

УДК 626.843

## ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ НА ЮГЕ РОССИИ

**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 реализации новых систем постоянного мониторинга применительно к длительно эксплуатируемым водопроводящим сооружениям. В настоящее время более 80% водопроводящих сооружений на юге России отработали значительно свой нормативный срок эксплуатации. Остаточный ресурс водопроводящих сооружений позволяет установить безопасный срок их эксплуатации без ограничений или с ограничениями, либо принять решение о ремонте или ликвидации водопроводящих сооружений и части их элементов. Существующие методики обследования водопроводящих сооружений направлены на оценку в целом пригодности несущих конструкций сооружений к дальнейшей эксплуатации. При проведении обследований появился ряд вопросов по характеру выявления повреждений и дефектов, а также по прогнозированию технического состояния на определённый период времени.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, мониторинг, водопроводящие сооружения, остаточный ресурс, рациональное водопользование, параметры надёжности, техническое состояние

## ISSUES AND EXPERIENCE IN THE IMPLEMENTATION OF MONITORING RUNNING WATER STRUCTURES IN SOUTHERN RUSSIA

**Bandurin M.A.**

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

This article presents the results of the implementation of new permanent monitoring systems for long-exploited water bearing structures. Currently, more than 80% of water conveyance structures in the south of Russia have worked much your standard service life. Residual resource water conveyance structures allows to establish secure their life without limits or restrictions, or decide to repair or elimination of water conveyance structures and parts of its elements. Existing methods of water conveyance structures survey aimed to assess the overall suitability of bearing structures of buildings for further use. In surveys, a number of questions to identify the nature of damage and defects, as well as forecasting of technical condition for a certain period of time.

**Keywords:** waterworks, monitoring, water-conducting structures, the residual resource, water management, reliability parameters, technical condition

Согласно данным Водного кадастра России за 2014 г., происходит многолетние катастрофическое снижение общих водных ресурсов на юге России, более 80% гидротехнических сооружений, отработали значительно свой нормативный срок эксплуатации. В то же время отмечается одновременное возрастание нагрузки на стареющие гидротехнические сооружения что при отсутствии необходимых квалифицированных кадров и технической ремонтной базы неизбежно приведёт к росту числа аварий, обусловленных эксплуатационными причинами.

В связи с этим возникла потребность в поиске новых современных методов определения количественных оценок надёжности остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений для получения возможности выполнения их заблаговременного ремонта и предотвращения дальнейшего разрушения [3].

По данным «Мелиоративного кадастра», в России эксплуатируются более 150 тыс. км водопроводящих сооружений,

построенных в 1950–1970-е гг. . Только на юге более 10 тыс. шт. объектов и более 20 тыс. км находящихся в федеральной собственности, которые находятся на балансе Минсельхоза России, и они, как правило, расположены на магистральных каналах, а сооружения, расположенные на межхозяйственной сети, находятся на балансе сельхозпроизводителя, а в ряде субъектов России – без хозяина. Техническое состояние гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в России, на данный момент оценивается, по данным ВНИИГа им Б.Е. Веденеева и др. [2, 6], как неудовлетворительное и продолжает ухудшаться. Более половины сооружений требуют восстановления, так как проектный срок их эксплуатации составляет более 30 лет и дальнейшее увеличение их возраста приводит к снижению их надёжности и безопасности.

Остаточный ресурс водопроводящих сооружений позволяет установить безопасный срок их эксплуатации без ограничений

или с ограничениями, либо принять решение о ремонте или ликвидации сооружения и части его элементов. Существующие методики обследования водопроводящих сооружений направлены на оценку в целом пригодности несущих конструкций сооружений к дальнейшей эксплуатации. При проведении обследований появился ряд вопросов по характеру выявления повреждений и дефектов, а также по прогнозированию технического состояния на определённый период времени.

Россия стабильно входит в группу стран мира, наиболее обеспеченных водными ресурсами. Это касается не только общих запасов и возобновляемых ресурсов, но и удельных значений (в расчёте на 1 жителя и др.). Однако, располагая столь значительными водными ресурсами и используя в среднем не более 2% речного стока ежегодно, Россия в целом ряде регионов испытывает дефицит в воде.

На наиболее освоенные районы европейской части России, где сосредоточено до 80% населения и производственного потенциала, приходится не более 10–15% водных ресурсов. По величине местных и приходящих водных ресурсов федеральные округа (ФО) России различаются во много раз, так

например Северо-Кавказский и Южный ФО являются наименее обеспеченными [7]. Республики Калмыкия – 1,1 км<sup>3</sup>/год, Ингушетия – 1,7 км<sup>3</sup>/год, г. Севастополь – 1,1 км<sup>3</sup>/год находятся в зоне опасных показателей, а вот республики Крым – 26,1 км<sup>3</sup>/год, Адыгея – 14,1 км<sup>3</sup>/год, Карачаево-Черкесская – 6,1 км<sup>3</sup>/год, Северная Осетия – Алания – 8,1 км<sup>3</sup>/год, Ставропольский край – 6,0 км<sup>3</sup>/год и др. также испытывают большой дефицит воды.

Согласно данным Водного кадастра России за 2014 г. (Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество) [13], происходит многолетнее катастрофическое снижение общих водных ресурсов на юге РФ (табл. 1).

Основой водных ресурсов России является речной сток, формирующийся в пределах страны (только около 5% поступает с территорий сопредельных государств). Бессточный внутренний бассейн Каспия занимает большую европейскую часть России. При этом в Каспийско-Азовском регионе, на который приходится лишь примерно 8% территории [11], проживает порядка 80% населения России и сосредоточена основная часть хозяйственной инфраструктуры.

Таблица 1

Характеристики водных ресурсов на юге России за 2014 г.

Субъект Российской Федерации	Характеристики водных ресурсов, км <sup>3</sup> /год					
	Годовые				Многолетние	
	Местный сток	Приток	Отток	Общие водные ресурсы	Среднее значение	Наибольшее значение
<b>Южный ФО</b>	<b>27,5</b>	<b>243,5</b>	<b>251,0</b>	<b>271,0</b>	<b>289,9</b>	<b>390,7</b>
Астраханская область	0,0	223,9	212,2	223,9	237,7	332,7
Краснодарский край	14,8	10,2	22,1	25,0	23,0	32,2
Ростовская область	0,9	14,0	14,9	14,9	26,1	50,6
Волгоградская область	3,1	233,9	233,9	237,0	258,6	357,6
Республика Адыгея	4,7	10,9	13,3	15,6	14,1	17,6
Республика Калмыкия	3,4	0,3	1,0	3,7	1,1	3,7
Республика Крым	0,6	0,2	0,7	0,8	1,0	2,2
<b>Северо-Кавказский ФО</b>	<b>25,2</b>	<b>1,9</b>	<b>23,3</b>	<b>26,8</b>	<b>28,0</b>	<b>35,8</b>
Ставропольский край	1,2	5,7	6,4	6,9	6,0	8,0
Кабардино-Балкарская Республика	3,4	4,4	7,5	7,8	7,5	11,2
Республика Дагестан	5,9	12,2	16,0	18,1	20,7	27,1
Республика Ингушетия	0,3	1,0	1,3	1,3	1,7	2,7
Республика Карачаево-Черкесия	7,4	0,0	7,4	7,4	6,1	8,1
Республика Северная Осетия	3,7	3,9	7,6	7,6	8,0	10,5
Чеченская республика	3,3	8,3	10,8	11,6	11,6	14,7
<b>Итого</b>	<b>52,7</b>	<b>245,4</b>	<b>274,3</b>	<b>297,8</b>	<b>317,9</b>	<b>427,5</b>

По Южному ФО отклонение водных ресурсов от среднего многолетнего значения составило 6,5% против 11,6% в 2013 г. Резкое падение стока р. Волги изменило характер водности приволжских областей (Астраханской и Волгоградской) и понизило их водность до значений ниже нормы, соответственно на 5,8 и 8,4%. Резкий рост стока левых притоков р. Кубани, приблизивший сток самой р. Кубани к норме, и столь же резкое снижение стока рек Черноморского побережья привели к тому, что водность Краснодарского края претерпела весьма малое изменение, превысив среднее многолетнее значение на 8,7% против 9,6% в 2013 г. [9]. Водность Республики Адыгеи, напротив, значительно возросла по сравнению с 2013 г. и превысила норму на 10,6% благодаря резкому росту стока рр. Лабы и Белой. Водность в Ростовской области дополнительно снизилась в 2014 г. по сравнению с весьма низким уровнем 2013 г., и её отклонение от нормы составило 42,9%. Ситуация в Ростовской области была обусловлена продолжением фазы низкой водности р. Дона. В Республике Калмыкии, как и прежде, водность значительно превышала норму, что связано с сохранением повышенной водности рр. Калаусы и Кумы, вызванной не только естественными факторами, но и ростом объёмов переброски стока [13]. Водные ресурсы Крыма были значительно меньше среднего многолетнего значения, в отличие от 2013 г., когда они превышали его на 50%. Местный сток рек округа при этом не изменился и остался на довольно низком уровне (38,1% от нормы). Уменьшение водных ресурсов произошло по причине беспрецедентного сокращения поступления воды на полуостров по Северо-Крымскому каналу [8].

Северо-Кавказский ФО имеет тенденцию к некоторому снижению водности рек от значения, превышавшего норму на 12,1% в 2013 г., до значения, близкого к норме (4,3%). В субъектах округа характер изменения водности значительно различался. Снижение водности до значений, существенно меньших нормы, было отмечено в двух республиках – Дагестане и Ингушетии. В Чеченской Республике водность снизилась до нормы, а в республиках Кабардино-Балкарии и Северной Осетии – Алании осталась близкой к норме. Рост водности до значений, существенно превышающих норму, имел место в Карачаево-Черкесской Республике и в Ставропольском крае [1].

Происходит повсеместное сокращение площади мелиоративных земель, что обусловлено проблемой как нехватки водных ресурсов, так и стареющих сооружений. Современная надёжная эксплуатация водопроводящих сооружений обеспечивается высоким уровнем проектных работ, строительства и грамотной эксплуатации высококвалифицированным персоналом. В связи с этим возникла потребность в поиске новых современных методов определения количественных оценок надёжности остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений для получения возможности выполнения их заблаговременного ремонта и предотвращения дальнейшего разрушения [15]. На юге более 10 тыс. шт. объектов и более 20 тыс. км находящихся в федеральной собственности (табл. 2), которые находятся на балансе Минсельхоза России и они, как правило, расположены на магистральных каналах, а сооружения, расположенные на межхозяйственной сети, находятся на балансе сельхозпроизводителя, а в ряде субъектов РФ – без хозяина. Более половины водопроводящих сооружений требуют восстановления, так как проектный срок их эксплуатации составляет более 30 лет и дальнейшее увеличение их возраста приводит к снижению их надёжности и безопасности [4].

Основным свойством, определяющим ресурс системы, является надёжность её элементов, т.е. надёжность и безотказность работы в течение определённого срока эксплуатации. Надёжность и безотказность работы системы в целом определяется из условия, что каждый элемент системы может находиться в одном из двух состояний – работоспособном или отказа [10].

Интегральная оценка риска аварии водопроводящих сооружений:

- $R_a < 0,15$  – нормальный уровень;
- $0,15 < R_a < 0,30$  – пониженный уровень;
- $0,30 < R_a < 0,50$  – неудовлетворительный уровень;
- $R_a > 0,50$  – опасный уровень.

Работоспособность подсистемы  $R_{п.с.}$ :

$$R_{п.с.} = 1 - \Phi_{п.с.} \quad (1)$$

Физический износ водопроводящих сооружений можно аппроксимировать некоторой функцией, динамически меняющейся во времени. Вид функции оценивается в зависимости от многих факторов:

- текущего и капитального ремонтов;
- технической эксплуатации;

– уровня воздействия динамических нагрузок на фундаменты;  
 – влияния техногенных процессов;  
 – изменения геотехнического состояния оснований фундаментов;  
 – старения материала конструкций водопроводящего сооружения под действием атмосферных воздействий.  
 Физический износ сооружений подсистемы:

$$\Phi_{kj} = \sum_{i=1}^n \Phi_i \cdot \frac{P_i}{P_k}$$

Оценки вероятности работоспособного состояния системы:

$$\prod_{j=1}^k \left(1 - \prod_{i \in kj} q_i\right) \leq R[\varphi(\chi)] \leq 1 - \prod_{j=1}^P \left(1 - \prod_{i \in P_j} r_i\right). \quad (2)$$

Определим остаточный ресурс:

$$P = \frac{P(j(\chi) - 0,75) \cdot 100 \%}{k_{зд}}. \quad (3)$$

Существующие методики обследования гидротехнических конструкций [5, 12, 14, 15]

**Таблица 2**

Наличие объектов водопроводящих сооружений на юге России

Субъект Российской Федерации	Общее количество сооружений на мелиоративной сети, включая водозаборные, шт.	Протяжённость каналов, км						Общая протяжённость трубопроводов, км
		Общая	До 1 м <sup>3</sup> /с	1–5 м <sup>3</sup> /с	5–10 м <sup>3</sup> /с	10–30 м <sup>3</sup> /с	30–50 м <sup>3</sup> /с	
<b>Южный ФО</b>	<b>7158</b>	<b>20277,7</b>	<b>10119,9</b>	<b>3010,7</b>	<b>2693,5</b>	<b>3975,9</b>	<b>1115,3</b>	<b>2601,2</b>
Астраханская область	301	804,9	80,7	130,6	232,8	360,8	нет данных	46,9
Краснодарский край	489	3162,4	105,1	1066,8	301,2	1191,2	153,6	2048,2
Ростовская область	1384	2154,4	466,8	760,2	254,7	302,1	370,6	319,8
Волгоградская область	476	1376,3	30,4	382,2	358,6	206,3	40,9	186,3
Республика Адыгея	136	308,5	10,7	96,8	28,7	155,7	16,6	нет данных
Республика Калмыкия	12	1722,1	179,1	574,1	472,1	257,7	239,1	нет данных
Республика Крым	4360	10749,2	9247,1	нет данных	1045,4	1502,1	294,5	нет данных
<b>Северо-Кавказский ФО</b>	<b>7181</b>	<b>10987,6</b>	<b>1437,4</b>	<b>3950,8</b>	<b>2652,3</b>	<b>880,5</b>	<b>496,2</b>	<b>1016,9</b>
Ставропольский край	2644	2614,9	219,8	772,9	476,1	556,1	397,1	193,7
Кабардино-Балкарская Республика	2031	1138,5	нет данных	958,8	84,7	94,8	нет данных	24,3
Республика Дагестан	826	4911,9	1053,1	1826,1	1777,8	156,1	99,1	286,7
Республика Ингушетия	806	530,2	54,2	74,1	228,9	73,5	нет данных	6,5
Республика Карачаево-Черкессия	52	3,6	нет данных	3,6	нет данных	нет данных	нет данных	366,2
Республика Северная Осетия	822	510,4	110,3	315,3	84,8	нет данных	нет данных	32,3
Чеченская республика	нет данных	1278,1	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	107,2
<b>Итого</b>	<b>14339</b>	<b>31265,3</b>	<b>11557,3</b>	<b>6961,5</b>	<b>5345,8</b>	<b>4856,4</b>	<b>1611,5</b>	<b>3618,1</b>

направлены на оценку в целом пригодности несущих конструкций сооружений к дальнейшей эксплуатации.

Мониторинг проводится с учётом действующих нормативных документов по проектированию, изготовлению и специфике эксплуатации, также он выделяет основные требования к процессу проведения измерений технического состояния сооружений с применением современных приборов неразрушающего контроля.

Результаты оценки технического состояния являются исходными данными для составления заключения о состоянии обследуемых объектов.

### Выводы

1. Национальный стандарт ГОСТ Р 22.1.12-2005 позволяет сформулировать основные требования к постоянному мониторингу водопроводящих сооружений.

2. Качественный постоянный мониторинг водопроводящих сооружений позволяет оценить изменение напряжённо-деформированного состояния при различных сочетаниях нагрузок.

3. Анализ неудовлетворительного состояния отдельных водопроводящих сооружений юга России свидетельствует о высоком количестве сооружений с неудовлетворительным и опасным уровнем безопасности.

### Список литературы

1. 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).

2. 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).

3. Бандурин М.А. Проблемы оценки остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3; URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/891](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/891).

4. 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.

5. Бандурин М.А. Совершенствование методов продления жизненного цикла технического состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 1; URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1510](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1510).

6. Бандурин М.А., Бандурин В.А. Численное моделирование объемного противифльтрационного геотекстильного покрытия с изменяемой высотой ребра // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4; URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1911](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1911).

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

8. Бандурин И.П., Бандурин М.А. Автоматизация мониторинга ливнеотводящих сооружений на водопроводящих каналах Ставропольского края // Инженерный вестник Дона. 2015. – № 2; URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2875](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2875).

9. Бандурин И.П., Бандурин М.А. Обоснование продления срока эксплуатации несущих конструкций сборных водоподъемных низконапорных щитовых плотин // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2; URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2441](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2441).

10. 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.

11. 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.

12. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Применение неразрушающих методов при проведении эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов обводнительно-оросительных систем // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2012. – № 2. – С. 102–106.

13. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – № 3. – С. 88–93.

14. 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.

15. 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. № 22.