

УДК 626.843.92

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ**

В.А. Волосухин, М.А. Бандурин

Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск

*В данной статье рассмотрены вопросы технического состояния водопроводящих сооружений оросительных систем. В силу сложившихся условий развития экономики страны оросительные системы оставалось без должного внимания, начиная с 90-х годов XX века, что негативно отразилось на их работоспособности в настоящее время. Существующие методики обследования водопроводящих сооружений направлены на оценку в целом пригодности несущих конструкций сооружений к дальнейшей эксплуатации. При проведении обследований появился ряд вопросов к методам и способам выявления повреждений и дефектов, а также к прогнозированию остаточного ресурса работоспособности на определённый период времени. Целью разработки автоматизированной технологии многофакторного обследования водопроводящих сооружений является оценка фактического технического состояния конструктивных элементов и основного оборудования методами неразрушающего, приборного контроля, определение остаточного ресурса работоспособности их элементов, а также установление дефицита безопасности для оценки возможности продолжения эксплуатации сверх назначенного срока. Положительные результаты указанных оценок являются основанием для подготовки сооружения к продлению срока эксплуатации.*

В общей структуре объектов орошения заметна большая доля водопроводящих сооружений (магистральные, межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы, лотки, гидротехнические туннели, дюкеры, акведуки, ливнеотводящие сооружения и пр.), надлежащее состояние которых определяет эффективность функционирования мелиоративного объекта, в целом. Опыт эксплуатации мелиоративного водохозяйственного комплекса России настоящего времени показывает, что половина водопроводящих сооружений оросительных систем требует восстановления или замены, так как срок их эксплуатации превышает проектный и составляет более 30 лет. В свою очередь, материалы статистической обработки показателей надёжности водопроводящих сооружений свидетельствуют, что дальнейшее функционирование последних без проведения соответствующих мероприятий технической эксплуатации обуславливает резкое увеличение отказов, связанных с процессами старения конструктивных элементов. Однако, для части водопроводящих сооружений возможно продолжение функционирования при должном обосновании их надёжности и экологической безопасности.

В связи с этим обследование водопроводящих сооружений, обеспечивающее достоверную многофакторную оценку фактического технического состояния сооружений и определение остаточного ресурса работоспособности их элементов, становится перманентной задачей службы эксплуатации мелиоративного водохозяйственного комплекса.

Реализуемые на сегодняшний день подходы к оценке технического состояния водопроводящих сооружений оросительных систем базируются на визуальном контроле [1] и методах разрушающего ударного воздействия точность которых недостаточна для достоверного определения фактической надёжности и возможности продолжения эксплуатации обследуемых объектов. Это определяет потребность в исследованиях, разработке и внедрении теоретически обоснованной технической диагностики водопроводящих сооружений, использующей методы оценки допустимого срока их дальнейшего функционирования с учётом остаточного ресурса работоспособности. Наиболее частыми дефектами, приводящими к нарушению режимов нормального функционирования водопроводящих сооружений, являются скрытые дефекты внутреннего характера (просадка и разуплотнение, образование пустот в подстилающем грунте; коррозия арматуры; наличие внутренних ослабленных участков, разрушение зоны опирания, трещины, выщелачивание бетона и др.) [2], для установления, которых необходим приборный метод обследования.

Обоснование значимых параметров технического состояния и остаточного ресурса работоспособности водопроводящих сооружений. Результаты натурных исследований функционирующих сооружений позволили выявить характерные повреждения и выполнить распределение выявленных дефектов по группам (в соответствии со степенью опасности) и зонам (в зависимости от вида, интенсивности и частоты проявления), представленное на примере дюкера на рисунке 1.

Предложенная классификация, повышает информационное обеспечение и качество принимаемых решений по планированию и реализации технической диагностики водопроводящих сооружений, позволяя упорядочить процессы формирования профилей георадарного зондирования и определения точек оценки технического состояния объекта способами неразрушающего контроля.

Наиболее распространённые дефекты железобетонных элементов, вызванные: выщелачиванием и коррозией, особенно в местах перехода водной среды в воздушную; температурным режимом, определяющим морозостойкость; абразивным воздействием наносов, а также заилением [3]. К аварийной ситуации сооружения часто приводит постоянное непредусмотренное проектом взаимодействие железобетона с водой, особенно в его придонной части (Зона I, рисунка 1), связанное с многократным ледообразованием и последующим оттаиванием бетона, пагубно сказывающемся на техническом состоянии элемента.

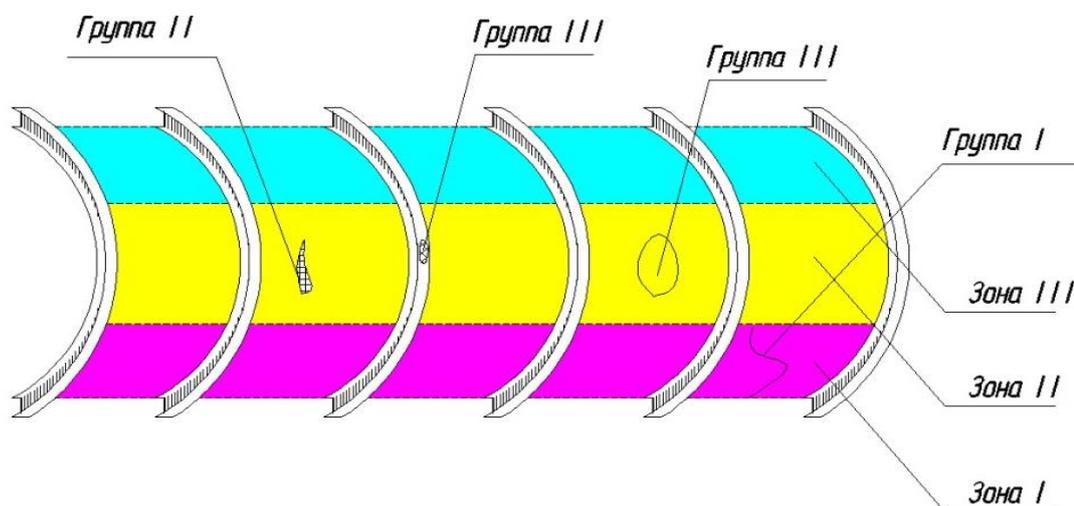


Рисунок 1 – Распределение дефектов дюкера оросительной сети по группам опасности и зонам частоты и интенсивности проявления

Примечание: Группа № I – дефекты не восстанавливаемого сооружения; Группа № II – дефекты сооружения, подлежащего восстановлению; Группа № III – сооружения с нормальным техническим состоянием при истекшем нормативном сроке эксплуатации. Зона I – максимального проявления истирания наносами, Зона II – истирания и проявления кавитационных процессов, Зона III – минимальной подверженности дефектам

Отмечено снижение разрушающего воздействия водной среды на железобетонные элементы функционирующих водопроводящих сооружений при отсутствии абразивного воздействия и минимизации смены циклов морозостойкости.

Натурные обследования показали целесообразность определения остаточного ресурса работоспособности сооружения по следующим значимым параметрам технического состояния железобетонных элементов: период допустимого выщелачивания извести при фильтрации воды через бетон облицовки, водостойкость, морозостойкость сооружения до потери несущей способности, вследствие её снижения, истирание наносами, заилиение.

Методы неразрушающего контроля для исследования технического состояния водопроводящих сооружений

Натурные исследования технического состояния водопроводящих сооружений методами неразрушающего контроля включали съёмку радарограммы водопроводящих сооружений в земляном русле, с бетоноплёночным и бетонным покрытием по назначенным профилям георадарного зондирования (рисунок 2) и измерение прочности бетонных покрытий.

Прокладка профилей георадиолокационного зондирования выполнялась в соответствии с выявленным характерным местоположением дефектов и повреждений, по трассам, обеспечивающим максимальное покрытие дефектов съёмкой [4]. Совместное использование различных

приборов неразрушающего контроля при проведении инструментальных обследовании для выявления скрытых дефектов повышает достоверность информации о фактическом состоянии водопроводящих сооружений без нарушения целостности самого сооружения. В данной ситуации с помощью георадара устанавливаются дефекты и повреждения скрытые в толще сооружения или под ним, а электронный измеритель устанавливает прочностные характеристики в местах образования скрытых дефектов и повреждений сооружения.

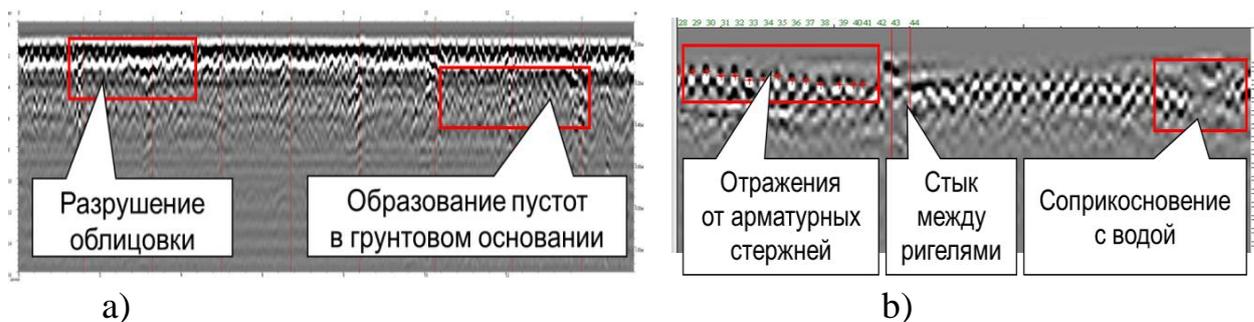


Рисунок 2 – Фрагменты радарограмм: а) Разрушение бетонного покрытия с образованием пустот в грунтовом основании; б) Смещение арматурных стержней и просадка грунтового основания

В соответствии с требованиями сферы использования сформулированы основополагающие принципы проведения мониторинга технического состояния и оценки остаточного ресурса работоспособности водопроводящих сооружений, учитывающие результаты анализа методических подходов [5, 6, 7] в различных областях знания. Реализованы принципы: целостности, оперативности, соответствия целей мониторинга средствам его реализации, прогностичности и полноты [8, 9].

Для проведения мониторинга технического состояния водопроводящих сооружений разработан программно-технический комплекс, обеспечивающий обнаружение дефектов, как элементов сооружения, так и подстилающего грунтового основания, определение месторасположения и геометрических параметров неисправностей каждого элемента сооружения акустическим и георадиолокационным способами неразрушающего приборного контроля. При этом выполняется оценка надёжности элементов сооружения по отношению к процессам истирания, выщелачивания, фильтрации; показателям морозостойкости и водостойкости, рассчитывается объем повреждений и оценивается остаточный ресурс работоспособности сооружения на основании системного анализа параметров, определяющих надёжность сооружений [10].

В общем виде техническая часть комплекса для определения дефектов водопроводящих сооружений представляет станину, оборудованную средствами передвижения, позиционирования на местности, приёма и обработки сигналов с антенн подповерхностного зондирования. В

зависимости от вида водопроводящего сооружения и местоположения элемента выбирается конструктивное решение для станины, представленное четырьмя схемами конструкций (рисунок 3).

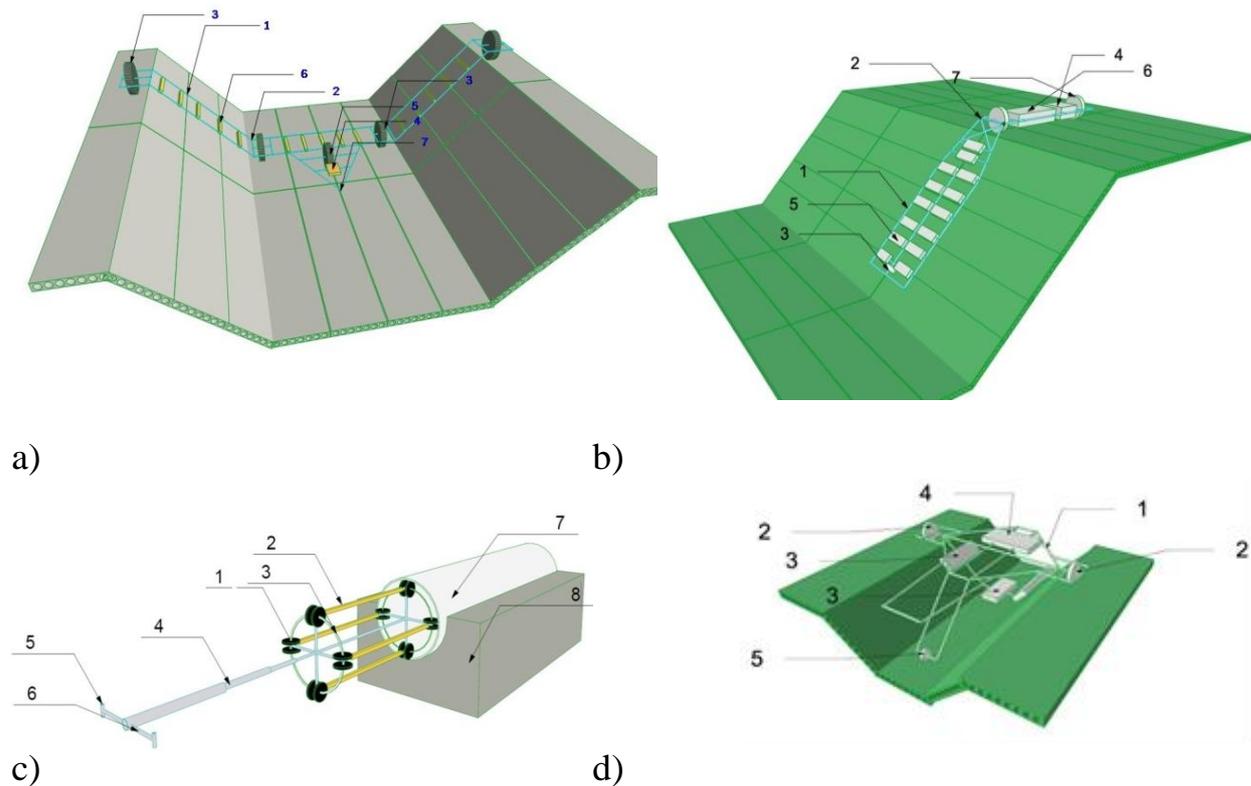


Рисунок 3 – Программно-технический комплекс а) техническая часть схемы №1 для проведения диагностики межхозяйственных каналов: 1 – станина; 2 – соединение фрагментов станины; 3 – колеса; 4 – модуль обработки; 5 – датчик движения; 6 – антенны; 7 – движитель; б) техническая часть схемы №2 для проведения диагностики магистральных каналов: 1 – станина; 2 – соединения фрагментов станины; 3 – колеса; 4 – модуль обработки; 5 – датчик движения; 6 – антенны; 7 – движитель.; в) техническая часть схемы №3 для проведения диагностики трубопроводов, дюкеров, туннелей: 1 – колеса; 2 – антенны; 3 – станина; 4 – датчик движения; 5 – телескопическая рейка; 6 – крепёж; 7 – сооружение; 8 – грунт; д) техническая часть схемы №4 для проведения диагностики лотковых и внутрихозяйственных каналов: 1 – станина; 2 – колеса; 3 – антенны; 4 – модуль обработки; 5 – датчик движения

Эффективность реализации технического комплекса диагностики водопроводящих сооружений оросительных систем гарантируется высокой достоверностью полученных результатов за счет использования новых усовершенствованных средств получения информации, обеспечивающих своевременное обнаружение неисправностей и точность диагностики. Внедрение комплекса в практику эксплуатации оросительных систем расширяет функциональные возможности действующих методов диагностики водопроводящих сооружений, позволяя установить, помимо неисправностей сооружения, разуплотнение и просадку грунтового

основания. Наличие средств механизации для перемещения технического комплекса по сооружению сокращает временные затраты на выполнение его обследования в 3-5 раз [11, 12, 13].

Разработанное средство контроля и оценки технического состояния водопроводящих сооружений автоматизирует процессы распознавания и оценки, обеспечивая сбор, систематизацию, обработку, интерпретацию исходной информации, и выдачу результирующих отчётов [14].

Мониторинг водопроводящих сооружений оросительных систем включает следующие этапы: рекогносцировочный осмотр обследуемого объекта; подготовка технической части комплекса к работе; сбор исходных данных о состоянии объекта на всей протяжённости обследуемого участка; детальная расшифровка полученных данных и позиционирование дефектов и повреждений с помощью навигационной системы ГЛОНАСС [15]; автоматическая запись в модуль обработки характеристик дефектов и повреждений элементов сооружения по показателям: зона сооружения, диаметр, глубина, фактическая прочность бетона, месторасположение; расчёт количества и объёма повреждений, установление программными средствами предполагаемых мест фильтрации воды через водопроводящее сооружение; определение опасного для дальнейшей эксплуатации сооружения объёма повреждений и остаточного ресурса эксплуатационной надёжности сооружения в сравнении с предыдущими обследованиями; автоматическое формирование отчёта о состоянии работоспособности сооружения [16, 17].

### **Выводы**

1. Разработана в составе исследования методология диагностики водопроводящих сооружений оросительных систем, включающая обоснование: сферы применения, принципов формирования и этапов проведения диагностики; методов выявления и оценки дефектов и нарушений элементов сооружения; способов сбора информации; положений методики оценки надёжности и остаточного ресурса работоспособности объектов наблюдения, что повышает безопасность эксплуатации оросительных систем и оценку возможности функционирования объекта сверх назначенного срока эксплуатации.

2. Разработан программно-технический комплекс для выполнения контроля и оценки технического состояния водопроводящих сооружений оросительных систем и определения остаточного ресурса работоспособности обследуемых водопроводящих сооружений.

3. Выполнена классификация зон разрушения водопроводящих сооружений по степени опасности; видам, интенсивности и частоте проявления характерных повреждений, позволяющая систематизировать трассирование профилей георадарного зондирования и определения участков оценки технического состояния сооружения при проведении натурных обследований объекта приборными методами неразрушающего контроля.

### **Литература:**

1. 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.

2. Ольгаренко Вл.И., Ольгаренко Г.В., Рыбкин В.Н. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем: учебник для студентов высших учебных заведений / Коломна, – 2006. – 391 с.

3. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Колганов А.В. Эксплуатационная надежность оросительных систем / Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации. Ростов-на-Дону, – 2004. – 388 с.

4. Бандурин М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 24. – С. 76-81.

5. Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Хохлова О.Б. и др. Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами: научное издание / Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова. – Москва, – 2010.

6. Карпенко Н.П., Юрченко И.Ф. Классификация мероприятий безопасной эксплуатации мелиоративных систем / Природообустройство. – 2016. – № 1. – С. 58-62.

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

8. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Реализация мониторинга многофакторного обследования в условиях роста дефицита безопасности гидротехнических сооружений / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2017. – № 1 (193). – С. 76-79.

9. Бандурин М.А. Необходимость системы постоянного мониторинга водопроводящих сооружений для рационального водопользования на юге России / Инженерный вестник Дона. – 2016. Т. 41. № 2 (41). С. 99-112.

10. Юрченко И.Ф. Эксплуатационный мониторинг мелиоративных систем для поддержки управленческих решений / Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 48-52.

11. Волосухин В.А., Бандурин М.А., Волосухин Я.В., Горобчук Е.Н., Воропаев В.И., Белогай С.Г. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений низконапорных водохранилищ и обводнительно-оросительных систем / Под общей редакцией В.А. Волосухина. – Новочеркасск, – 2010.

12. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Мониторинг, диагностика и остаточный ресурс несущих конструкций сборных водоподъемных низконапорных щитовых плотин / Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4-1 (18). – С. 61-71.

13. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2005. – № 1. – С. 141.

14. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Методы неразрушающего контроля при моделировании технического состояния железобетонной облицовки водопроводящих каналов / Наука и безопасность. – 2012. – № 5. – С. 9-17.

15. Бандурин М.А. Применение программно-технического комплекса для решения задачи проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений / Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 22. – № 4-1 (22). – С. 51.

16. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Проблемные вопросы реализации мониторинга водопользования на юге России в условиях роста техногенных нагрузок и климатических изменений / Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2-1 (24). – С. 113-123.

17. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Необходимость многофакторной диагностики Донской шлюзованной системы в условиях роста дефицита водных ресурсов и безопасности сооружений / Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 2. – С. 346-354.