающая технология планирования технической эксплуатации мелиоративных систем // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 5. – С. 76–88.